

# IMPACTOS VULNERABILIDADES E ADAPTAÇÃO

VOLUME 2 - PRIMEIRO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO NACIONAL



**pbmc**

painel brasileiro de mudanças climáticas



**Impactos, vulnerabilidades e adaptação**

**Volume 2 - Primeiro relatório de avaliação nacional**



**pbmc**

painel brasileiro de  
mudanças climáticas

Carlos Afonso Nobre  
Presidente do Conselho Diretor

Suzana Kahn Ribeiro  
Presidente do Comitê Científico

Andrea Souza Santos  
Secretária-Executiva

Ana Carolina Fiorini  
Assessora Técnica do Grupo de Trabalho 2

Susian Christian Martins  
Juliano Groppo  
Unidade de Apoio Técnico do Grupo de Trabalho 2

Papier Brasil  
Revisão ortográfica

Duoeme Brasil  
Projeto gráfico

#### Ficha Técnica

PBMC, 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp.

ISBN: 978-85-285-0207-7

## ÍNDICE GERAL

<b>CAPÍTULO 1:</b> PONTO DE PARTIDA	7
<b>CAPÍTULO 2:</b> FUNDAMENTOS	12
<b>CAPÍTULO 3:</b> MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ESFERA NACIONAL	22
<b>CAPÍTULO 4:</b> RECURSOS NATURAIS, MANEJO E USO DE ECOSISTEMAS	43
<b>CAPÍTULO 5:</b> AGLOMERADOS HUMANOS, INDÚSTRIA E INFRAESTRUTURA	201
<b>CAPÍTULO 6:</b> SAÚDE HUMANA, BEM-ESTAR E SEGURANÇA	266
<b>CAPÍTULO 7:</b> IMPACTO PLURISSETORIAL, RISCO, VULNERABILIDADE E OPORTUNIDADE	316
<b>CAPÍTULO 8:</b> IMPACTOS REGIONAIS, ADAPTAÇÃO E VULNERABILIDADE AO CLIMA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE REGIONAL NO BRASIL	339



## CAPÍTULO 1

### PONTO DE PARTIDA

**Autores coordenadores:** Eduardo Delgado Assad – EMBRAPA e Antonio Rocha Magalhães - CGEE

## ÍNDICE

<b>1. PONTO DE PARTIDA</b>	<b>9</b>
<b>2. FUNDAMENTOS</b>	<b>12</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>19</b>



## 1. PONTO DE PARTIDA

A mudança climática é um dos desafios mais complexos deste século. Nenhum país está imune a ela nem pode vir a ser capaz de enfrentar individualmente os desafios interconectados que compreendem decisões políticas e econômicas controversas. Tampouco, os avanços tecnológicos com consequências globais de longo alcance (Banco Mundial, 2010a).

Estudos científicos, publicados em 2007 no Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), indicaram que as alterações do clima relativas ao aquecimento global e ao aumento do nível do mar podem estar se intensificando. Estas alterações já estão ocorrendo e podem ser verificadas através dos registros sobre eventos extremos, cada vez mais frequentes.

As alterações climáticas provocam mudanças nos sistemas geofísicos, biológicos e humanos. Dessa maneira, impõem uma série de desafios ao desenvolvimento, com implicações sobre diversos setores: sociais, econômicos e ambientais, relacionados à indústria, agricultura, comércio, segurança e bem-estar social (IPCC, 2007).

Segundo O'Brien e Leichenko (2008), as avaliações realizadas pelo IPCC confirmam que a mudança climática está contribuindo para transformações significativas do ambiente biofísico que afetarão ecossistemas, assentamentos humanos e recursos hídricos, bem como a produção de alimentos. Essas transformações poderão ter grandes implicações para nações, regiões, comunidades e indivíduos.

À medida que a temperatura do ar da Terra aumenta os padrões pluviais mudam e eventos climáticos extremos, como secas, inundações e incêndios florestais, se tornam mais frequentes. Milhões de pessoas em áreas costeiras enfrentarão problemas relativos a enchentes e inundações associadas a tempestades e ao aumento do nível do mar (Banco Mundial, 2010a).

Embora haja uma considerável incerteza sobre a trajetória futura da mudança climática, relacionada em parte com a quantidade e a taxa de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), as consequências das mudanças representam uma ameaça sem precedentes à segurança humana (O'Brien e Leichenko, 2008).

Na décima sexta Conferência das Partes (COP16), realizada em Cancun, no México, em 2010, destacou-se como principais compromissos assumidos pelas nações participantes, a redução de 1,5 °C na temperatura do ar em futuro próximo; a adoção de mecanismos de desenvolvimento (MDL) e a difusão de novas tecnologias menos emissoaras de GEE; a criação do Fundo Climático Verde para se financiar projetos, programas, políticas e outras atividades nos países em desenvolvimento, e, a criação de um comitê de adaptação para promover a implantação de medidas mais coesas.

Em 2011, no encontro da Organização das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizado em Durban, na África do Sul, foi entregue um documento reforçando a necessidade de implementação do Protocolo de Quioto, do Plano de Ação definido na Indonésia em 2007, durante a COP13 e dos acordos alcançados em Cancun, na tentativa de se evitar um retrocesso das negociações.

Visando compreender a realidade nacional, especialistas brasileiros se reuniram em 2011 para a elaboração do *Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1)* do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Tal documento se refere aos trabalhos realizados pelo Grupo de Trabalho 2 (GT-2) sobre *Impactos, Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas*, com o objetivo de fornecer subsídios para decisões relativas às medidas de mitigação e à adaptação as mudanças climáticas no País.

A avaliação teve como ponto de partida os trabalhos científicos mais recentes, retratando de forma ampla e atualizada os impactos causados pelas mudanças do clima no Brasil; a vulnerabilidade dos

ambientes naturais e humanos, e ainda, as medidas necessárias para se adaptar a esses efeitos e a mitigá-los.

A questão central seria: como tornar o País mais resiliente à mudança do clima sem o aumento contínuo das emissões de GEEs e da degradação dos ecossistemas e, ao mesmo tempo, seguir perseguindo seu crescimento econômico? A mudança climática torna o desafio do desenvolvimento mais complicado, pois seu impacto pode ser sentido no aumento da frequência de ocorrência de tempestades, inundações, ondas de calor, secas e elevação do nível do mar, sobrecarregando todos os setores da sociedade brasileira.

As nações, de um modo geral, e substancialmente, os países em desenvolvimento precisam de expansões expressivas em sistemas de energia, transporte, produção agrícola e avanços tecnológicos. Entretanto, se os meios tradicionais forem mantidos, as extensões, tão necessárias, produzirão mais aquecimento em virtude das emissões de GEEs que provocarão (Banco Mundial, 2010a).

Um aquecimento adicional relativamente modesto exigirá grandes ajustes na forma como as políticas de desenvolvimento são planejadas e implementadas, bem como na maneira como as pessoas vivem e se sustentam. A questão não é simples, tampouco uma relação direta entre crescimento e emissões de carbono para atmosfera, pois muitos processos produtivos ineficientes, usos irracionais dos recursos naturais e desperdícios são responsáveis pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Banco Mundial, 2010a).

A situação atual do clima exige grandes mudanças no estilo de vida, uma verdadeira revolução energética e a transformação do modo como lidamos com os recursos naturais. Nesse sentido, um processo de adaptação substancial é fundamental para se tentar reverter o panorama atual.

Dentro desse contexto, um panorama inicial das mudanças climáticas e a conjuntura nacional são analisados no capítulo 3 do volume II do Relatório de Avaliação Nacional I do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Já as principais questões avaliadas são discutidas no capítulo 4, dedicado ao tema dos recursos naturais e aos usos de manejos dos ecossistemas. Seu principal enfoque recai sobre os recursos hídricos, envolvendo os ecossistemas de água doce e terrestre, os sistemas costeiros e a segurança alimentar. Por sua vez, ao capítulo 5, a discussão trata dos aglomerados urbanos, da indústria e de infraestrutura. Neste último caso, a maior dificuldade foi encontrar literatura científica a respeito. Ficou evidente a necessidade de se buscar mais informações sobre as questões de vulnerabilidade e de adaptação relativas a este importante setor da sociedade brasileira.

No capítulo 6, as questões da saúde humana, do bem estar e de segurança são abordadas. Vários trabalhos foram realizados nos últimos cinco anos sobre o primeiro desses temas. Porém, há claro desequilíbrio regional sobre as informações referentes aos impactos causados pelas mudanças climáticas sobre ele.

Destaque especial foi dado aos temas subsistência e pobreza. Primeiro, por conta da dificuldade de se encontrar no País, referências científicas sobre a relação entre mudança climática e o assunto em questão. Segundo, porque é claro e evidente que as populações mais pobres serão as mais atingidas pelas alterações de clima. Daí a necessidade, de se apoiar, em futuro próximo, trabalhos que busquem fortalecer a pesquisa científica com forte aderência de questões relativas a recursos naturais à socioeconômica.

Ao capítulo 7 deste volume, são discutidas as questões relativas à adaptação e ao desenvolvimento econômico seus riscos, vulnerabilidades e oportunidades. Uma abordagem econômica é feita nesse sentido, buscando coligar o que foi feito no País durante os últimos anos.

Finalmente, ao capítulo 8, os impactos intersetoriais, vulnerabilidades e oportunidades são discutidos em cinco diferentes seções, que buscam regionalizar as abordagens.

As estruturas desses capítulos diferem entre si. Isso se explica pela quantidade de literatura científica, farta em algumas regiões do País – Sudeste, Sul, e norte por exemplo – e menor, nas regiões Nordeste e Centro-Oeste.

Com base na análise de documentos e em discussões realizadas entre os especialistas, considera-se que os impactos físicos, biológicos e humanos associados às mudanças do clima deverão variar consideravelmente no território brasileiro de acordo com características regionais, níveis de exposição e graus de degradação ambiental.

Todas as esferas de governo, a indústria, o comércio e a sociedade precisam estar envolvidos no desenvolvimento de uma resposta nacional adequada. Portanto, o entendimento dessas alterações climáticas em cada região é essencial para um planejamento estratégico e o processo de tomada de decisão. Foi essa a base da abordagem do trabalho do GT2.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS

**Autores coordenadores:** Eduardo Delgado Assad – EMBRAPA e Antonio Rocha Magalhães - CGEE

Uma década após o Protocolo de Quioto ter definido os limites das emissões de carbono, os efeitos da mudança do clima já são visíveis no aumento das temperaturas médias do ar e do oceano, no derretimento generalizado da neve e do gelo e, na elevação do nível do mar (Banco Mundial, 2010a). O aquecimento global é atribuído à emissão de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera, como resultado das atividades humanas, particularmente, dos países industrializados (UNFPA, 2009). O aumento das concentrações de GEEs devido às atividades econômicas, tais como exploração e produção de combustível – de origem fóssil –, desmatamento e mudanças no uso da terra têm conduzido a um aumento da temperatura média global (Horton *et al.*, 2010). Evidências científicas sugerem que as concentrações desses gases na atmosfera resultaram em mudanças climáticas significativas e que, deverão aumentar progressivamente no futuro (UNCTAD, 2009).

Os cenários de mudanças climáticas apontam para uma alteração na temperatura média do ar acima de 2 °C, o que inclui grandes desequilíbrios em ecossistemas fundamentais para a sobrevivência da humanidade, tais como alterações significativas da Floresta Amazônica afetando toda a biodiversidade; perdas significativas de geleiras nas cordilheiras os Andes e do Himalaia e, ainda, a rápida acidificação dos oceanos a gerar a ruptura dos ecossistemas marinhos e a morte de recifes de corais. A velocidade e a magnitude da mudança poderiam condenar à extinção muitas espécies.

De acordo com o Quarto Relatório do IPCC - AR4 (IPCC, 2007), o aquecimento global causará aumento de eventos extremos com a intensificação das chuvas, elevação do nível do mar e extensão dos períodos de secas.

*Chuvas torrenciais e inundações estão se tornando mais comuns, e os danos causados por tempestades e ciclones tropicais aumentaram, pode-se ler no recente relatório sobre eventos extremos do IPCC-SREX (IPCC, 2012), cuja tabela 3.2 apresenta um sumário de mudanças observadas em todo o mundo. Particularmente sobre o Brasil, tanto no caso de chuvas torrenciais como de secas, o documento sinaliza uma baixa confiabilidade nas tendências encontradas, variáveis em todas as sub-regiões. Com relação a eventos extremos e seus impactos, o Brasil vivenciou o primeiro furacão já observado no Sul: o furacão Catarina, ocorrido em março de 2004. No Sul e no Sudeste do Brasil, as chuvas intensas têm sido mais frequentes nos últimos 50 anos. A produtividade agrícola será afetada em todo o mundo, especialmente nos trópicos, ameaçando a segurança alimentar de muitos países (Banco Mundial, 2010a).*

É difícil se estimar todos os impactos causados pela mudança do clima precisamente, uma vez que as alterações climáticas regionais observadas nos sistemas naturais e antrópicos são complexas, devido à variabilidade do clima natural, aos efeitos provocados por essas interações, inclusive com fenômenos não naturais – ou forçantes não climáticas – como o uso de terra (IPCC, 2007).

De acordo com o IPCC (2007), as variáveis forçantes, climáticas e não climáticas, afetam o sistema global. As principais – tais como usos de solo e de terra –, podem influenciar diretamente e indiretamente o sistema natural, produzindo efeitos sobre as variáveis climáticas, a exemplo de temperatura do ar, pluviosidade e umidade de solo. Isso tende a ocorrer em virtude da supressão de florestas, do uso intensivo de solo para agricultura, da urbanização e da industrialização, entre outros fatores.

O clima é o fator-chave na determinação de diferentes características e distribuição de sistemas naturais e antrópicos. Nesse rol, se incluem sua hidrologia e os recursos hídricos, de zonas costeiras e ambientes marinhos, assim os biológicos de água doce e terrestre, a agricultura e as florestas. Por exemplo, a temperatura é conhecida por sua influência na distribuição e abundância dos padrões de plantas e animais, em virtude das restrições fisiológicas de cada espécie.

Muitos aspectos do clima, incluindo os da temperatura do ar e da precipitação e sua variabilidade e das escalas de tempo, influenciam as características e distribuições dos sistemas físico e biológico (IPCC, 2007).

As mudanças em muitas variáveis do clima podem, ao menos parcialmente, produzir alterações no sistema atmosférico como um todo. Este estudo, entretanto, se concentrou basicamente nas modificações relativas à temperatura do ar, tal como aqueles realizados pelo *IPCC* (2007). Isto porque, as respostas biológicas e físicas relacionadas à temperatura primeira classe de alteração pode ser bem compreendidas, se comparadas às respostas associadas a outros parâmetros climáticos.

Além disso, o sinal antrópico é mais fácil de ser detectado através da variável temperatura do ar. A precipitação pluviométrica tem grande variabilidade espacial e temporal, o que dificulta a identificação dos impactos que esta variável tem sobre as mudanças em muitos sistemas (*IPCC*, 2007).

Variações em grande escala, tais como aquelas de *El Niño-Oscilação Sul (ENSO)*, *Oscilação do Atlântico Norte (NAO)* ou *Oscilação Decenal do Pacífico (PDO)*, estão ocorrendo e têm afetado o clima global. Conseqüentemente, muitos sistemas naturais e antrópicos tem sido possível registrar seus efeitos (*NOAA*, 2011).

Estudos recentes desenvolvidos sobre os sistemas hidrológicos ainda não são capazes de separar os efeitos da variação de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica daqueles causados por intervenções humanas nas bacias, tais como o uso de terra e a construção de reservatórios (*Tucci et al.*, 2001). As vazões dos rios, ano a ano, também são influenciadas em algumas regiões pelos padrões de circulação atmosférica – de grande escala – como *ENSO* e *NAO*, entre outras variabilidades do sistema que operam dentro de escalas de tempo decenal e pluridecena (*IPCC*, 2007).

Mudanças na estrutura química e nas características termais têm sido relatadas e documentadas em décadas recentes. Em alguns casos, a superfície e a profundidade dos lagos tem apresentado um aumento de temperatura associado a mudanças físico-químicas, tais como aumento da salinidade e de partículas suspensas, com um decréscimo de nutrientes (*IPCC*, 2007).

Mudanças nos padrões de enchentes e secas em algumas regiões indicam que as condições hidrológicas têm se alterado. Ameaças significativas em relação a enchentes, evaporação e evapotranspiração não têm sido bem detectadas globalmente e exigem estudos mais detalhados regionalmente. Algumas ameaças na redução dos níveis dos reservatórios e de lagos naturais têm sido reportadas, mas parecem estar muito mais associadas às atividades humanas do que propriamente a mudanças do clima global (*IPCC*, 2007).

O aumento do nível do mar é particularmente relevante e varia de acordo com as condições climáticas locais: quanto mais extremas forem estas últimas, maior a possibilidade de ocorrência de tempestades, ondas de calor, secas e ciclones tropicais (*UNCTAD*, 2009). Portanto, os riscos potenciais estariam associados a frequentes enchentes e inundações durante tempestades, intrusão salina em lençóis freáticos e reservatórios de água natural, erosão costeira, perda de ecossistemas – a exemplo de manguezais (*Rosenzweig et al.*, 2011). Segundo o relatório do *IPCC* (2007), *o nível do mar tem aumentado em torno de 1,7 a 1,8 mm/ano no último século, com um aumento da taxa em torno de 3 mm/ano durante a última década.*

O aumento do nível do mar em 100 a 150 anos provavelmente contribuirá para o processo de erosão em muitas localidades dado a energia das ondas, o fornecimento de sedimentos, as atividades antrópicas – a exemplo de uso da terra, degradação de manguezais, bombeamento de águas subterrâneas – e à variabilidade climática (*IPCC*, 2007).

Muitas regiões costeiras têm experimentado os efeitos relativos do aumento do nível do mar, a partir da combinação de características do climáticas, geológicas e hidrológicas, de uso de terra, além de outros fatores locais (*Muehe*, 2010). Para o *IPCC* (2007), o maior desafio seria identificar entre aspectos meteorológicos, oceanográficos, geofísicos e processos antrópicos que afetam a costa, o peso de cada um no processo de aquecimento global.

O impacto do aumento do nível do mar sobre os manguezais, por exemplo, está fortemente relacionado à desestabilização da linha de costa em virtude de processos de erosão causado pela variação e intensificação da ação das marés. Estes ecossistemas constituem barreiras naturais e evitam a erosão e o assoreamento dos corpos d'água adjacentes, devido sua posição na zona entre marés (Muehe, 2010). O sistema radicular da vegetação de manguezal favorece a retenção e deposição de sedimentos altamente vulneráveis a alterações da hidrodinâmica devido ao aumento da energia hidrológica do local. Isso pode causar a destruição das florestas de mangues, visto que o sistema radicular é bastante superficial (Soares, 2008). São regiões extremamente ricas em nutrientes e propícias à reprodução de espécies – de peixes, crustáceos e pássaros, por exemplo –, e, portanto, berçários naturais (Rosenzweig *et al.*, 2011).

Infelizmente, as evidências sobre a magnitude e frequência dos eventos ainda não são totalmente precisas devido à qualidade dos registros – cujo que inclui dados coletados a partir de estações meteorológicas deficientes, ausência de padrão nas medições atmosféricas, dificuldades para a análise da erosão costeira e do aumento do nível do mar no território nacional. Existem muitos problemas relativos à falta de monitoramento e à escassez de informação de âmbito local (Neves e Muehe, 2008). Não há dúvida também, de que os rápidos processos de urbanização e industrialização do País impuseram múltiplos problemas: poluição do ar e da água, aumento do consumo de energia, utilização dos recursos naturais de maneira desequilibrada, saneamento, tratamento e disposição inadequados do lixo, , desmatamento, além da deterioração de qualidade de vida e saúde da população de modo geral, principalmente em grandes centros urbanos.

Em geral, as regiões industrializadas se desenvolveram sem considerar sua interface com o clima e suas mudanças, aumentando os riscos enfrentados pelos diversos setores do comércio e da indústria, relacionados ao turismo e aos negócios com, seguros, navegação, transporte, pesca, combustíveis, gás, mineração, entre outros (Australia, 2011).

As decisões sobre uso de solo e forma urbana – ou seja, a estrutura e a densidade das cidades – têm causado impacto por mais de um século. Entretanto, se tornam prementes apenas diante de catástrofes. As construções continuam avançando em áreas propensas a riscos de desastres e a infraestrutura continua a ser projetada para o clima do passado.

O ciclo hidrológico sofre fortes alterações nas áreas urbanas devidas à alteração da superfície, à canalização, ao carreamento e à forma de escoamento das águas de chuva, além do assoreamento dos corpos d'água com aumento da poluição causada pela contaminação por efluentes líquidos, poluição do ar e das superfícies urbanas, bem como, por conta da disposição inadequada de resíduos sólidos. Infelizmente, políticas públicas inadequadas de uso do solo urbano, drenagem urbana e de gestão de resíduos sólidos têm contribuído para agravar o problema das enchentes em cidades em todo o País (Tucci *et al.*, 2001).

Na saúde, o aumento da morbidade e da mortalidade causadas por doenças transmitidas por água contaminada – a exemplo de leptospirose, diarreias –, por ondas de calor e por poluição atmosférica – como no caso de doenças cardiovasculares e respiratórias – foi relatado em estudos realizados por Confalonieri & Marinho (2008), e Freitas *et al* (2004). sobre as cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, respectivamente.

Diante desse quadro, tanto a mitigação quanto a adaptação, representam desafios consideráveis. Os investimentos necessários em infraestrutura são volumosos e estão concentrados, de certa forma, no presente, pois na maioria dos casos não são pensados para o futuro e, tampouco, distribuídos ao longo do tempo de modo uniforme.

Por um lado, os recursos naturais disponíveis e o vasto território brasileiro permitiram o desenvolvimento de energia com baixo teor de carbono. Historicamente, grandes investimentos em energia hidroelétrica, bem como o etanol – proveniente da cana-de-açúcar – favoreceram o País com a presença de

uma matriz energética baseada em baixa intensidade de emissões de carbono. Entretanto, por outro lado, o desmatamento do bioma Amazônia associado às queimadas aumenta significativamente as taxas de emissões de carbono pelo Brasil (Banco Mundial, 2010a).

Como consequência do desmatamento do bioma Amazônia, deve ocorrer uma mudança significativa dos padrões de incidência de chuvas nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, levando a redução de produtividade das colheitas e de capacidade hídrica, prejudicando inclusive, a produção de hidroeletricidade. A produção agrícola e a pecuária também respondem por 25% das emissões brutas de GEEs pelo Brasil. O volume originário da agricultura resulta, principalmente, do emprego de fertilizantes, da mineralização do nitrogênio no solo, do cultivo de arroz irrigado em várzeas, da queima de cana-de-açúcar e do uso de maquinário agrícola movido a combustíveis fósseis (Banco Mundial, 2010b). Ainda de acordo com relatório do Banco Mundial (2010b), subsetores, tais como transporte urbano, geração de energia e processos industriais, que dependem de combustíveis fósseis, preveem aumentos das emissões até 2030, enquanto as emissões de subsetores que dependem de formas de energia com menor intensidade de carbono (ex. biocombustível e produção de energia hidrelétrica) permanecem relativamente estáveis.

Atualmente, poucas das novas tecnologias – tais como os biocombustíveis de segunda geração, as energias solares, fotovoltaica e eólica, e as técnicas mais avançadas de manejo do solo – estão disponíveis no mercado ou são frequentemente empregadas. Além disso, o engessamento das estruturas administrativas e a falta de articulação do governo com a sociedade dificultam a capacitação do sistema econômico para atender demandas, principalmente em momentos de dificuldade, como são, por exemplo, os casos de crises econômicas e políticas.

Uma pesquisa sobre manejo de solo, conduzida por vinte anos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e pela Universidade Federal Fluminense (UFF), confirmou a eficácia do sistema de plantio direto como prática de conservação de carbono (C) no solo. O estudo mostrou que o plantio direto acumula nele cerca de duas vezes mais C orgânico do que o plantio convencional.

Para o Banco Mundial (2010b), *a mudança dos sistemas de produção de carne, a implementação de melhorias genéticas e aprimoramento das espécies de forragens para o rebanho também podem reduzir as emissões (de metano) provenientes do processo digestivo do gado sem reduzir a produção total de carne.*

No relatório do Banco Mundial (2010b), também é mencionado que a recuperação de florestas tem alto potencial de remoção de carbono: em média, cerca de 140 toneladas de CO<sub>2</sub> ao ano.

*É possível reduzir a demanda de cerca de 138 milhões de hectares até 2030 em um **cenário de baixo carbono** por meio das seguintes medidas de aumento de produtividade da pecuária:*

- *(1) promover a recuperação de áreas degradadas de pastagem;*
- *(2) estimular a adoção de sistemas produtivos que envolvam confinamento de gado para en gorda;*
- *(3) encorajar a adoção de sistemas de lavoura-pecuária.*

Segundo Motta (2011), metas nacionais concentradas no controle do desmatamento podem oferecer ao País uma significativa vantagem comparativa, pois a redução do desmatamento é, sem dúvida, menos restritiva ao crescimento econômico do que as restrições ao consumo de energia, inclusive no processo industrial.

Contudo, afirma o autor, *os estudos mostram que a diminuição da demanda adicional de colheita e pecuária não é suficiente para eliminar a complexa dinâmica que atualmente resulta do desmatamento das florestas nacionais, seja em áreas florestais protegidas ou em áreas onde o desmatamento ainda é legalmente possível. Esses resultados refletem a necessidade de medidas adicionais para conter o processo, pelo menos em*



áreas onde o desmatamento é ilegal, para assim alcançar a meta estabelecida pelo governo brasileiro de desmatamento ilegal zero (Banco Mundial, 2010b).

Algumas medidas já foram colocadas em prática por meio da implementação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Mas, se esses esforços continuarem negligenciados, as emissões aumentarão significativamente. Estima-se que a ampla implementação desse tipo de estratégia reduza o desmatamento em até 68% nos biomas Amazônia e Cerrado, sendo que, na Mata Atlântica, a redução seria de aproximadamente 90% até 2030 (Banco Mundial, 2010b).

O Brasil poderá reduzir ainda as emissões anuais do setor energético em até 35% (até 2030), com a maior parte das ações realizadas pelo setor industrial, se as seguintes medidas forem implementadas, tais como:

- (1) substituição do combustível fóssil utilizado pela indústria;
- (2) refino e transformação *gas-to-liquid* (GTL) para a produção de diesel com baixo teor de enxofre;
- (3) geração de energia solar tanto eólica como fotovoltaica; e,
- (4) cogeração baseada no bagaço da cana-de-açúcar e maquinário de alta eficiência energética.

Ainda assim, as emissões do setor de energia permaneceriam 28% mais elevadas em 2030 do que em 2008 (Banco Mundial, 2010b).

O setor elétrico brasileiro é fortemente dependente de fontes renováveis de energia, principalmente da hidroelétrica. A disponibilidade e a confiabilidade dessas fontes, no entanto, dependerá das condições climáticas, que podem variar em função das mudanças climáticas globais (Schaeffer, 2009).

Para Lucena *et al.* (2009), mais importante do que uma estratégia climática para o setor elétrico associada a reduções das emissões de GEEs, seria tê-la associada a outros setores e visando o processo de adaptação, uma vez que a mudança do clima pode afetar de modo geral a disponibilidade hídrica e conseqüentemente, os sistemas baseados em fontes renováveis de energia, como é o caso do hidroelétrico. De fato, os estudos e cenários climáticos elaborados pelo IPCC (2007) apontam para a possibilidade de que a confiabilidade na geração de eletricidade de origem hidráulica se reduza no longo prazo, em função de alterações das vazões dos rios.

No meio urbano, as emissões poderiam ser reduzidas por meio das seguintes opções de mitigação:

- (1) implementação de sistemas de transportes públicos integrados mais eficientes como a ampliação das linhas de metrô e trens urbanos nas regiões metropolitanas;
- (2) implantação de linhas de veículos leves sobre trilhos (VLT) em grandes cidades ou de Bus Rapid Transit (BRT) em cidades médias e pequenas; além de
- (3) implementação de medidas de gerenciamento de tráfego.

A redução do número de veículos automotivos nas áreas urbanas é extremamente necessária.

A transferência para um sistema modal de transporte de passageiros e cargas é fundamental, com a expansão de trens de alta velocidade, principalmente para grandes centros de decisão – e poder – como São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília; substituindo o uso maciço de aviões, carros e caminhões. Segundo o Banco Mundial (2010b), o uso de sistemas de transporte marítimos e ferroviários para o transporte de cargas poderia reduzir as emissões em cerca de 9% até 2030. Já o Relatório da *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD, 2009) alerta para o fato de que as emissões do setor de transportes marítimos também são significativas, salientando a necessidade de estudos mais aprofundados.

Atualmente, a infraestrutura inadequada para implantação de sistema intermodal e a falta de coordenação entre as instituições públicas brasileiras representam barreiras quase que intransponíveis. A transição dos combustíveis fósseis para os biocombustíveis – de 60% para 80% em 2030 – permitiria uma redução de mais de um terço do total das emissões. Entretanto, o principal desafio é garantir que as sinalizações dos preços do mercado fiquem alinhadas com esse objetivo (Banco Mundial, 2010b).

Ainda, de acordo com o Banco Mundial (2010b), as emissões anuais do setor de manejo de resíduos sólidos e efluentes líquidos podem ser reduzidas em até 80% em 2030, se as seguintes ações forem implantadas:

- (1) a adoção de incentivos ao mercado de carbono por meio do mecanismo de desenvolvimento limpo para estimular a participação em projetos destinados à eliminação dos gases emitidos por aterros sanitários;
- (2) o desenvolvimento da capacidade municipal para planejamento de longo prazo e de projetos relacionados;
- (3) o aumento da conscientização e uso de estruturas mais eficientes;
- (4) a definição de regulamentações e procedimentos legais para melhor acesso a recursos financeiros e, ainda,
- (5) a criação de consórcios intermunicipais e regionais para o gerenciamento dos sistemas de tratamento de resíduos e efluentes domésticos e industriais.

A elaboração de planos de drenagem urbana para as cidades brasileiras provavelmente permitirá mitigar os impactos das enchentes nas cidades. No entanto, será necessário mudar a concepção dos projetos e a forma de planejamento adotadas pela grande maioria dos engenheiros que atuam no campo de sistemas de drenagem. Deve-se, principalmente, modificar as visões técnica e política equivocadas das obras de controle de enchentes.

Essas ações exigem um processo de renovação por parte de diferentes segmentos profissionais, muitos dos quais ainda em fase incipiente de organização (Tucci *et al.*, 2001). Portanto, apesar de eventuais evoluções positivas, essas ainda são pontuais e desconexas, sendo que avanços concretos só ocorrerão se houver uma mudança das soluções técnicas e uma forte motivação – ou vontade política – por parte dos tomadores de decisão. Caso contrário, as perspectivas desse setor serão as piores possíveis.

Quanto aos sistemas de alerta e de prevenção de riscos das barragens brasileiras, espera-se que sejam desenvolvidos mecanismos legais com programas preventivos para as bacias onde o impacto pode ser significativo (Tucci *et al.*, 2001).

Assim, são necessárias soluções urgentes para se reduzir a vulnerabilidade do Brasil e permitir sua adaptação às mudanças do clima. Entretanto é fundamental que as soluções sejam viabilizadas dentro da perspectiva de sistemas integrados.

Normas, políticas, estruturas de governança e interesses comuns adquiridos devem orientar a transformação da legislação nacional. Para que haja sucesso, uma política de desenvolvimento deve considerar como fatores determinantes, a matriz energética, as fontes de energia atuais e potenciais, a agricultura, a transferência de tecnologias, a gestão de riscos, o combate à inércia do comportamento de pessoas e organizações – ou seja, a promoção de mudanças em sua forma de atuar.

As sociedades sempre dependeram do clima, mas apenas agora estão compreendendo que este depende das ações sociais. Se elas não forem bem administradas, comprometerão o bem-estar das gerações, atual e as futuras. O planeta estará, em média, mais quente e seus impactos serão sentidos por todos.

Além disso, mudar metas e padrões organizacionais é um processo lento devido à resistência por parte de alguns setores. Facilitar o processo de adaptação é essencial, notadamente por meio de sistemas de gestão de riscos e redes de proteção social.

Isso significa buscar maior eficiência energética, entre outras opções, para se reduzir o efeito estufa de gases em qualquer que seja a situação, o local e o setor em que haja oportunidade. Além disso, implica investir em infraestrutura e projetos para se minimizar custos e evitar que economias fiquem atreladas a condições de alta emissão de carbono que seriam dispendiosas para mudar no futuro, correndo o risco de se tornarem totalmente inviáveis economicamente (Banco Mundial, 2010b).

Economias limpas serão valorizadas, enquanto que as tradicionais perderão valor de mercado. O que deve ficar bem claro é o fato de que, se um país ou grupo de países não reduzirem as emissões de gases de efeito estufa outros devem fazê-lo por opções de mercado e de sobrevivência. Quem detiver o conhecimento e a disponibilidade de novas tecnologias mais eficientes, sobreviverá (Banco Mundial, 2010a).

Os custos de mitigação aumentam conforme se avança no tempo. Logo, as perdas por atrasos nesse processo são inevitáveis e de tal magnitude, que fica claro que, os benefícios econômicos serão infinitamente maiores para aqueles que realizarem esforços no sentido de reverter o panorama atual.

Para Motta (2011), o desenvolvimento de planos setoriais, se articulado com instrumentos econômicos adequados, oferecerá oportunidades para que o Brasil aumente a eficiência da sua transição na direção de uma economia de baixo carbono e, com isso, se adeque da melhor forma possível às mudanças do clima.

Para garantir o fornecimento de água, energia e alimentos adequados para todos, será necessário um sistema comercial mais flexível – apoiado em novas tecnologias – e redes sociais fortalecidas, menos vulneráveis às mudanças, de maneira que a recuperação se torne um processo cada vez mais rápido, devido à grande articulação entre as partes envolvidas.

As políticas de proteção social e os sistemas de gerenciamento de emergência poderão auxiliar, mas devem ser fortalecidos onde existem, e devem existir nas localidades onde ainda não foram criados ou implantados. Redes de segurança social devem ser gerenciadas de modo que o processo de adaptação tenha respaldo, por exemplo, diante dos desafios impostos pela garantia de segurança – alimentar, hídrica e energética.

Frente às principais características apresentadas, pode-se verificar a extensão dos problemas a serem abordados para que o Brasil alinhe suas políticas com os diversos setores socioeconômicos envolvidos, visando auxiliar um processo de desenvolvimento efetivo, que esteja condicionado ao processo de mitigação e de adaptação às mudanças do clima.

Em uma avaliação de oportunidades para a construção de cenários de investimento, devem ser consideradas as negociações multilaterais desenhadas para uma abordagem que inclua, definitivamente, a interface ambiental, da qual centenas de nações, inclusive o Brasil, dependem. Assim, estará se buscando convergir todos os interesses, de maneira equilibrada e igualitária, através de um sistema de governança claro e eficiente.

Governança significa assumir a responsabilidade pelo destino futuro, desenhar as políticas de maneira integrada para se reverter o quadro atual e, finalmente, executá-las efetivamente. Sem o reconhecimento dos equívocos do passado e da responsabilidade pelo futuro e, sem a forte determinação da necessidade de mudança, será improvável reverter a presente situação e aproveitar as oportunidades que surgem diante da crise climática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Austrália, 2011: Climate Change Risks to Coastal Infrastructure, Industry and Essential Services. Department of Climate Change, Australian Government, Sydney, Australia, pp. 1-2.

Banco Mundial, 2010a: Desenvolvimento e mudança climática. Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial. São Paulo, SP: Editora Unesp. 440 pp

Banco Mundial, 2010b: Brasil: país de baixo carbono. Estudo de caso - Mitigação da mudança climática por meio do desenvolvimento. Energy Sector Management Assistance Program (Esmap) e Carbon

- Finance-Assist Program. (CF-Assist), Programa de Estudos de Baixo Carbono para Países, Washington, DC, EUA. 32 pp.
- Confalonieri, U. e D. Marinho, 2008: Saúde pública e risco social. In: Rio Próximos 100 anos. O aquecimento global e a cidade. [Gusmão, P. et al. (Orgs.)]. Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, Secretaria Municipal de Urbanismo (IPP/SMU), Rio de Janeiro, RJ: Imprinta Express, 229 pp.
- Freitas, C. et al., 2004: Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997 / Hospital admissions and mortality: association with air pollution in São Paulo, Brazil, 1993 to 1997. *Revista de Saúde Pública*. 38(6). 751-759.
- Horton, R. et al., 2010: Climate observations and projections. Capítulo 3. In: *Climate Change Adaptation in New York City: Building a Risk Management Response*. [New York City Panel on Climate Change (Org.)], 2009 Report. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1196, 41-62.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007; [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 900 pp.
- IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp. Disponível em <http://IPCC-wg2.gov/SREX/>.
- Lucena, A.F.P. et al., 2009: The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. *Energy Policy*, 37(3), 879-889.
- Motta, R. S., 2011: A política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança, pp. 31-42. In: *Mudança do clima no Brasil*. [Motta, R.S. et al. (Eds.)]. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília, DF.
- Muehe, D. 2010: Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan American Journal of Aquatic Science*, 5(2), 173-183.
- UNCTAD, 2009: Multi-Year Expert Meeting on Transport and Trade Facilitation: Maritime Transport and the Climate Change Challenge, Summary of Proceedings, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Geneva, CH, pp.1-47.
- Neves, C. e Muehe, D., 2008: Mudanças do clima e zonas costeiras brasileiras. *Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*. Parcerias Estratégicas. Número 27. Brasília-DF.
- NOAA, 2011: Answers to *La Niña* Frequently Asked Questions. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponível em [http://www.elnino.noaa.gov/lanina\\_new\\_faq.html](http://www.elnino.noaa.gov/lanina_new_faq.html). Acessado em fevereiro de 2012.
- O'Brien, K. e R. Leichenko, 2008: Human Security, Vulnerability and Sustainable Adaptation. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. Human Development Report 2007/2008. United Nations Development Program (UNDP), New York, NY, USA.
- Rosenzweig, C. et al. (Eds.), 2011: Responding to Climate Change in New York State. The ClimAID Integrated Assessment for Effective Climate Change Adaptation in New York State, Technical Report. New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA), Report 11-18.

Schaeffer, R., 2009: Redução de emissões: opções e perspectivas para os setores de energia, transporte e indústria. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), Coalizão de Empresas pelo Clima, Rio de Janeiro, RJ.

Soares, M.L.G., 2008: Formação de manguezais. In: *Rio próximos 100 anos. O aquecimento global e a cidade*. [Gusmão, P.S. e P. Besserman (Orgs.)], Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos, Secretaria Municipal de Urbanismo, IPP/SMU, Rio de Janeiro, RJ.

Tucci, C.E.M. et al. 2001: a Gestão da água no Brasil. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (Unesco), Representação no Brasil. Brasília, DF: Edições Unesco, 191 pp.

UNFPA, 2009: State of World Population. Facing a changing World: Women, Population and Climate. United Nations Population Fund (UNFPA), New York, NY, USA, 94 pp.

## CAPÍTULO 3

### MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ESFERA NACIONAL

**Autores principais:** Regina Célia dos Santos Alvalá– INPE

**Autores revisores:** Hilton Silveira Pinto – UNICAMP e Alberto Waingort – INPE

## ÍNDICE

<b>3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ESFERA NACIONAL</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>36</b>

### 3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA ESFERA NACIONAL

Este capítulo apresenta uma visão geral dos temas que serão apresentados detalhadamente ao longo deste volume.

No Capítulo 4, são detalhadas as questões sobre os recursos hídricos no Brasil, desde a perspectiva nacional até as especificidades de cada região. Também são descritas informações sobre os ecossistemas de água doce, marinhos e terrestres. Neste contexto, o Brasil é considerado o país de maior biodiversidade do planeta por sua dimensão continental e grande variação geomorfológica e climática, abriga seis biomas: Amazônia, Cerrado, Pantanal, Mata Atlântica, Caatinga e Pampa (Araújo, 2007).

Os ecossistemas que fazem parte do bioma Amazônia ocupam cerca de 3,68 milhões de km<sup>2</sup>. Já os do bioma Cerrado abrangem em torno de 2 milhões de km<sup>2</sup>, os do Mata Atlântica se estendem por 1,1 milhão de km<sup>2</sup> e, os do Caatinga, cobrem 736 mil km<sup>2</sup>. Conforme destacado por Lewinsohn e Prado (2002), estima-se que, até o início dos anos 2000, tenham sido registradas no Brasil cerca de 200 mil espécies animais e vegetais.

Com base nos grupos taxonômicos mais bem conhecidos, estima-se que o País possui 13,6% das espécies do mundo e abriga a maior diversidade de mamíferos, contando com mais de 530 espécies já descritas e com muitas a serem ainda descobertas e catalogadas (Costa *et al.*, 2005).

Segundo Assad (2000), as alterações ou destruição dos diferentes ecossistemas existentes no Brasil ou mesmo no planeta, pela interferência humana ou por causas naturais, são os principais fatores de ameaça à sobrevivência de grande número de espécies.

O principal exemplo de destruição e perda dos *habitats* no Brasil está relacionado ao desmatamento e degradação do bioma Mata Atlântica, que se acentuou na década de 50, principalmente devido a fatores como a industrialização e à agricultura extensiva. Esse bioma se estende pelo litoral brasileiro, cobrindo em torno de 12% do território nacional, desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte. Ainda segundo Assad (2000), baseado em estudos de diversos autores, a deterioração do Mata Atlântica ultrapassou 90% de sua área, o que representou uma destruição de diversos *habitats* existentes, levando a danos acentuados por conta da diversidade biológica dessa região.

Embora seja o bioma brasileiro com menor porcentagem de cobertura vegetal natural, o Mata Atlântica ainda possui uma importante parcela da diversidade biológica do País, com várias espécies endêmicas, mais de 20.000 espécies de plantas, 261 de mamíferos e 688 de pássaros (Ribeiro *et al.*, 2009). Áreas do Brasil como as dos biomas Mata Atlântica e Cerrado são denominadas *hotspots*, pois, conforme definido por Myers (1988), concentram altos níveis de biodiversidade e estão ameaçadas no mais alto grau. Além dessas áreas, o Brasil ainda conta com três Grandes Regiões Naturais (GRN), na classificação definida por Mittermeier (1988) como aquelas que permanecem relativamente conservadas, donas de alta biodiversidade e baixa densidade populacional. Trata-se dos biomas Amazônia, Pantanal e Caatinga.

Segundo Vilas Boas e Dias (2010), o bioma Cerrado teve sua área reduzida com a expansão de áreas agrícolas, especialmente com a cultura da soja em meados dos anos 80. Segundo a fundação Biodiversitas (2009a,b), 112 espécies de animais que ocorrem nesse bioma estão ameaçadas de extinção. Já o bioma Pantanal é a mais vasta planície inundável do mundo, com grandes extensões ainda inabitadas ou de baixa ocupação e, conseqüentemente, em excelentes condições de conservação. De acordo com Alho (2008), seu sistema é dinâmico e complexo baseado em níveis de inundação, nutrientes e biota. A vegetação compreende 1.863 espécies de plantas fanerógamas, outras 250 aquáticas, e, ainda, de outras 3.400, que se distribuem na Bacia Hidrográfica do Alto do Rio Paraguai.

O bioma Caatinga é considerado uma exceção no cenário da América do Sul, por ser região semiárida única, cercada por outros ecossistemas florestais. Mais informações sobre os ecossistemas terrestres



podem ser encontrados no capítulo 8 deste volume do Relatório de Avaliação Nacional 1, que aborda os impactos, a vulnerabilidade e a adaptação em esfera regional.

Sob o aspecto climático de variações e tendências das chuvas e da temperatura, vários são os capítulos que abordam esse tema, entre os quais se inclui o 4, anteriormente citado, o 5, que trata de aglomerados humanos, indústria e infraestrutura, o 7, referente a impactos multisetoriais, riscos, vulnerabilidades e oportunidades, além do próprio 8.

Algumas regiões do Brasil poderão ter seus índices de temperatura e de chuva alterados com o aquecimento global. Com a mudança dos padrões anuais de chuva, ou mesmo onde não houver alteração do total anual, deverá ocorrer intensificações de eventos severos.

Alguns estudos foram realizados para se identificar alterações nos ciclos naturais que possam estar relacionadas com as mudanças climáticas. Mas não existem muitas avaliações sobre variabilidade de longo prazo e extremos de tempo e de clima no País. Alguns estudos foram feitos para regiões específicas como a América do Sul, mas um dos desafios que dificulta o andamento desse tipo de análise tem sido a falta de informação meteorológica de boa qualidade em séries completas de longo prazo. Marengo e Camargo (2008), ao estudarem as temperaturas máximas e mínimas no Sul do Brasil de 1960 a 2002, encontraram um aquecimento sistemático da Região, detectando tendências positivas na temperatura máxima e mínima em níveis anual e sazonal. A amplitude térmica apresentou tendências negativas fortes nesse período, sugerindo que as variações na temperatura mínima foram mais intensas do que nas máximas, especialmente no verão. Isso também foi observado por Gonçalves *et al.*, (2002) para São Paulo. Porém, essas análises de temperaturas máximas e mínimas não estabeleceram se o verão pode ter dias ou noites mais quentes ou se o inverno pode ter noites menos frias. As análises de Marengo e Camargo (2008) sugeriram que o aquecimento observado é mais intenso no inverno comparado ao verão e que isso se dá, possivelmente, devido ao aumento de número de dias quentes no inverno.

Chu *et al.*, (1995) mostraram um aumento sistemático da convecção sobre o Norte do bioma Amazônia desde 1975, o que poderia indicar um aumento de chuva na região. Outras bacias do Sudeste do Brasil, os registros dos rios Paraíba do Sul, nos municípios de Resende, Guaratinguetá e Campos, do Paraíba em Boa Esperança e, do São Francisco, em Juazeiro, apresentaram tendências hidrológicas nas vazões e cotas inconsistentes com redução ou aumento de chuvas, indicando ser pouco provável que o clima esteja mudando significativamente nessas regiões (Marengo *et al.*, 1998; Moraes *et al.*, 1998; Collischonn *et al.*, 2001; Liebmann *et al.*, 2004; Marengo e Alves, 2005; Buarque *et al.*, 2010; Satyamurty *et al.*, 2010).

Impactos de ondas de frio vêm sendo identificados desde o fim do século XIX pelas estatísticas de produção de café nas plantações do Sul do Brasil. Em estudo sobre a variabilidade climática de longo prazo na Região, foi observado que a quantidade de ondas de frio diminuiu com o tempo, mas isso não impede que uma forte onda de frio possa afetá-la a qualquer momento. Nos 106 anos, entre 1890 e 1996, foram registrados 18 eventos graves de congelamento que danificaram a produção do café. Desses, cinco foram consideradas catastróficas. Das 27 geadas que atingiram as regiões cafeicultoras no século XX, sete ocorreram em junho e doze, em julho. Agosto teve cinco geadas nesse período e, portanto, não se pode desprezar tal perigo durante esses meses (Marengo e Rogers, 2001).

Groisman *et al.* (2005) identificaram tendências positivas de aumento sistemático de chuva e de extremos de chuva no Sul e no Nordeste do Brasil e afirmam que o Sudeste tem mostrado aumento sistemático na frequência de chuvas intensas desde 1940.

Xavier *et al.* (1994), ao estudarem a variabilidade da precipitação diária na cidade de São Paulo durante o período de 1933 a 1986, encontraram aumento no volume diário de chuva acima de 30 milímetros (mm) entre os meses de fevereiro e maio. Segundo os autores, o efeito urbano pode ter contribuído para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação.

O ciclo anual de eventos extremos de chuva no Sul do Brasil indicou que estes eventos são mais frequentes na primavera e outono (Teixeira, 2004; Liebmann *et al.*, 2004). Mostrou também que no Estado de São Paulo, em escala interanual, o número de eventos extremos de chuva apresentou correlação com anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico tropical e no Sudeste do Atlântico, próximo ao litoral paulista.

Haylock *et al.* (2006), ao estudarem a Região Sul do Brasil juntamente com as condições de outros países sul-americanos vizinhos para o período de 1960 a 2000, encontraram tendências positivas nos índices de precipitação, sugerindo ter havido aumento na intensidade e na frequência de dias com chuva intensa. Também para o sul do Brasil, Teixeira (2004) identificou uma ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos de chuva.

Outro estudo analisando tendências em extremos anuais de chuva para a Região Sul, incluindo Paraguai, Uruguai e o centro-norte da Argentina, desenvolvido por Alexander *et al.* (2006), identificou tendências positivas no número de dias com chuva intensa e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos e muito chuvosos entre 1961 e 2000.

Em 27 de março de 2004, uma tempestade inicialmente classificada como ciclone extratropical atingiu a costa do Sul do Brasil, com chuvas fortes e ventos estimados em cerca de 150 quilômetros por hora (km/h), matando onze pessoas no continente e no oceano e destruição em dezenas de municípios. Foi o primeiro furacão de que se tem notícia no País, que recebeu o nome de Catarina (Pezza e Simmonds, 2005).

Alguns estudos indicam que o aumento da temperatura das águas oceânicas estaria tornando mais intensos esses fenômenos, mas ainda há incertezas quanto a real influência do aquecimento global em mudanças na frequência de furacões e tufões e em sua ocorrência em locais onde não eram observados (Webster *et al.*, 2005; Marengo e Nobre, 2005).

As análises de extremos de chuva e de temperatura apresentadas nos trabalhos de Vincent *et al.* (2005), Haylock *et al.*, (2006) e Alexander *et al.*, (2006), para a América do Sul apresentam uma visão de aquecimento e de intensificação de eventos extremos pluviométricos, ainda que essas mudanças sejam menos sensíveis do que as ocorridas na temperatura do ar (Marengo e Camargo 2008).

Foi verificado um aumento de vazão nos rios Paraguai, Uruguai e Paraná a partir da década de 1970, que pode ser devido ao aumento na pluviosidade ou a fatores como desmatamento e agricultura. Observou-se também, um aumento da produtividade agrícola na região e, com o maior volume de água nos rios, aumentou a capacidade de geração de energia de usinas hidrelétricas, como Itaipu (Collischonn *et al.*, 2001).

Teixeira (2004) identificou ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos e chuva, com maior frequência nos biênios 1993 a 1994 e 1997 a 1998, que foram marcados por ocorrências de *El Niño*. Grimm e Pscheidt (2001) explicaram que, no Sul do Brasil, durante os anos de *El Niño* ou de *La Niña*, se observou aumento ou diminuição de eventos extremos de chuva no mês de novembro comparado ao registrado no mesmo mês em anos considerados normais.

No período analisado por esses autores – de 1963 a 1992 –, houve nove eventos *El Niño* e outros seis *La Niña*, além de quinze anos normais. Foram detectados 36 eventos extremos de chuva durante o mês de novembro em anos de ocorrência de *El Niño*, outros três, em anos marcados pelo *La Niña* e, ainda, 23 em anos normais.

A influência do *El Niño* na frequência de eventos extremos também se estende a outras regiões e épocas do ano.

Outro fenômeno que parece coincidir com anos de *El Niño* é o branqueamento de corais (nn e D’Croz,

1990), que pode também ser causado por desastres naturais como derramamento de óleo, poluição das águas, entre outros. O branqueamento extensivo pode causar a morte em massa dos corais resultando na degradação do ecossistema recifal, devido à perda da sua cobertura viva, da sua biodiversidade e da diminuição do crescimento linear dos corais (Goreau e Macfarlane, 1990; Glynn, 1993).

Segundo Goreau e Hayes (1994), anomalias de 1 °C na temperatura das águas superficiais do oceano por mais de seis semanas podem provocar branqueamento de coral (Wilkinson *et al.*, 1999). Este valor foi atingido em 2003, no arquipélago de Abrolhos, no Estado da Bahia, mais exatamente na área entre as ilhas de Tinharé e Boipeba e no litoral norte baiano.

Valores iguais a 0,75 °C foram obtidos na Baía de Todos os Santos (BTS) e na região de Camamu, no litoral sul da Bahia, em 2003, e, ainda, nos anos de 2001, 2002 e 2005, em Abrolhos. Em 2005, ocorreram anomalias com valor de 0,5 °C nas regiões de Porto Seguro e nas ilhas de Tinharé e Boipeba, além do arquipélago de Abrolhos, bem como na BTS. Já em 2000 e 2004, os valores máximos registrados nas anomalias de temperatura das águas dessas ilhas baianas e no referido arquipélago de Abrolhos alcançaram 0,25 °C (Leão *et al.*, 2008).

A variabilidade da precipitação diária na cidade de São Paulo no período de 1933 a 1986 (Xavier *et al.*, 1994) mostrou fraca tendência de aumento mensal nos meses de fevereiro e maio, enquanto que, acumulações ao dia superiores a 30 mm aumentaram nos meses de fevereiro e maio e, aquelas inferiores a 2 e 5 mm, diminuíram de forma mais significativa em fevereiro, ainda que tenham ocorrido, também, em outros meses do ano.

Para o caso da cidade de São Paulo, é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação. Mais detalhes são apresentados no subcapítulo 5.2 deste Relatório.

O Brasil chegou ao final do século XX como um país urbano: em 2000 a população nas suas cidades ultrapassou dois terços da população total, e atingiu a marca dos 138 milhões de pessoas.

Os fenômenos climáticos podem influenciar a saúde humana de forma direta ou indireta. Especialmente em zonas urbanas destacam-se os efeitos diretos, tais como tempestades e inundações — que provocam mortalidade por afogamento, deslizamentos de terra, desabamentos de prédios ou extremos de temperatura, como as ondas de calor. Os efeitos indiretos são realçados por modificações no ambiente, como as de ecossistemas e ciclos biogeoquímicos, por perda na produção agrícola e, conseqüentemente, impacto nutricional, queda nos padrões de higiene pessoal e ambiental e também como determinante de fenômenos demográficos (Thompson e Cairncross, 2002).

Enchentes ou secas afetam a qualidade e o acesso à água e podem favorecer a incidência de doenças infecciosas como a leptospirose, as hepatites virais, as doenças diarréicas e não transmissíveis, que incluem desnutrição e doenças mentais (Brasil, 2008).

As flutuações climáticas sazonais produzem efeito na dinâmica das doenças vetoriais, como por exemplo, o da maior incidência da dengue no verão e da malária no bioma Amazônia durante o período de estiagem. Isto é observado em anos considerados normais e está associado à formação de um grande número de criadouros temporários, favoráveis à proliferação dos mosquitos vetores (Confalonieri, 2005; Confalonieri e Marinho, 2007).

Queimadas e efeitos de inversões térmicas que concentram a poluição, bem como alterações de temperatura, umidade e regime de chuvas influenciam a qualidade do ar, principalmente nas áreas urbanas, agravando as doenças respiratórias e alterando as condições de exposição aos poluentes atmosféricos.

As características físicas e químicas dos poluentes e também as climáticas, tais como temperatura, umidade e precipitação, definem o tempo de residência dos poluentes na atmosfera, podendo ser

O ciclo anual de eventos extremos de chuva no Sul do Brasil indicou que estes eventos são mais frequentes na primavera e outono (Teixeira, 2004; Liebmann *et al.*, 2004). Mostrou também que no Estado de São Paulo, em escala interanual, o número de eventos extremos de chuva apresentou correlação com anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico tropical e no Sudeste do Atlântico, próximo ao litoral paulista.

Haylock *et al.* (2006), ao estudarem a Região Sul do Brasil juntamente com as condições de outros países sul-americanos vizinhos para o período de 1960 a 2000, encontraram tendências positivas nos índices de precipitação, sugerindo ter havido aumento na intensidade e na frequência de dias com chuva intensa. Também para o sul do Brasil, Teixeira (2004) identificou uma ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos de chuva.

Outro estudo analisando tendências em extremos anuais de chuva para a Região Sul, incluindo Paraguai, Uruguai e o centro-norte da Argentina, desenvolvido por Alexander *et al.* (2006), identificou tendências positivas no número de dias com chuva intensa e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos e muito chuvosos entre 1961 e 2000.

Em 27 de março de 2004, uma tempestade inicialmente classificada como ciclone extratropical atingiu a costa do Sul do Brasil, com chuvas fortes e ventos estimados em cerca de 150 quilômetros por hora (km/h), matando onze pessoas no continente e no oceano e destruição em dezenas de municípios. Foi o primeiro furacão de que se tem notícia no País, que recebeu o nome de Catarina (Pezza e Simmonds, 2005).

Alguns estudos indicam que o aumento da temperatura das águas oceânicas estaria tornando mais intENSOs esses fenômenos, mas ainda há incertezas quanto a real influência do aquecimento global em mudanças na frequência de furacões e tufões e em sua ocorrência em locais onde não eram observados (Webster *et al.*, 2005; Marengo e Nobre, 2005).

As análises de extremos de chuva e de temperatura apresentadas nos trabalhos de Vincent *et al.* (2005), Haylock *et al.*, (2006) e Alexander *et al.*, (2006), para a América do Sul apresentam uma visão de aquecimento e de intensificação de eventos extremos pluviométricos, ainda que essas mudanças sejam menos sensíveis do que as ocorridas na temperatura do ar (Marengo e Camargo 2008).

Foi verificado um aumento de vazão nos rios Paraguai, Uruguai e Paraná a partir da década de 1970, que pode ser devido ao aumento na pluviosidade ou a fatores como desmatamento e agricultura. Observou-se também, um aumento da produtividade agrícola na região e, com o maior volume de água nos rios, aumentou a capacidade de geração de energia de usinas hidrelétricas, como Itaipu (Collischonn *et al.*, 2001).

Teixeira (2004) identificou ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos e chuva, com maior frequência nos biênios 1993 a 1994 e 1997 a 1998, que foram marcados por ocorrências de *El Niño*. Grimm e Pscheidt (2001) explicaram que, no Sul do Brasil, durante os anos de *El Niño* ou de *La Niña*, se observou aumento ou diminuição de eventos extremos de chuva no mês de novembro comparado ao registrado no mesmo mês em anos considerados normais.

No período analisado por esses autores – de 1963 a 1992 –, houve nove eventos *El Niño* e outros seis *La Niña*, além de quinze anos normais. Foram detectados 36 eventos extremos de chuva durante o mês de novembro em anos de ocorrência de *El Niño*, outros três, em anos marcados pelo *La Niña* e, ainda, 23 em anos normais.

A influência do *El Niño* na frequência de eventos extremos também se estende a outras regiões e épocas do ano.

Outro fenômeno que parece coincidir com anos de *El Niño* é o branqueamento de corais (nn e D’Croz,

1990), que pode também ser causado por desastres naturais como derramamento de óleo, poluição das águas, entre outros. O branqueamento extensivo pode causar a morte em massa dos corais resultando na degradação do ecossistema recifal, devido à perda da sua cobertura viva, da sua biodiversidade e da diminuição do crescimento linear dos corais (Goreau e Macfarlane, 1990; Glynn, 1993).

Segundo Goreau e Hayes (1994), anomalias de 1 °C na temperatura das águas superficiais do oceano por mais de seis semanas podem provocar branqueamento de coral (Wilkinson *et al.*, 1999). Este valor foi atingido em 2003, no arquipélago de Abrolhos, no Estado da Bahia, mais exatamente na área entre as ilhas de Tinharé e Boipeba e no litoral norte baiano.

Valores iguais a 0,75 °C foram obtidos na Baía de Todos os Santos (BTS) e na região de Camamu, no litoral sul da Bahia, em 2003, e, ainda, nos anos de 2001, 2002 e 2005, em Abrolhos. Em 2005, ocorreram anomalias com valor de 0,5 °C nas regiões de Porto Seguro e nas ilhas de Tinharé e Boipeba, além do arquipélago de Abrolhos, bem como na BTS. Já em 2000 e 2004, os valores máximos registrados nas anomalias de temperatura das águas dessas ilhas baianas e no referido arquipélago de Abrolhos alcançaram 0,25 °C (Leão *et al.*, 2008).

A variabilidade da precipitação diária na cidade de São Paulo no período de 1933 a 1986 (Xavier *et al.*, 1994) mostrou fraca tendência de aumento mensal nos meses de fevereiro e maio, enquanto que, acumulações ao dia superiores a 30 mm aumentaram nos meses de fevereiro e maio e, aquelas inferiores a 2 e 5 mm, diminuíram de forma mais significativa em fevereiro, ainda que tenham ocorrido, também, em outros meses do ano.

Para o caso da cidade de São Paulo, é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação. Mais detalhes são apresentados no subcapítulo 5.2 deste Relatório.

O Brasil chegou ao final do século XX como um país urbano: em 2000 a população nas suas cidades ultrapassou dois terços da população total, e atingiu a marca dos 138 milhões de pessoas.

Os fenômenos climáticos podem influenciar a saúde humana de forma direta ou indireta. Especialmente em zonas urbanas destacam-se os efeitos diretos, tais como tempestades e inundações — que provocam mortalidade por afogamento, deslizamentos de terra, desabamentos de prédios ou extremos de temperatura, como as ondas de calor. Os efeitos indiretos são realçados por modificações no ambiente, como as de ecossistemas e ciclos biogeoquímicos, por perda na produção agrícola e, conseqüentemente, impacto nutricional, queda nos padrões de higiene pessoal e ambiental e também como determinante de fenômenos demográficos (Thompson e Cairncross, 2002).

Enchentes ou secas afetam a qualidade e o acesso à água e podem favorecer a incidência de doenças infecciosas como a leptospirose, as hepatites virais, as doenças diarréicas e não transmissíveis, que incluem desnutrição e doenças mentais (Brasil, 2008).

As flutuações climáticas sazonais produzem efeito na dinâmica das doenças vetoriais, como por exemplo, o da maior incidência da dengue no verão e da malária no bioma Amazônia durante o período de estiagem. Isto é observado em anos considerados *normais* e está associado à formação de um grande número de criadouros temporários, favoráveis à proliferação dos mosquitos vetores (Confalonieri, 2005; Confalonieri e Marinho, 2007).

Queimadas e efeitos de inversões térmicas que concentram a poluição, bem como alterações de temperatura, umidade e regime de chuvas influenciam a qualidade do ar, principalmente nas áreas urbanas, agravando as doenças respiratórias e alterando as condições de exposição aos poluentes atmosféricos.

As características físicas e químicas dos poluentes e também as climáticas, tais como temperatura, umidade e precipitação, definem o tempo de residência dos poluentes na atmosfera, podendo ser transportados a longas distâncias em condições favoráveis de alta temperatura e baixa umidade.

Em áreas urbanas, a presença de poluentes atmosféricos associados a eventos meteorológicos como inversões térmicas podem agravar a frequência e a intensidade de doenças como a asma, alergias, infecções bronco-pulmonares e de vias aéreas superiores – sinusite –, principalmente nos grupos populacionais mais suscetíveis, que incluem as crianças menores de cinco anos e os indivíduos maiores de 65 anos de idade.

A maioria dos estudos relacionando níveis de poluição do ar com efeitos sobre a saúde humana foi desenvolvida para áreas metropolitanas, incluindo as grandes capitais da Região Sudeste do Brasil. Eles mostraram associação da carga de morbimortalidade por doenças respiratórias, com incremento de poluentes atmosféricos, especialmente de material particulado (Saldiva *et al.*, 1994; Gouveia *et al.*, 2006). O tamanho da partícula, superfície e a composição química do material particulado determinam o risco que a exposição a esse agente representa para a saúde pública.

As emissões gasosas e de material particulado para a atmosfera derivam, principalmente, de veículos, indústrias e queima de biomassa. No Brasil, as áreas metropolitanas localizadas, sobretudo na Região Sudeste, são onde se concentram as fontes estacionárias e as grandes frotas de veículos, enquanto a queima de biomassa ocorre em maior extensão e intensidade na Amazônia Legal, cuja extensão compreende além dos Estados da região Norte, áreas de Estados do Centro Oeste e Nordeste do País (Martins *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2012). Este tema é amplamente abordado no capítulo 5, intitulado *Aglomerado urbano, indústria e infraestrutura*, bem como ao capítulo 6, sob o título *Saúde humana, bem-estar e segurança*.

Variáveis como idade, perfil de saúde, resiliência fisiológica e condições sociais contribuem diretamente para as respostas humanas relacionadas às variáveis climáticas (Martins *et al.*, 2004). Fatores que aumentam a vulnerabilidade dos problemas climáticos são uma combinação de crescimento populacional, pobreza e degradação ambiental (IPCC, 2007).

Os riscos associados às mudanças climáticas globais não podem ser avaliados isoladamente desse contexto. Ao contrário, deve-se ressaltar que os riscos são o produto de *perigos* e *vulnerabilidades*, como costumam ser medidos nas engenharias. Os perigos, no caso das mudanças globais, são dados pelas condições ambientais e pela magnitude dos eventos. Já as vulnerabilidades são conformadas pelas condições sociais marcadas pelas desigualdades, pelas diferentes capacidades de adaptação, pela resistência e pela resiliência. Uma estimativa de vulnerabilidade das populações brasileiras apontou o Nordeste como a Região mais sensível a mudanças climáticas devido aos baixos índices de desenvolvimento social e econômico (Confalonieri, 2005).

Essas avaliações são baseadas no pressuposto de que grupos populacionais com piores condições de renda, educação e moradia sofreriam os maiores impactos das mudanças ambientais e climáticas. No entanto, como resalta Guimarães (2005), as populações mais pobres, nas cidades e no campo, têm demonstrado uma imensa capacidade de adaptação, uma vez que já se encontram excluídas de sistemas técnicos.

O semiárido nordestino, que apresenta curta, porém crucialmente importante estação chuvosa no clima presente, poderia, em um clima mais quente no futuro, transformar-se em região árida. Isto pode vir a afetar a agricultura de subsistência regional, a disponibilidade de água e a

saúde da população, obrigando-as a migrarem para outras regiões. Informações completas podem ser encontradas no capítulo 7 deste volume do RAN1, sob o título *Impactos multisetoriais, riscos, vulnerabilidades e oportunidades*, além dos capítulos 5 e 6.

Desde meados dos anos 1970, passou-se a reconhecer que alterações na cobertura de terra modificam o albedo de superfície e, portanto, as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera, as quais têm impacto sobre o clima local e regional (Lambin *et al.*, 2003). Apesar de o homem ter modificado a terra para obtenção de alimentos e outros itens essenciais à sua sobrevivência ao longo de milhares de anos, as taxas atuais, extensões e as intensidades de mudanças de uso e cobertura da terra – em inglês, *Land-Use and Land-Cover Change* – vêm aumentando, o que conduz a mudanças nos ecossistemas e processos ambientais em escalas local, regional e global (Ellis, 2010).

Dessa forma, o monitoramento e a avaliação das consequências negativas da *LUCC*, juntamente com a produção sustentável de recursos essenciais, tornaram-se uma grande prioridade para pesquisadores e formuladores de políticas públicas.

Quanto à exploração das florestas no Brasil, a floresta amazônica manteve-se intacta até 1970 (Fearnside, 2005). Seu desmatamento iniciou com a construção da rodovia Transamazônica, em taxas que têm variado ao longo dos anos.

Atualmente, o país conta com dois sistemas para monitoramento do desmatamento, ambos desenvolvidos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Um deles, o PRODES, calcula exclusivamente aquele de corte raso, superior a 6,25 ha. O outro, identificado como DETER, que se destina à detecção do desmatamento em tempo real, permite identificar de maneira mais rápida onde está ocorrendo a derrubada de floresta, além de mapear, tanto áreas submetidas a tal tipo de corte, como aquelas em processo por degradação florestal, com base em dados dos sensores MODIS, do satélite *Terra/Aqua* e *Wide Field Imager Camera (WFI)*, do satélite *CBERS*, com resolução espacial de 250 metros.

A taxa de desmatamento estimada pelo INPE para o período de agosto de 2009 a agosto de 2010 foi de 6.451 km<sup>2</sup>, enquanto que, pelo sistema DETER, 224,94 km<sup>2</sup> da floresta sofreram corte raso ou degradação progressiva no mês de julho de 2011, segundo informação disponível em: <http://www.obt.inpe.br>. Mais informações a respeito podem ser lidas no capítulo 5 deste volume do RAN1.

No contexto climático, várias pesquisas foram realizadas nas duas últimas décadas para avaliar o impacto das alterações dos usos da terra da Amazônia no clima regional e local (Nobre *et al.*, 1991;

Manzi e Planton, 1996; Sampaio *et al.*, 2007; Correia *et al.*, 2008; entre outros). De modo geral, os estudos revelam que os resultados obtidos, considerando simulações a partir de modelos climáticos globais ou regionais e desmatamento em larga escala ou de cenários projetados para o futuro, podem alterar o clima regional, que se tornaria mais quente e mais seco.

Deve-se ressaltar que avaliações considerando efeitos do desmatamento sobre as chuvas dependem da escala em que o corte da cobertura vegetal ocorre. Ou seja, regiões desmatadas recebem, frequentemente, mais chuvas do que aquelas onde a estiagem é maior (Durieux *et al.*, 2003; Saad *et al.*, 2010). Portanto, essas investigações corroboraram os estudos mencionados acima, os quais apontam para a perspectiva de que, se o desenvolvimento sustentável e as políticas de conservação não atuarem no sentido de deter o aumento da degradação ambiental no bioma Amazônia, as mudanças de usos da terra podem conduzir o sistema do clima em relação ao bioma a um novo estado de equilíbrio mais seco, levando à savanização de algumas de suas partes.

Soares Filho *et al.* (2010), também com base em estudos de modelagem, estimaram a demanda futura por terras e as emissões geradas pelas mudanças de uso de solo e florestas (Ellis, 2010). A partir dos resultados, eles verificaram que o volume total de terras adicionais necessárias chegava a mais de 70

milhões de ha para acomodar a expansão de todas as atividades durante o período de 2006 a 2030.

Segundo Loarie *et al.* (2011), atualmente há também uma crescente demanda global por biocombustíveis, que exigirá conversão de ecossistemas agrícolas convencionais ou naturais. A expansão da produção desse insumo energético em áreas hoje utilizadas no Brasil para a agricultura reduz a necessidade de se limpar os ecossistemas naturais, o que, portanto, implicaria benefícios indiretos ao clima, através da redução de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e de um retorno mais rápido de débitos de carbono.

A expansão dos biocombustíveis pode também causar mudanças diretas no clima local, alterando o albedo da superfície e a evapotranspiração, embora estes efeitos ainda não tenham sido completamente documentados.

Particularmente para quantificarem os efeitos climáticos diretos da expansão da cana-de-açúcar no cerrado brasileiro a partir de uma área de 1,9 milhões de km<sup>2</sup>, Loarie *et al.* (2011) consideraram mapas recentes de ampliação da área plantada e do desmatamento da vegetação natural, combinados aos dados de sensoriamento remoto de temperatura, albedo e evapotranspiração. Os resultados obtidos indicaram que, em uma base regional e para dias de céu claro, a conversão da vegetação natural em um mosaico composto por culturas e pastagem aqueceu esse trecho do bioma Cerrado por uma média de conversão de 1,55 – de 1,45 a 1,65 – °C. Porém, a conversão subsequente do mosaico em cana-de-açúcar resfriou a região a uma média de 0,93 – de 0,78 a 1,07 – °C, resultando em um aumento médio líquido de 0,06 °C.

Portanto, os resultados de Loarie *et al.* (2011) indicaram que a expansão da cana-de-açúcar em áreas agrícolas e de pastagens existentes tem efeito de resfriamento local direto, o que reforça os benefícios indiretos para o clima a partir de sua opção para o uso da terra.

Previamente, Martinelli *et al.*, (2010), a partir da análise de dados censitários sobre o uso de terra no Brasil, destacaram que o País já tem uma área desprovida de vegetação natural suficientemente grande para acomodar a expansão da produção agrícola. Também ressaltaram que seus maiores entraves à produção de alimentos não são devidos a restrições supostamente impostas pelo Código Florestal, mas, sim, à:

- a) enorme desigualdade na distribuição de terras,
- b) restrição de crédito agrícola ao agricultor que produz alimentos de consumo direto,
- c) falta de assistência técnica para aumentar a produtividade,
- d) falta de investimentos em infraestrutura para armazenamento e escoamento da produção agrícola, e, ainda,
- e) restrições de financiamento e priorização do desenvolvimento e tecnologia que permita aumento expressivo na lotação de pastagens em território brasileiro..

A evolução do desmatamento no bioma Pantanal e seu entorno no período de 1976 a 2008, assim como nos cenários elaborados para o período de 2010 a 2050, foi investigada por Silva *et al.* em 2011. Considerando as subdivisões da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai (BAP) – planície e planalto –, a BAP nos Estados de Mato Grosso e de Mato Grosso do Sul, e a BAP nos biomas Pantanal, Cerrado e Amazônia, seus resultados indicaram que, até 2008, o desmatamento na planície pantaneira atingiu 12,14% de sua área, enquanto que, no planalto, chegou a 58,9%.



Os percentuais apontam ainda que, caso não sejam estabelecidas ações efetivas de controle, a vegetação natural no bioma Pantanal, cuja área é de 361.666 km<sup>2</sup> (Silva e Abdon, 1998), poderá ser suprimida até o ano de 2050.

O Cerrado, bioma da parte central do País, ocupa área aproximada de 203 milhões de hectares (IBGE, 2004), ou seja, 25% do território brasileiro. Caracteriza-se por vegetação rica em espécies, com mais de 450 delas vasculares por hectare, e por diferentes tipos de cerrado: pastagens, savanas arbustivas, savana arborizada e outros (Sano *et al.*, 2000).

Ferreira *et al.* (2007) ressaltaram que o cerrado brasileiro é considerado a savana mais rica do mundo em termos de biodiversidade (Ratter *et al.*, 1996), além de ser um dos 25 hotspots de biodiversidade no planeta Terra (Myers *et al.*, 2000). O bioma Cerrado desempenha ainda, um importante papel no balanço de energia, água e carbono da região, atuando como um sumidouro de GEEs, tais como o óxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o gás metano (CH<sub>4</sub>).

Os resultados referentes ao monitoramento do desmatamento divulgados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) informaram que, em 2009, o Cerrado contava com área de vegetação nativa de 1,043346 milhão de km<sup>2</sup>, ou seja, 51,16% da área do bioma, e que, a área desmatada no período de 2009 a 2010 foi de 6.469 km<sup>2</sup> (MMA, 2011).

O Pampa é um bioma restrito a uma unidade federativa do Brasil – o Estado do Rio Grande do Sul. Ocupa aproximadamente 60% de sua área, ou seja, cerca de 178.000 km<sup>2</sup>. Nesse ecossistema predomina uma vegetação de gramíneas e arbustos espalhados e dispersos. Próxima aos cursos d'água e nas encostas de planaltos, sua vegetação se torna mais densa, com ocorrência de árvores. Banhados – áreas alagadas perto do litoral – também o integram, abrigando grande biodiversidade (MMA, 2010). Os resultados do monitoramento do MMA de 2011 indicaram que o Pampa apresentava, em 2008, uma área nativa da ordem de 64.131 km<sup>2</sup>, equivalente a 36% da extensão total do bioma de mais de 17 milhões de hectares (MMA, 2011), e que, em 2009, diminuiu para 35,89%.

O monitoramento das alterações da cobertura vegetal da Mata Atlântica é feito desde 1989 pela Fundação SOS Mata Atlântica em parceria com o INPE (SOS Mata Atlântica/ INPE, 2011), e está sendo feito também pelo MMA. Este bioma, que se estende por quase todas as regiões do Brasil e abrange quinze estados federativos, caracteriza-se pela variedade de fitofisionomias e pela complexidade de aspectos bióticos. Em termos geológicos, destacam-se as rochas pré-cambrianas e as sedimentares da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná.

Dados de desflorestamento do bioma Mata Atlântica para os anos de 2008 e 2010 em cada Estado federativo de sua abrangência, bem como dos remanescentes florestais, a partir do ano base de 2010, podem ser vistos no SOS Mata Atlântica/ INPE, 2011). Os Estados de Santa Catarina e de Goiás são aqueles em que se verificaram o maior e o menor percentuais de remanescentes florestais, respectivamente, com os valores de 23,04 % e 4,7%. Informações mais detalhadas para cada município também podem ser encontradas no Atlas.

Já no *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica* para o período de 2010 a 2012 (SOS Mata Atlântica/ INPE, 2013), os dados sobre desflorestamento acusaram 13.312 hectares ou 133 km<sup>2</sup>. Dessa extensão, 12.822 ha correspondiam a desflorestamento propriamente dito, outros 435 ha à supressão de vegetação de restinga e, ainda, outros 56 ha, à eliminação da cobertura vegetal de mangue. Portanto, é o bioma mais ameaçado do Brasil, com somente 7,9% de remanescentes florestais em fragmentos acima de 100 hectares que sejam representativos para a conservação da biodiversidade.

O Atlas destaca que, considerando-se todos os pequenos fragmentos de floresta natural acima de três hectares, tal índice chegaria a 13,32%. Segundo o MMA (2012), da área total do bioma, de 1,103961 milhão de km<sup>2</sup>, 75,88% foram desmatados até 2008, sendo que, no período de 2008 a 2009, a área destruída abrangeu 248 km<sup>2</sup>.

No setor agropecuário, as consequências do aquecimento global serão inúmeras. No Brasil, com sua extensa dimensão continental, a heterogeneidade climática, os tipos de solo e a topografia imprimem diferentes condições ao desenvolvimento das culturas. Considerando-se os prognósticos futuros de aumento das temperaturas, pode-se admitir que, nas regiões climatologicamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, a anomalia positiva que venha a ocorrer será desfavorável ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor.

Por outro lado, outras culturas mais resistentes a altas temperaturas, provavelmente serão beneficiadas, até seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente sejam limitantes ao desenvolvimento de culturas susceptíveis a geadas, com o aumento do nível térmico devido ao aquecimento global passarão a exibir condições favoráveis ao desenvolvimento da planta. No entanto, deve-se ressaltar que, tais projeções futuras, estão baseadas nas espécies atuais, sem adaptação. Mais detalhes sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura são encontrados no capítulo 4 deste volume do RAN1, sob o título *Recursos naturais e manejos de ecossistemas e seus usos*, mais especificamente no subcapítulo intitulado *Sistema alimentar e segurança*.

Além de influenciar as condições climáticas diretamente, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> altera o sistema climático por meio de seus efeitos sobre a fisiologia das plantas (Sellers, 1996). Geralmente os estômatos não abrem completamente sob o aumento da concentração de dióxido de carbono (Field *et al.*, 1995), o que reduz a transpiração e o consumo de água (Wigley & Jones, 1985). Resultados obtidos por Betts *et al.* (2007), em experimentos usando enriquecimento da atmosfera pela adição de CO<sub>2</sub> – em inglês, técnica batizada de *Free air CO<sub>2</sub> enrichment techniques* -FACE – mostraram ajustes significativos daqueles de dados derivados do aumento do *runoff* em escala continental, sendo compatível com os de outros modelos em trabalhos semelhantes (Cramer *et al.*, 2001; Betts *et al.*, 2004).

Vários estudos foram efetuados para avaliar os impactos de mudanças climáticas sobre a agricultura. Um deles se refere ao efeito direto nas plantas do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, o qual tem sido intensamente estudado pelos especialistas em fisiologia vegetal.

É bem conhecido o funcionamento, no que diz respeito à atividade fotossintética, da concentração de CO<sub>2</sub> no crescimento de plantas. Sua concentração na atmosfera, quando próxima de 300 ppm, está bem abaixo da saturação para a maioria das espécies vegetais. Já níveis excessivos, próximos a 1.000 ppm, passam a causar fitotoxicidade. Nesse intervalo, de modo geral, o aumento de CO<sub>2</sub> promove maior produtividade biológica nas plantas.

Assad e Luchiari (1989), utilizando modelos fisiológicos simplificados, mostraram que essas variações são significativas nas áreas brasileiras com vegetação de cerrado. A temperatura média

durante a estação chuvosa nelas observadas – de outubro a abril – foi de 22°C, com máxima de 26,7°C e mínima de 17,6°C. Supondo-se um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> que provoque elevação de 5°C na temperatura, as plantas do tipo C4, como é o caso do milho e do sorgo, aumentariam sua produtividade potencial em pelo menos dez kg/ha/dia de grãos secos. Para as plantas tipo C3, casos da soja, do feijão e do trigo, esse aumento seria menor: da ordem de dois a três kg/ha/dia de grãos secos.

Considerando cenários de aumento e de redução de temperatura, Assad e Luchiari Jr. (1989) avaliaram as possíveis alterações de produtividade para as culturas de soja e milho. Siqueira *et al.* (2000) apresentaram, para alguns pontos do Brasil, os efeitos das mudanças globais na produção de trigo, milho e soja. Também, uma primeira tentativa de identificar o impacto das mudanças do clima na produção regional foi feita por Pinto *et al.* (2001), que simularam os efeitos da elevação da temperatura e das chuvas no zoneamento do café para os estados de São Paulo e de Goiás. Esse último estudo previu uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática – o que condenaria a produção de café em tais regiões.

Posteriormente, Pinto *et al.* (2007), Assad *et al.* (2007), Zullo Jr. *et al.* (2006) e Nobre *et al.* (2005) elaboraram estudos detalhados sobre o futuro da agricultura brasileira em função dos cenários previstos para o clima regional.

Em 1996, foi instituído o programa de zoneamento de riscos climáticos no Brasil que, desde então, se tornou política pública, adotada pelos ministérios da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário para orientar o crédito e o seguro agrícola no País. Tal zoneamento estabeleceu, estatisticamente, os níveis de riscos nas regiões estudadas para vários tipos de cultura, admitindo perdas de safras de, no máximo, 20%. Esse programa é também uma ferramenta que indica o quê, onde e quando se plantar, de acordo com a disponibilidade climática regional.

Igualmente, o programa avalia a aptidão de uma determinada região para cada tipo de cultura, usando dados meteorológicos de precipitação pluviométrica e de temperatura do ar, além de apresentar índices específicos desenvolvidos para apontar a sensibilidade de culturas a eventos extremos que possam ocorrer em fases fenológicas críticas de suas plantas.

Seguindo a mesma metodologia do modelo de zoneamento de riscos climáticos (Pinto e Assad, 2008), foi divulgado em 2008 um estudo que simulou os cenários futuros da agricultura brasileira a partir de resultados de modelos de mudanças climáticas. Valores das temperaturas futuras para 2020, 2050 e 2070, através do modelo *Precis*, do Hadley Centre, para o cenário A2, foram obtidos para se avaliar como as áreas e os municípios serão afetados pelos efeitos térmicos e hídricos.

Os resultados foram coerentes com previsões anteriores de impactos do aquecimento nas áreas de potencial de produção agrícola brasileiras. Espera-se que o aumento da temperatura do ar promova um crescimento de evapotranspiração e, conseqüentemente, de deficiência hídrica, com reflexo direto no risco climático para a agricultura.

Por outro lado, tal aquecimento promoverá redução de risco de geadas no Sul, no Sudeste e no Sudoeste do País, acarretando efeito benéfico às áreas atualmente restritas ao cultivo de plantas tropicais. A dinâmica climática deverá causar ainda, uma migração das culturas adaptadas ao clima tropical para áreas mais ao Sul do País ou para zonas de altitudes maiores, de modo a compensar a diferença climática. Ao mesmo tempo, haverá uma diminuição nas áreas de cultivo de plantas de clima temperado do País. Um aumento próximo a 3°C causará uma possível expansão das culturas de café e da cana-de-açúcar para áreas de maiores latitudes (Assad *et al.*, 2004; Pinto e Assad, 2012).

Os resultados obtidos permitem ainda concluir que, as áreas cultivadas com milho, arroz, feijão, algodão e girassol sofrerão forte redução na Região Nordeste, com perda significativa de produção. Duas regiões poderão ser atingidas: toda a área correspondente ao agreste nordestino, hoje responsável

pela maior parte da produção regional de milho, e a dos cerrados dessa Região do País, como os encontrados no Sul dos estados do Maranhão e do Piauí e no Oeste do Estado da Bahia (Pinto e Assad, 2012).

Em resumo, pode-se concluir que algumas regiões do Brasil poderão apresentar alterações de temperatura do ar e precipitação pluviométrica em função do aquecimento global. Deverá ocorrer intensificação de eventos climáticos severos, ocasionando impactos em cidades e áreas vulneráveis a mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alexander, L. V. *et al.*, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *J. Geophys Research*, 111(D5), 1-22, doi:10.1029/2005JD006290.

Alho, C.J.R., 2008: Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4, Suppl.), 957-966.

Araújo, M.A.R., 2007: *Unidades de conservação no Brasil: da República à gestão de casse mundial*. Belo Horizonte, MG: Editora Segrac.

Assad, A.L.D., 2000: *Biodiversidade: institucionalização e programas governamentais no Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, SP. 218 pp.

Assad, E.D. *et al.*, 2004: Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesq. Agrop. Bras.*, 39(11), 1057-1064.

Assad, E.D. e A. Luchiari Jr., 1989: A future scenario and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: *Mudanças Climáticas e Estratégias Futuras*. Universidade de São Paulo (USP), 30-31 de outubro de 1989. São Paulo, SP.

Assad, E. D. *et al.*, 2007: Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. *Ciência & Ambiente*, 34, 169-182.

Betts, R.A. *et al.*, 2004: The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theor. Appl. Climatol.*, 78, 157-175.

Betts R.A. *et al.*, 2007: Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature*, 448, 1037-1041.

Biodiversitas, 2009a: Lista da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Disponível em [http://www.biodiversitas.org.br/f\\_ameaca/](http://www.biodiversitas.org.br/f_ameaca/). Acessado em março de 2009.

Biodiversitas, 2009b: Diagnóstico do Conhecimento sobre a Biodiversidade no Estado de Minas Gerais, Subsídio ao Programa BIOTA MINAS. Disponível em <http://www.biodiversitas.org.br/publicacoes/>. Acessado em março de 2009.

Brasil, 2008: Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil. Organização Pan-Americana da Saúde (Opas), Ministério da Saúde, Série Saúde Ambiental 1. Brasília, DF. 40 pp.

Buarque, D.C. *et al.*, 2010: Spatial correlation in precipitation trends in the Brazilian Amazon, *J. Geophys. Res.*, 115(D12), doi: 10.1029/2009JD013329.

Collischonn, W. *et al.*, 2001: Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology*, 245(1-4), 218-238.

Confalonieri, U.E.C e D. P. Marinho, 2007: Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Brasil. *Multiciência*, 8, 48-64.

Confalonieri, U.E.C. *et al.*, 2005: Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Relatório final de projeto de pesquisa, Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, 96 pp.

Chu, P.S. *et al.*, 1995: Detecting climate change concurrent with deforestation in the Amazon Basin: which way has it gone? *Bull. Amer. Met. Soc.*, 75, 579-583.

Correia, F.W.S. *et al.*, 2008: Modeling the impacts of land cover change in Amazonia: a Regional Climate Model (RCM) Simulation Study. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(3-4), 225-244, doi: 10.1007/s00704-007-0335-z.

Costa, L.P. *et al.*, 2005: Conservação de mamíferos do Brasil. *Megadiversidade*, 1(1), 103-112.

Cramer, W. *et al.*, 2001: Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO<sub>2</sub> and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, 7(4), 357-374.

Durieux, L. *et al.*, 2003: The impact of deforestation on cloud cover over the amazon arc of deforestation. *Remote Sensing of Environment*, 86, 132-140, 2003.

Ellis, E., 2010: Land-use and land-cover change. In: *Encyclopedia of Earth*, [Cutler J. Cleveland (Editor-in-chief)], Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [First published in the Encyclopedia of Earth April 18, 2010; Retrieved August 8, 2011, [http://www.eoearth.org/article/Land-use\\_and\\_land-cover\\_change](http://www.eoearth.org/article/Land-use_and_land-cover_change); Updated: March 20, 2013, Retrieved from <http://www.eoearth.org/view/article/154143>

Fearnside, P. M., 2005: Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and consequences. *Conservation Biology*, 19(3), 680-688.

Ferreira, L.G. *et al.*, 2007. Base de dados espaciais para o monitoramento biofísico-ambiental do bioma Cerrado, pp. 5219-5224. *Anais do XIII SBSR*. XIII Simpósio Brasileiro de SENSORiamento Remoto, Florianópolis, SC, 21-26 de abril, <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca>.

Field, C. *et al.*, 1995: Stomatal responses to increased CO<sub>2</sub>: implications from the plant to the global scale. *Plant Cell Environ.*, 18, 1214-1255.

Glynn, P.W., 1993: Coral reef bleaching: Ecological perspectives. *Coral Reefs*, 12(1), 1-17.

- Glynn, P. W. e L. D'Croz, 1990: Experimental evidence for high temperature stress as a cause of *El Niño*-coincident coral mortality. *Coral Reefs*, 8(4), 181-191.
- Goldewijk, K. K. e N. Ramnakutty, 2004: Land cover change over the last three centuries due to human activities: the availability of new global data sets. *Geo Journal* 61(4), 335-344.
- Gonçalves, F. *et al.*, 2002: Climatological analysis of wintertime extreme low temperatures in São Paulo City, Brazil: Impacts of seas surface temperatures anomalies. *Int. J. Climatol.*, 22(12), 1511-1526.
- Goreau, T.J. e A.H. Macfarlane, 1990: Reduced growth rate of *Montastrea annularis* following the 1987-1988 coral-bleaching event. *Coral Reefs* 8(4), 211-215.
- Goreau, T. J. e R.L. Hayes, 1994: Coral bleaching and ocean hot spots. *Ambio*, 23, 176-180.
- Gouveia, N. *et al.*, 2006: Respiratory and cardiovascular hospitalizations associated with air pollution in the city of Sao Paulo, Brazil. *Cad. Saúde Pública*, 22(12), 2669-2677.
- Grimm, A.G. e I. Pscheidt, 2001: Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante *El Niño*, *La Niña* e anos neutros. *Anais do IX Congresso da Flismet*. IX Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia (CD n° 269), Buenos Aires, maio de 2001, Centro Argentino de Meteorologistas e Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia.
- Groisman, P. *et al.*, 2005: Trends in tense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, 18, 1326-1350.
- Guimarães, R.B., 2005 Health and global changes in the urban environment. In: *A Contribution to Understanding the Regional Impact of Global Change in South America*:. [Dias, P.L.S. *et al.* Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados. Sao Paulo: Edusp.
- Haylock, M.R. *et al.*, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19(8), 1490-1512.
- IBGE, 2004: *Mapa de Biomas do Brasil*. Escala 1:5.000.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ.
- Inpe, 2013: *Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite*. Projeto Prodes (Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>.
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University.

- Lambin, E.F. *et al.*, 2003: Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 28, 205-241.
- Leão, Z.M.A. *et al.*, 2008: Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. *Biota Neotrop.*, 8(3), 69-82.
- Lewinsohn, T.M. e P.I. Prado, 2002: *Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento*. São Paulo, SP: Editora Contexto, 176 pp.
- Liebmann, B. *et al.*, 2004: Subseasonal variations of rainfall in the vicinity of the South American low-level jet East of the Andes and comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone. *J. Climate*, 17(19), 3829-3842.
- Loarie, S.R. *et al.*, 2011: Direct impacts on local climate of sugar-cane expansion in Brazil. *Nature Climate Change*, 1, 105-109, doi:10.1038/nclimate1067.
- Manzi, A.O. e S. Planton, 1996: A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data, pp. 505-529. In: *Amazonian deforestation and climate* [Gash, J.H.C. *et al.* (Eds.)]. Chichester, UK: John Wiley.
- Marengo, J.A. *et al.*, 1998: Long-term stream flow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazônia, Eastern Brazil and Northwest Peru. *J. Geophys. Res.* 103, 1775-1783.
- Marengo, J.A. e J.C. Rogers, 2001: Polar Air outbreaks in the Americas: assessments and impacts during modern and past climates, pp. 31-51. In: *Interhemispheric Climate Linkages*, [Markgraf, V. (Ed.)]. San Diego, CA: Academic Press, 454 pp.
- Marengo, J.A e C. Nobre, 2005: Lições do Catarina e do Katrina: as mudanças do clima e os fenômenos extremos. *Ciência Hoje*, 37(221), 22-27.
- Marengo, J.A. e L.M. Alves, 2005: Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20( 2), 215-226.
- Marengo, J. A. e C.G.C. Camargo, 2008: Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *Int. J. of Climatology*, 28(7), 893-904, doi:10.1002/joc.1584.
- Martinelli, L.A. *et al.*, 2010: A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária. *Biota Neotrop.* 10(4), 2010. Disponível em <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/en/abstract?point-of-view+bn00110042010>.
- Martins, M.C. *et al.*, 2004: Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58(1), 41-46.
- Martins, L.D. *et al.*, 2009: Potential health impact of ultrafine particles under clean and polluted urban atmospheric conditions: a model-based study. *Air quality, atmosphere and health*, 3(1), 29-39.
- MMA, 2010: Monitoramento do bioma Pampa 2002 a 2008. Projeto Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF.
- MMA, 2010: Monitoramento do bioma Pampa 2008-2009, Projeto Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite, Ministério do Meio Ambiente (MMA) Brasília, DF.

- MMA, 2011: Monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010, Projeto Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite, Ministério do Meio Ambiente (MMA) Brasília, DF.
- MMA, 2012: Monitoramento do bioma Mata Atlântica 2008-2009, Projeto Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF.
- Mittermeier, R.A. 1988. Primate diversity and the tropical forest: case studies from Brazil and Madagascar, and the importance of the megadiversity countries, pp. 145-154. In: *Biodiversity*, [Wilson, E.O. (Ed.)]. Washington, DC, USA: National Academy Press.
- Moraes, J.M. *et al.*, 1998: Trends in hydrological parameters of a Southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. *Water Resources Management* 12(4), 295-311.
- Myers, N., 1988: Threatened biotas: 'hot spots' in tropical forests. *Environmentalist*. 8(3), 178-208.
- Myers, N. *et al.*, 2000: Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.
- NAE, 2005: Cadernos NAE no 1 – Processos estratégicos a longo prazo. Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Brasília.
- Nobre, C.A. *et al.*, 1991: Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, 4(10), 957-988.
- Nobre, C.A. *et al.*, 2005: O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. *Scientific American Brasil*, 12, 70-75.
- Pezza, A.B. e I. Simmonds, 2005: The first South Atlantic hurricane: unprecedented blocking, low shear and climate change. *Geophysical Research Letters*, 32(15), doi:10.1029/2005GL023390.
- Pinto, H.S. e E.D. Assad, 2008: Global warming and the new geography of agricultural production in Brazil. The British Embassy, Brasília, DF. 42 pp. Disponível em [http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento\\_agricola\\_en.html](http://www.cpa.unicamp.br/aquecimento_agricola_en.html).
- Pinto, H.S. e E.D. Assad, 2012: Impacts of climate change on Brazilian agriculture. In: Brazil: assessment of the vulnerability and impacts of climate change on Brazilian Agriculture. Development report for World Bank Project P118037, [Erick C.M. Fernandes (Coord.)]. May, 25, 2012.
- Pinto, H.S. *et al.*, 2007: O aquecimento global e a cafeicultura brasileira. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, 31(1), 65-72.
- Pinto, H.S. *et al.*, 2001: Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do estado de São Paulo, *Revista Brasileira de Agrometeorologia* (Especial Zoneamento Agrícola), 9(3), 495-500.
- Ratter, J.A. *et al.*, 1996: Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 53(2), 153-180.



- Ribeiro, M.C. *et al.*, 2009: The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed. Implications for conservation. *Biological Conservation*, (Special Conservation Issues in the Brazilian Atlantic Forest), 142, p.1141-1153.
- Saad, S.I. *et al.*, 2010: Can the deforestation breeze change the rainfall in Amazonia? A case study for the BR-163 Highway Region. *Earth Interactions*, 14, Paper 18, 1-25, doi: 10.1175/2010EI351.1.
- Saldiva, P.H. *et al.*, 1994: Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environmental Research*, 65(2), 218-225.
- Sampaio, G. *et al.*, 2007: Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, 34, 1-7, doi: 10.1029/2007GL030612.
- Sano, E.E. *et al.*, 2000: Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savana. *Pasturas Tropicales*, 22(3), 1-15.
- Satyamurty, P. *et al.*, 2010: Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. *Theor. Appl. Climatol*, 99(1-2), 139-148.
- Sellers, P.J. *et al.*, 1996: Comparison of radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO<sub>2</sub> on climate. *Science* 271(5254), 1402-1406.
- Silva, J.S.V. e M. M. Abdon, 1998: Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Especial), 33, 1703-1712.
- Silva, J.S.V. *et al.*, 2011: Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the time-frame 1976-2008. *Geografia* (Especial Geopantanal), 36, 35-55.
- Silva, L.F.F. *et al.*, 2012: Impaired lung function in individuals chronically exposed to biomass combustion. *Bandeira Científica Project, Department of Pathology, University of Sao Paulo School of Medicine, Sao Paulo, Brazil. Environmental Research*, 112, 111-117.
- Siqueira, O.J.W. *et al.*, 2000: Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 8(2), 311-320.
- Soares Filho, B.S. *et al.*, 2010: Estudo de baixo carbono para o Brasil. Relatório de Síntese Técnica: Uso da terra, Mudanças do uso da terra e florestas. Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento, Banco Mundial, 292 pp.
- SOS Mata Atlântica/ Inpe, 2011: *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica*, período 2008-2010. Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). São Paulo / São José dos Campos, SP.
- SOS Mata Atlântica/ Inpe, 2013: *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica*, período 2010-2012. Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). São Paulo / São José dos Campos, SP.
- Teixeira, M.S., 2004: *Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São Jose dos Campos, SP, 94 pp.
- Thompson, J. e C. Cairncross, 2002: Drawers of water: assessing domestic water use in Africa. *Bull World Health Orgn.*, 80(1), 61-62.

Xavier, T.M.B.S. *et al.*, 1994: Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 9(1), 44-53.

Vilas Boas, M.H.A. e R. Dias, 2010: Biodiversidade e turismo: o significado e importância das espécies-bandeira. *Turismo & Sociedade*, 3(1), 91-114.

Vincent L. *et al.*, 2005: Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America, 1960-2002, *Journal of Climate*, 18, 5011-5023.

Webster, P.J.G *et al.* 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309(5742), 1844-1846, doi: 10.1126/science.1116448.

Wigley, T.M.L. e P.D. Jones, 1985: Influences of precipitation changes and direct CO<sub>2</sub> effects on streamflow. *Nature* 314, 149-152.

Wilkinson, C. *et al.*, 1999: Ecological and socioeconomic impacts of 1998 coral mortality in the Indian Ocean. An ENSO impact and a warning of future change? *Ambio* 28(2):188-196.

Zullo Jr, J. *et al.*, 2006: Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. *Meteorological Applications*, 13(S1), 69-80.

## CAPÍTULO 4

### RECURSOS NATURAIS, MANEJO E USO DE ECOSISTEMAS

**Autores principais:** Francisco de Assis de Souza Filho (UFC), Fabio Rubio Scarano (UFRJ), João Luis Nicolodi (FURG), Helenice Vital (UFRN), Antonio Henrique da Fontoura Klein (UFSC), Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos (UFRPE), Fábio Hissa Vieira Hazin (UFRPE), Giampaolo Queiroz Pellegrino (EMBRAPA), Maya Takagi (MDS).

**Autores colaboradores:** Alfredo Ribeiro Neto (UFPE), Joaquim Gondim (ANA), Braulio Ferreira de Souza Dias (United Nations Convention on Biological Diversity - UNCBD), Francisco Antonio Rodrigues Barbosa (UFMG), Ricardo Bomfim Machado (UnB), Carlos Augusto França Schettini (UFPE), Luciana Costa (Ecology Brasil Ltda.), Gilberto Fonseca Barroso (UFES), Mario Luiz Gomes Soares (UERJ), Luiz Francisco Ditzel Faraco (ICMBio), Humberto Gomes Hazin (UFRPE), Carmem Priscila Bocchi (MDS), Arnaldo Carneiro Filho (SAE), Susian Christian Martins (GVces/FGV), Andrea Koga Vicente (CEPAGRI/UNICAMP), Paula Rodrigues Salgado (EMBRAPA), Iedo Bezerra Sá (EMBRAPA).

**Autores revisores:** Carlos Eduardo Morelli Tucci (UFRGS), Demetrios Christofidis (MAPA), Rosa Maria Johnsson (UERJ), Fábio Roland (UFJF), Simey Thury Vieira Fisch (UNITAU), Jarbas Bonetti Filho (UFSC), Paulo da Cunha Lana (UFPR), Silvio Jablonski (UERJ), Jorge Pablo Castello (FURG), Aryeverton Fortes de Oliveira (EMBRAPA), Jurandir Zullo Junior (UNICAMP).

## ÍNDICE

<b>4.1. RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>46</b>
4.1.1 INTRODUÇÃO	46
4.1.2 FORÇANTES E RECURSOS HÍDRICOS	47
4.1.3. DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICAS NO BRASIL	49
4.1.3.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA	49
4.1.3.2 TENDÊNCIAS E VARIABILIDADE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	52
4.1.3.3 DEMANDA	55
4.1.4. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS	59
4.1.4.1 VISÃO GERAL	59
4.1.4.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS E REGIÕES BRASILEIRAS	60
4.1.4.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	62
4.1.4.4 QUALIDADE DE ÁGUA	62
4.1.4.5 USOS DE ÁGUA	62
4.1.5 ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO	62
4.1.6 DESASTRES NATURAIS	66
<b>4.2. ECOSSISTEMAS DE ÁGUA DOCE E TERRESTRES</b>	<b>67</b>
4.2.1 INTRODUÇÃO	67
4.2.2 VULNERABILIDADE E IMPACTO	67
4.2.3 ECOSSISTEMAS DE ÁGUA DOCE	69
4.2.4 ECOSSISTEMAS TERRESTRES	69
4.2.5 ADAPTAÇÃO	71
4.2.6 ADAPTAÇÃO BASEADA EM ECOSSISTEMAS	71
4.2.7 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA	72
4.2.8 BIOCOMBUSTÍVEIS	73
4.2.9 LACUNAS DE DADOS E PESQUISAS	74
4.2.10 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	74
<b>4.3. SISTEMA DE COSTA E ÁREAS COSTEIRAS BAIXAS</b>	<b>75</b>
4.3.1 INTRODUÇÃO	75
4.3.2. MANGUEZAL E MARISMAS	76
4.3.2.1 PRINCIPAIS FORÇANTES SOBRE O ECOSSISTEMA 1 MANGUEZAL	76
4.3.2.2 OCORRÊNCIA, COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE MARISMAS AO LONGO DO LITORAL BRASILEIRO	79
4.3.2.3 POTENCIAIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O ECOSSISTEMA MANGUEZAL	80
4.3.2.4 POTENCIAIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE MARISMAS	84
4.3.2.5 VULNERABILIDADE DO ECOSSISTEMA MANGUEZAL A MUDANÇAS CLIMÁTICAS	86
4.3.2.6 ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO	88
4.3.3. LAGUNAS, LAGOAS E LAGOS COSTEIOS	89
4.3.3.1 INTRODUÇÃO	89
4.3.3.2 POTENCIAIS IMPACTOS DE MCGS EM LAGOAS COSTEIRAS	92
4.3.3.3 AÇÕES ESTRATÉGICAS DE ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS	98
4.3.4. PLATAFORMA CONTINENTAL E PRAIAS	99
4.3.4.1 INTRODUÇÃO	99
4.3.4.2 A ORLA MARÍTIMA	100
4.3.4.3. EROSÃO COSTEIRA	101
4.3.5. VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA: ASPECTOS NATURAIS, SOCIAIS E TECNOLÓGICOS	105
4.3.5.1 REGIÃO NORTE	107

4.3.5.2 REGIÃO NORDESTE	108
4.3.5.3 REGIÃO SUDESTE	111
4.3.5.4 REGIÃO SUL	114
4.3.6 SUBSÍDIOS PARA A AÇÃO DO PODER PÚBLICO	116
<b>4.4. ECOSISTEMAS OCEÂNICOS</b>	<b>117</b>
4.4.1 INTRODUÇÃO	117
4.4.2. IMPACTOS E VULNERABILIDADE	119
4.4.2.1 ASPECTOS AMBIENTAIS – FÍSICO-QUÍMICOS – DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	119
4.4.2.2. ASPECTOS BIOLÓGICOS	121
4.4.3 ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO	130
4.4.4 CONCLUSÃO	133
<b>4.5. SISTEMA E SEGURANÇA ALIMENTARES</b>	<b>134</b>
4.5.1 INTRODUÇÃO	134
4.5.2. PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E SUA INTERAÇÃO COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS	136
4.5.2.1 CENÁRIOS PARA DEMANDA E OFERTA DE TERRA	136
4.5.2.2 USO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS	140
4.5.2.3 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS FRENTE A MUDANÇAS CLIMÁTICAS	141
4.5.3 ARMAZENAMENTO, DISTRIBUIÇÃO E ACESSO A ALIMENTOS E INTERAÇÕES RESPECTIVAS COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS	144
4.5.4. ANÁLISE INTEGRADA DE ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO PARA AUMENTO DE SEGURANÇA ALIMENTAR	147
4.5.4.1 AÇÕES DE ADAPTAÇÃO NO CONTEXTO DE SEGURANÇA ALIMENTAR	147
4.5.4.2 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO	150
4.5.4.3 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PRODUÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ALIMENTOS	152
4.5.4.4 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ACESSO A ALIMENTAÇÃO ADEQUADA	153
4.5.4.5 DIRECIONAMENTO DE NOVAS MEDIDAS ADAPTATIVAS QUE BUSQUEM EXPANDIR A SEGURANÇA ALIMENTAR	154
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>155</b>

## 4.1. RECURSOS HÍDRICOS

### 4.1.1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica no planeta está distribuída da seguinte forma: 97,5%, nos oceanos, 2,49% de água doce de difícil acesso e, apenas 0,01%, acessível ao homem (*World Resources Institute*, ONU 2008).

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional têm aumentado significativamente a demanda por recursos hídricos. A irrigação é seu maior uso em escala planetária, utilizando 70% da água; seguido pela indústria e pelo abastecimento urbano, com 20% e 10%, respectivamente. Em 2005, o volume demandado por irrigação no planeta era de 2.660 km<sup>3</sup>/ano, enquanto os rios têm um volume de água estocado de 2.000 km<sup>3</sup> e uma vazão de 45.000 km<sup>3</sup>/ano (Oki e Kanae, 2006). Além do fator quantitativo, a distribuição espacial irregular impõe em algumas regiões, que a escassez hídrica se intensifique e, em outras, que haja maior abundância.

As atividades humanas exercem impactos no meio ambiente, com implicações significativas para disponibilidade e serviços ambientais de água que, por sua vez, impõem riscos crescentes aos seres humanos e à natureza (Wagner *et al.*, 2010). O crescimento populacional e o aumento de riqueza (Kundzewicz *et al.*, 2007), a mudança no uso e ocupação de solo e alterações climáticas são os principais vetores que modificam os padrões de ocorrência de oferta e demanda hídricas.

Pesquisas têm demonstrado a estreita relação entre as atividades antrópicas e a mudança global do clima e, mesmo nos cenários mais otimistas, se espera por efeitos em diferentes níveis e por todo o planeta. Fator limitante para uma análise mais conclusiva a respeito da disponibilidade de água resultante dos cenários do IPCC é a falta de concordância entre modelos climáticos para grande parte do território brasileiro, como já identificado no Quarto Relatório do IPCC (Pachauri e Reisinger, 2007). Grandes áreas do Norte, Nordeste, Centro-Oeste do País se encontram nessa situação. Apenas as regiões Leste e Sul e, ainda, o bioma Amazônia possuem áreas em que mais de 66% dos modelos climáticos concordam quanto ao sinal da mudança hídrica de redução na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e aumento no Sul (Pachauri e Reisinger, 2007).

As incertezas advindas da grande variabilidade entre cenários e de clima nas escalas anual e pluridecenal impõem estratégias de adaptação e gestão de riscos em recursos hídricos. As atuais práticas provavelmente serão insuficientes para reduzir os impactos negativos de mudanças climáticas sobre a garantia de abastecimento, risco de inundação, saúde, energia, e ecossistemas aquáticos (Kundzewicz *et al.*, 2007).

A incorporação de estratégias de gestão dos recursos hídricos relacionadas à variabilidade climática atual facilitaria a adaptação à mudança do clima futuro (Kundzewicz *et al.*, 2007). Nesse contexto, as pesquisas sobre clima têm uma dupla tarefa (Hulme e Carter, 1999):

- i. aumentar a compreensão do sistema climático e
- ii. articular – e se possível, quantificar – as incertezas associadas com vistas a instrumentalizar, de forma adequada, as estratégias de adaptação e gestão do risco.

O setor de recursos hídricos tem que aprimorar seus métodos e práticas para melhor enfrentar os desafios de um mundo em mudança, no qual as variáveis hidrológicas não podem mais ser consideradas estacionárias (Milly *et al.*, 2008). Independente das incertezas envolvidas na mensuração dos impactos da mudança climática futura sobre o regime hídrico, a escassez de recursos financeiros e a existência de áreas atualmente deficitárias na implementação desse tipo de gestão indicam a necessidade de adoção de medidas de adaptação sem *arrependimento* – *no regrets*, : aquelas dirigidas à solução de problemas associados à variabilidade climática existente ao mesmo tempo que aumentam a resiliência aos efeitos de uma possível modificação do clima. Ou seja, enfrentando-se os problemas atuais, aumentar-se-á a capacidade da sociedade e da economia de lidarem

com as esperadas alterações.

Neste capítulo do RAN1, buscou-se entender o estado da arte dos impactos da mudança do clima sobre recursos hídricos no Brasil por meio de ampla revisão bibliográfica, demonstrando a situação atual, as tendências observadas e as perspectivas esperadas a partir dos modelos do IPCC.

O aquecimento global observado durante várias décadas tem sido associado a mudanças no ciclo hidrológico de grande escala, tais como:

- aumento da quantidade de água retida na atmosfera;
- alteração nos padrões de ocorrência da precipitação – intensidade e extremos –;
- cobertura de neve reduzida e derretimento de gelo; e,
- mudanças na umidade de solo e no escoamento (Bates *et al.*, 2008).

Essas alterações climáticas modificam a quantidade e a qualidade da água, afetando potencialmente:

- i. a produção de alimentos, podendo levar à diminuição da segurança alimentar e maior vulnerabilidade dos agricultores pobres, especialmente nos trópicos áridos e semiáridos (Bates *et al.*, 2008);
- ii. a saúde dos ecossistemas e o crescimento e propagação de doenças relacionadas à água. (Kabat *et al.*, 2002);
- iii. o abastecimento de populações humanas;
- iv. a função e operação da infraestrutura hídrica existente, bem como
- v. as práticas de gestão de água (Kundzewicz *et al.*, 2007).

O clima também condiciona a demanda da água urbana e agrícola, por exemplo, que são influenciadas pela temperatura do ar e outras variáveis meteorológicas. Dessa forma, mudanças climáticas afetam os recursos hídricos em termos de oferta e de demanda.

As implicações da variabilidade e alterações climáticas não têm sido integralmente consideradas nas atuais políticas de recursos hídricos e nos processos de tomada de decisão (Kabat *et al.*, 2002). Isso é particularmente verdadeiro nos países em desenvolvimento, onde recursos financeiros e impactos humanos e ecológicos são potencialmente maiores e os recursos hídricos já podem estar em situação de grande estresse, associados ainda, à pequena capacidade de se enfrentar e se adaptar às mudanças (Kabat *et al.*, 2002).

O Brasil é um país cuja economia e população humana são significativamente condicionadas pelo clima e, por consequência, é sensível a mudanças climáticas. A primeira, fortemente dependente de recurso natural, está diretamente ligada ao clima notadamente nos casos da agricultura e da geração de energia hidroelétrica, assim como no de vastos setores da população submetidos a eventos climáticos extremos, tais como os habitantes do semiárido nordestino, de áreas de risco de deslizamentos em encostas e zonas submetidas a inundações nos grandes centros urbanos (Freitas, 2005; Freitas e Soito, 2008).

#### **4.1.2 FORÇANTES E RECURSOS HÍDRICOS**

O principal desafio da hidrologia é lidar com mudanças induzidas pelo Homem, notadamente no uso do solo e no clima. Como observam Wagener *et al.* (2010), as atividades humanas na atualidade são rivais das forças da escala geológica (Kieffer, 2009), com uma pegada que se aprofunda e alarga rapidamente por todo o planeta (Sanderson *et al.*, 2002). Manifestações dessa pegada são visíveis no declínio das geleiras resultante de mudanças climáticas induzidas pelo homem (Barnett *et al.*, 2008), na rápida redução do armazenamento em aquífero pelo bombeamento excessivo de águas subterrâneas (Rodell *et al.*, 2009), na modificação do regime de escoamento dos rios devido à construção de represas (Poff *et al.*, 2007) e na recarga de água subterrânea alterada pelas

mudanças do uso de solo (Scanlon *et al.*, 2006), por exemplo. De forma similar, modificam-se e tendem a crescer, as demandas das populações por energia, água e alimentos (King *et al.*, 2008; Jackson *et al.*, 2001; Vörösmarty *et al.*, 2000).

A disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica é influenciada por forçantes de ordem climática e não climática (IPCC, 2007a). São dominantes, entre as primeiras, precipitação, temperatura e evaporação e, entre as não climáticas, aquelas associadas a uso de solo e lançamento de poluentes, bem como às retiradas poluentes para consumo.

A influência das forçantes climáticas globais sobre as variáveis hidrológicas em uma bacia hidrográfica tem ampla documentação na literatura. Diversos estudos (Kousky *et al.*, 1984; Kayano *et al.*, 1988; Ropelewski e Halpert, 1987 e 1989) mostram que as condições de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico, na região de ocorrência de *El Niño* influenciam, através da circulação de Walker<sup>1</sup> (Walker, 1928), o regime hidrológico do Nordeste, Leste da Amazônia Legal e Sul do Brasil. O Oceano Atlântico também influencia o regime de precipitações, principalmente na primeira das regiões acima citadas (Moura e Shukla, 1981; Servain, 1991). O conhecimento dessa dinâmica dá previsibilidade de alguns meses de antecedência ao regime de chuvas sobre o território nordestino (Hastenrath, 1990; Hastenrath e Greishar, 1993; Hastenrath e Moura, 2002; Alves *et al.*, 1995, 2005, 2006, Sun *et al.*, 2005, 2006).

As regiões Sul e Sudeste do Brasil têm seus regimes de precipitação influenciados pela passagem e pela intensidade de sistemas frontais (Oliveira, 1986; Guedes *et al.*, 1994); pelo posicionamento do jato subtropical da América do Sul (Kousky e Cavalcanti, 1984; Browning, 1985) e por complexos convectivos de mesoescala (CCM), (Madox, 1983; Miller e Fritsch, 1991). A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é definida como uma banda de nebulosidade convectiva que, geralmente, se origina na região da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e se estende em direção à Região Sudeste do Brasil, passando pelo Centro-Oeste e alcançando o Oceano Atlântico (Satyamurti *et al.*, 1998).

As forçantes não climáticas influenciam os recursos hídricos através de mudança de uso de solo, construção de reservatórios e emissão de poluentes (IPCC, 2007a). As modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas influenciam seu comportamento hidrológico (Tucci e Clarke, 1997; Tucci, 2002, 2003; Zhao *et al.*, 2010). Os fluxos globais de vapor d'água da superfície terrestre estão se modificando devido à ação do Homem.

O desmatamento é uma força motriz tão grande quanto a irrigação em termos de mudanças no ciclo hidrológico, diminuindo os fluxos globais de vapor a partir da terra em 4% – 3.000 km<sup>3</sup>/ano –, que é quantitativamente tão grande quanto o daquele causado pelo aumento da irrigação – 2.600 km<sup>3</sup>/ano (Gordon *et al.*, 2005).

O uso de água ainda é conduzido por mudanças na população, consumo de alimentos, política econômica, tecnologia e estilo de vida das sociedades (Oki, 2005), além da economia internacional (Ramirez-Vallejo e Rogers, 2004).

---

<sup>1</sup>A Célula de Walker é o resultado de uma gangorra de pressão à superfície entre os setores oeste e leste ao longo do por zonas de ascensão de ar – fonte quente – na parte oeste do Pacífico Tropical e descida de ar no extremo leste desse oceano. Isso faz com que a parte oeste do Oceano Pacífico seja uma região de chuva frequente e, de forma oposta, a parte leste, na costa da América do Sul, seja uma região de chuva escassa. É importante ressaltar que anomalias nas temperaturas da superfície do mar nessa faixa do oceano – *El Niño*/ *La Niña* – provocam alterações na circulação normal da Célula de Walker. cinturão equatorial da bacia do Oceano Pacífico Tropical (Walker, 1924). As circulações do tipo Walker são marcadas.



Existem amplas evidências de que mudanças no uso de solo e a variação de clima nas bacias hidrográficas conjugadas do Rio da Prata podem ter contribuído para um aumento de 30% no fluxo médio do Rio Paraná desde 1970. Tucci e Clarke (1998) perceberam que esse incremento na vazão dos rios aconteceu após grandes áreas terem sido desmatadas ou o uso de sua terra, modificado. A intensificação das atividades agrícola e industrial na região motivou uma transição da cultura do café para as da soja e da cana-de-açúcar, assim como para a criação de gado na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraná. O aumento de uso de solo representou, aproximadamente, 1/3 do aumento médio de 30% na vazão.

A queda sistemática nas vazões das sub-bacias hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (Marengo *et al.*, 1998) e do Rio Piracicaba (Morales *et al.*, 1999) em vários pontos de observação aponta para incrementos na área agrícola e no uso de água como causas e não para diminuição ou distribuição alterada no regime de chuvas nas bacias dessas áreas (Marengo, 2001b).

Observa-se aqui, que o uso de solo tem efeito sobre o escoamento devido à modificação da relação entre chuva e deflúvio ou às retiradas de usos de água implantados na bacia, podendo, dessa forma, aumentar ou diminuir a vazão em cada seção fluvial.

Os efeitos adversos do clima sobre os sistemas de água doce agravam os impactos causados por outras pressões, tais como o crescimento populacional, a mudança de atividade econômica ou uso de terra e a urbanização.

### **4.1.3. DISPONIBILIDADE E DEMANDA HÍDRICAS NO BRASIL**

#### **4.1.3.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

O conhecimento e a quantificação das disponibilidades hídricas são imprescindíveis para que se possa contabilizar e qualificar como uma possível mudança climática atuará sobre elas, permitindo, assim, que se processem medidas de adaptação.

Parte do cenário desejável para o futuro corresponde a uma situação em que a disponibilidade hídrica é maior que sua demanda. Isso é válido para todas as bacias hidrográficas, aí evidentemente incluídos, aspectos quantitativos e qualitativos. Tudo indica, entretanto, que ao longo do século XXI, a disponibilidade dos recursos hídricos diminuirá, quer por interferências climáticas e antrópicas, quer pelo simples aumento de demanda.

A Tabela 4.1 apresenta a vazão – a média, a estiagem e a disponibilidade hídrica – nas regiões hidrográficas brasileiras.

**Tabela 4.1** Disponibilidade hídrica e vazões médias e de estiagem (PNRH, 2006a)

<b>Região hidrográfica</b>	<b>Vazão média<sup>1</sup> – m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Disponibilidade hídrica – m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Estiagem - Q95 – m<sup>3</sup>/s</b>
Amazônica	132.145	73.748	73.748
Tocantins - Araguaia	13.799	5.447	2.696
Atlântico Nordeste Ocidental	2.608	320	320
Parnaíba	767	379	294
Atlântico Nordeste Oriental	774	91	32
São Francisco	2.846	1.886	852
Atlântico Leste	1.484	305	252
Atlântico Sudeste	3.162	1.109	986
Atlântico Sul	4.055	647	647
Paraná	11.414	5.792	3.901
Uruguai	4.103	565	394
Paraguai	2.359	782	782
<b>Brasil</b>	<b>179.516</b>	<b>91.071</b>	<b>84.904</b>

<sup>1</sup>Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas ainda compreende uma área de 2,2 milhões de Km<sup>2</sup> em território estrangeiro, que contribui com adicionais 86.321 m<sup>3</sup>/s em tempo de vazão média.

Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai ainda compreende uma área de 37 mil Km<sup>2</sup> em território estrangeiro, que contribui com adicionais 878 m<sup>3</sup>/s em tempo de vazão média.

Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai compreende uma área de 181 mil Km<sup>2</sup> em território estrangeiro, que contribui com adicionais 595 m<sup>3</sup>/s em tempo de vazão média.

**Fonte:** Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas (Brasília: ANA ).

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a, aproximadamente, 12% da disponibilidade hídrica superficial mundial, que é de 1,5 milhões de m<sup>3</sup>/s – 44.000 km<sup>3</sup>/ano, (Shiklomanov, 1998).

Levando-se em consideração as vazões oriundas de território estrangeiro que entram no País – dos países que compartilham as bacias e sub-bacias hidrográficas do Rio Amazonas – 86.321 m<sup>3</sup>/s –, do Uruguai – 878 m<sup>3</sup>/s – e do Paraguai – 595 m<sup>3</sup>/s –, a disponibilidade hídrica total atinge valores da ordem de 267 mil m<sup>3</sup>/s ou 8.427 km<sup>3</sup>/ano – equivalentes a 18% da disponibilidade hídrica superficial mundial (Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, 2006a).

A Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais nacionais. Ou seja, sua vazão média é quase três vezes maior do que a soma daquelas registradas por todas as demais regiões hidrográficas brasileiras (PNRH, 2006a).

A Figura 4.1 apresenta a contribuição intermediária das bacias hidrográficas brasileiras em termos de vazão média específica (ANA, 2009).

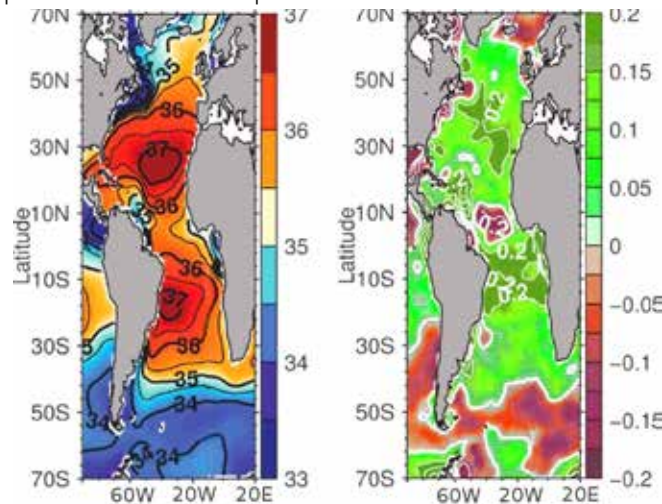
A vazão específica indica a capacidade de geração de vazão de uma determinada bacia e no Brasil, varia de menos de dois L/s km<sup>2</sup> nas bacias da região semiárida, a até mais de 40 L/s km<sup>2</sup> no Noroeste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (PNRH, 2006a).

A baixa vazão específica observada na região do bioma Pantanal – a da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraguai – mostra que essa área, apesar da abundância de água oriunda da região de planalto

tem baixa contribuição específica ao escoamento superficial (PNRH, 2006a) devido à grande quantidade do recurso natural utilizada para prover a sustentação do ecossistema nas áreas pantaneiras alagadas.

A partir dos dados apresentados, fica evidente a heterogeneidade de disponibilidade hídrica superficial nas regiões hidrográficas brasileiras. Tal fato se torna de grande relevância para os estudos de cenários relacionados a mudanças climáticas que, certamente, implicarão comportamentos também heterogêneos com relação às vazões.

**Figura 4.1** Distribuição espacial das vazões específicas no território brasileiro

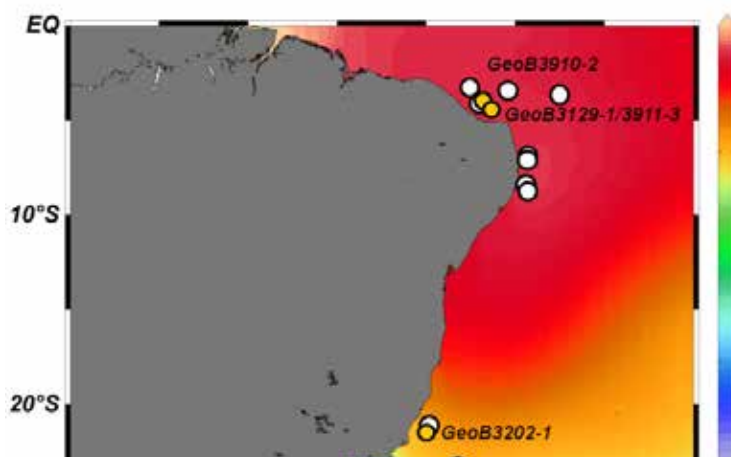


**Fonte:** *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2009* / Agência Nacional de Águas (Brasília: ANA, 2009).

Atenção especial deve ser dada à região do semiárido brasileiro, que se caracteriza naturalmente como de alto potencial para evaporação de água em função da enorme incidência de horas de sol sobre o mesmo e de suas altas temperaturas do ar. Essa elevada evaporação e a grande variabilidade *interanual* dos deflúvios proporcionam significativa oscilação na disponibilidade hídrica em superfície.

A variação do escoamento nos rios é influenciada por diversos fatores, entre os quais se destaca a precipitação ocorrida na bacia de contribuição. No País, a precipitação média anual – calculada a partir do histórico de 1961 a 2007 – é de 1761 mm, variando de valores na faixa de 500 mm na região semiárida do Nordeste a mais de 3.000 mm na região da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. A Figura 4.2 apresenta o mapa de precipitação média em regiões hidrográficas durante o período de 1961 a 2007.

**Figura 4.2.** Precipitação média de 1961 a 2007.



Obs.: As regiões hidrográficas estão representadas de acordo com as seguintes siglas: A – Amazonas; B – Tocantins-Araguaia; C – Atlântico Nordeste Ocidental; D – Parnaíba; E – Atlântico Nordeste Oriental; F – São Francisco; G – Atlântico Leste; H – Atlântico Sudeste; I – Atlântico Sul; J – Uruguai; L – Paraná; M – Paraguai. **Fonte:** Adaptado de *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009* / Agência Nacional de Águas (Brasília: ANA, 2009).

Sobre as reservas hídricas subterrâneas, embora em muitas regiões seu uso seja complementar ao superficial, em outras áreas do País são elas que representam o principal manancial hídrico. No Brasil, 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água do subsolo (IBGE, 2002) e, estima-se que existam pelo menos 400 mil poços (Zoby e Matos, 2002).

A água de poços e fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como, abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer, desempenhando importante papel no desenvolvimento socioeconômico.

O domínio fraturado ocupa cerca de 4.600.000 km<sup>2</sup>, que equivalem a 54% do território nacional. Ele apresenta, em geral, sistemas aquíferos com potencial hídrico inferior àqueles pertencentes aos domínios hidrogeológicos fraturado-cárstico e poroso (PNRH, 2006a). No cristalino do semiárido nordestino brasileiro, a produtividade dos poços fica restrita às zonas fraturadas na rocha. Muito comumente, eles apresentam vazões entre 1 e 3 m<sup>3</sup>/h, e sua água possui elevada salinidade, frequentemente acima do limite de potabilidade. Apesar disso, constituem a fonte de abastecimento disponível em muitas pequenas comunidades do interior nordestino (PNRH, 2006a).

O domínio fraturado-cárstico ocupa aproximadamente 400.000 km<sup>2</sup>, uma área correspondente a 5% do País. Os principais sistemas aquíferos são os de Jandaíra, o da Bacia Potiguar – na província hidrogeológica costeira –, e Bambuí – na província hidrogeológica São Francisco. O fluxo de água nesses sistemas aquíferos é influenciado pelas feições de dissolução cárstica associadas às descontinuidades rúpteis – fraturas – nas rochas calcárias. Em função disso, esses sistemas aquíferos apresentam poços com produtividade muito variada (PNRH, 2006a). A faixa mais comum de vazão dos poços é de 5 a 60 m<sup>3</sup>/h para profundidades geralmente entre 50 e 150 metros (PNRH, 2006a).

O domínio poroso ocupa uma área de cerca de 3.500.000 km<sup>2</sup>, equivalente a 41% do território nacional, inclui os aquíferos de maior vocação hídrica e está situado nas bacias sedimentares. As maiores bacias sedimentares brasileiras são do Paleozoico – 540 a 250 milhões de anos –, destacando-se as dos rios Paraná, Parnaíba e Amazonas (PNRH, 2006a). A vazão dos poços situa-se, na sua maioria, entre 5 e 400 m<sup>3</sup>/h para profundidades entre 50 e 400 m (PNRH, 2006a).

Além de quantidade e distribuição, é importante considerar que a degradação da água provoca redução de sua porção efetivamente disponível às atividades humanas e aos processos naturais. Em âmbito nacional, o principal problema que afeta esse recurso é o lançamento de esgoto doméstico já que apenas 47% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgoto e, somente 18% deles recebem algum tratamento. A carga orgânica doméstica total do País é estimada em 6.389 t. DBO<sub>5,20</sub>/dia (ANA, 2005b).

A *eutrofização* dos corpos d'água, outro problema relacionado com qualidade de água, é caracterizada pelo aumento de concentração de nutrientes, especialmente de nitrogênio e fósforo, causando crescimento excessivo de plantas aquáticas em níveis tais, que interferem em seus usos desejáveis. Embora possa ocorrer em rios, o fenômeno acontece principalmente em lagos e represas e está associado a uso e ocupação de solo na bacia hidrográfica (PNRH, 2006a).

#### **4.1.3.2 TENDÊNCIAS E VARIABILIDADE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

A oferta hídrica é definida pelo comportamento médio e a variabilidade do regime hidrológico – que define os eventos extremos de secas e de cheias. Dessa forma, a avaliação do comportamento médio e sua alteração – tendência dos padrões de variação – são relevantes para a estimativa da disponibilidade hídrica futura.

Diversos estudos têm sido realizados para identificação dessas tendências em diferentes regiões e bacias hidrográficas brasileiras, considerando variações naturais e possíveis efeitos de mudança do clima.

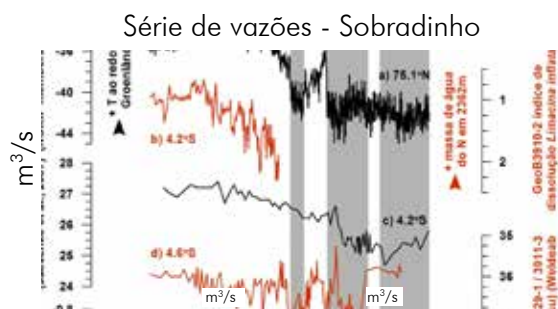
Na região da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, não se verificou tendências significativas de chuvas ou vazões, ainda que o desmatamento tenha aumentado gradativamente nos últimos vinte anos (Marengo e Valverde, 2007). Observou-se algumas mudanças sistemáticas de chuva e de componentes do balanço hidrológico desde 1975 para 1976, o que poderia estar associado mais provavelmente a mudanças de clima decenais, com períodos de 20 a 30 anos, do que a uma tendência sistemática, unidirecional, de queda ou aumento por longo prazo (Dias de Paiva e Clarke, 1995a; Dias de Paiva e Clarke, 1995b; Marengo, 2001a, Costa e Foley, 1999, Curtis e Hastenrath, 1999; Marengo, 2003).

No Nordeste, foi observado por alguns pesquisadores ligeiro aumento de chuvas no longo prazo (Wagner, 1996; Hastenrath e Greischar, 1993; Costa dos Santos *et al.*, 2009), e, por outros, redução (Moncunill, 2006; Lacerda *et al.*, 2009) e, ainda, houve os que não encontraram tendência estatisticamente significativa (Marengo e Valverde, 2007).

Para o Rio São Francisco, as séries no posto de Sobradinho (Sampaio, 2001) apontaram para quedas sistemáticas nas vazões desde 1979 (Marengo, 2001b). Por outro lado, estudo realizado por Tröger *et al.* (2004), que investigou a aceitação da hipótese de estacionariedade de séries de vazões naturais nas usinas hidrelétricas de Três Marias e Sobradinho no período de 1931 a 2001, não observou evidências para rejeitá-la.

A Figura 4.3 apresenta neste capítulo o *fluviograma* médio anual – ano hidrológico – da usina hidrelétrica de Sobradinho e seu desvio com relação à média de vazões do período abrangido pelo citado estudo. Pode-se observar que a série considerada não apresenta tendências importantes ou quaisquer mudanças de comportamento que possam caracterizar ruptura.

**Figura 4.3.** *Fluviograma* médio anual de Sobradinho.



**Fonte:** Adaptado de Tröger *et al.*, 2004

As precipitações e as vazões fluviais na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e no Nordeste apresentam variabilidade em escalas anuais e decenais, mais importantes do que tendências de aumento ou redução (Datsenko *et al.*, 1995; Souza Filho, 2003; Marengo e Valverde, 2007). Esse fato está associado a padrões de variação nos oceanos Pacífico e Atlântico na mesma escala de tempo, como é o caso da anual associada a *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) ou das decenais *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), *North Atlantic Oscillation* (NAO) e das atlânticas tropical e sul (Guedes *et al.*, 2006; Marengo e Valverde, 2007).

No Sul do Brasil e no Norte da Argentina, observou-se tendências de aumento de chuvas e vazões de rios desde meados do século XX (Marengo e Valverde, 2007).

Os rios da Prata e o Paraná apresentaram tendência de queda de 1901 a 1970 e aumento sistemático nas vazões desde o início dos anos 70 até o presente (Barros *et al.*, 1999; Tucci, 2001), que se mostrou consistente com o incremento de precipitações observadas (Hulme e Sheard, 1999).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, que drena os estados do Sul e parte do Paraguai, tem apresentado importante aumento de vazão nas últimas décadas. A região do Pantanal também faz parte dessa bacia,

de modo que qualquer alteração nos rios mencionados tem implicações diretas sobre a capacidade de armazenamento desse enorme reservatório natural.

As vazões aumentaram aproximadamente 15% desde a década de 1960, em elevação consistente com os crescentes valores da precipitação observados nessa bacia. (Marengo *et al.*, 1998; Marengo, 2001b; Garcia e Vargas, 1998; Barros *et al.*, 1999).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, a série de vazões não se mostrou estacionária (Müller *et al.*, 1998), e exibiu as seguintes características:

1. as séries de vazões naturais nos rios Tietê, Paranapanema e Paraná – a jusante do Rio Grande – não se configuraram como estacionárias e apresentaram aumento de médias após o ano de 1970;
2. a taxa de expansão das vazões médias cresceu de montante para jusante;
3. os postos pluviométricos nas bacias dos rios Grande, Tietê e Paranapanema também apresentaram não estacionariedade; e,
4. somente a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba manteve estacionariedade de vazões para todo o período da análise.

Um degrau climático em 1970 e 1971 foi identificado para os rios que correm nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, variando dentro da faixa zonal de 15° S a 30° S, exceto no caso do Paraíba do Sul e do Doce. As bacias localizadas mais ao Leste das regiões Sul e Sudeste não apresentaram o degrau em sua vazão pós-1970 (Guetter e Prates, 2002).

As bacias do Sul e do Sudeste brasileiros são de grande importância para a geração hidroelétrica, correspondendo a 80% da capacidade instalada no País. A não estacionariedade das séries de vazões pode ter impacto significativo no cálculo da energia assegurada.

A análise das tendências do regime pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte indicou possível tendência de aumento de precipitação no período mais seco – de abril a setembro –, em contraposição a outra de diminuição de chuvas no período mais chuvoso – de outubro a março –, apesar de, neste período, ter sido observada propensão significativa em apenas uma série pluviométrica. Tanto o regime anual, quanto os totais mensais máximos anuais da região não apresentaram evidências de mudanças (Alexandre *et al.*, 2010).

A não estacionariedade das séries de vazões pode estar associada tanto a forçantes climáticas como a não climáticas. Estas últimas podem derivar de:

- i. alterações de uso de solo, por desmatamento e diferentes práticas agrícolas;
- ii. construção de reservatórios de portes distintos a montante em bacias;
- iii. inconsistência de dados hidrológicos ao longo de muitos anos, seja por medida e/ou por alteração do leito do rio na seção de medição; e ainda, de
- iv. retirada de água para usos *consuntivos* – em irrigação, principalmente (Tucci e Braga, 2003).

As forçantes climáticas estão relacionadas às oscilações em ENOS *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), *North Atlantic Oscillation* (NAO) e nas porções tropical e Sul do Oceano Atlântico, conforme apresentado anteriormente.

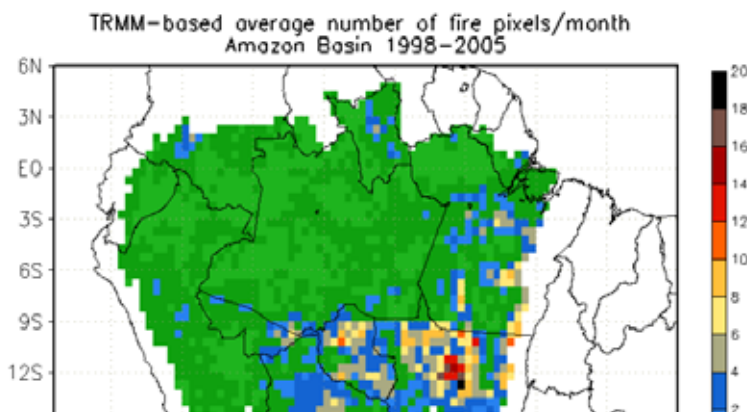
A análise da não estacionariedade em séries hidrológicas demanda informações sobre tendências e padrões de variação de baixa frequência do clima – de décadas a séculos. O clima das próximas décadas depende, tanto de variações climáticas naturais, como de forças antropogênicas. Previsões climáticas decenais devem tentar cobrir a lacuna entre a previsão sazonal e *interanual*, com prazos de dois anos ou menos, e as projeções de mudanças climáticas de um século à frente (Cane, 2010). Não há nenhuma teoria amplamente aceita para esse tipo de cálculo e não se sabe se sua evolução passada é a chave para seu futuro (Cane, 2010). No entanto, como a extensão de registros

tem aumentado, os hidrólogos tomaram consciência da estrutura de baixa frequência do clima – por exemplo, oscilações *ENSO*, *PDO*, *NAO* – e têm procurado desenvolver cenários de vazões considerando essa variabilidade (Dettinger *et al.*, 1995; Ghil e Vautard, 1991; Keppenne e Ghil, 1992a; Keppenne e Lall, 1996; Lall e Mann, 1995; Mann e Park, 1993, 1994, 1996; Know *et al.*, 2007; Souza Filho *et al.*, 2008).

### 4.1.3.3 DEMANDA

Os usos de água podem ser não *consuntivos*, ou seja, aqueles que não afetam significativamente sua quantidade; e *consuntivos*, aqueles que implicam redução de disponibilidade hídrica. No Brasil, a vazão de retirada para usos *consuntivos* no ano de referência de 2000 foi de 1.592 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2005a) e cresceu até 1.842 m<sup>3</sup>/s em 2009 (ANA, 2009). Cerca de 53% – 983 m<sup>3</sup>/s – foi efetivamente consumido e 854 m<sup>3</sup>/s retornaram à bacia (PNRH, 2006a). Os usos de água por tipo estão representados na Figura 4.4 deste capítulo (ANA, 2009).

Figura 4.4. Demandas *consuntivas* no País



Fonte: ANA, 2009.

A irrigação é responsável pela maior parte da água captada, com a vazão de retirada no País estimada em 866 m<sup>3</sup>/s – ou 47% do total – e também, pela maior participação no consumo de água, correspondendo a 69% (PNRH, 2006a).

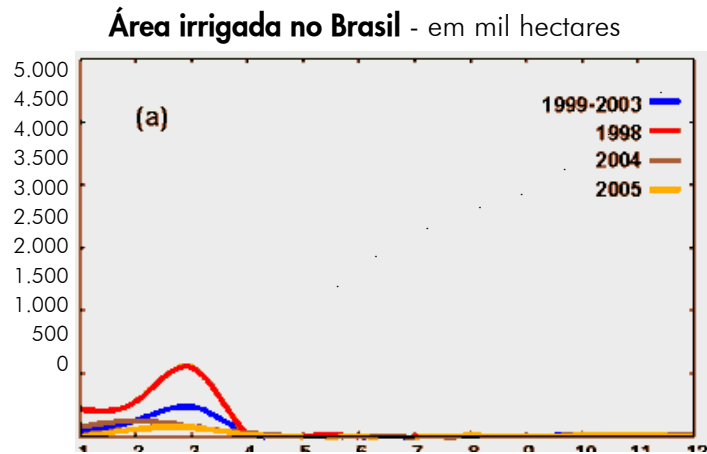
No mundo, uma área da ordem de 1.541 bilhões de hectares está ocupada pela produção agrícola, dos quais cerca de 277 milhões têm infraestrutura hídrica de irrigação. A área irrigada corresponde a 18% do total cultivado e é responsável por aproximadamente 44% da produção agrícola. No Brasil, a área irrigada corresponde a menos de 10% da cultivada, mas responde por mais de 25% do volume e a 35% do valor econômico total de produção (ANA, 2009). Além disso, o País detém potencial superior a 13% da capacidade mundial de incorporação de novas áreas à agricultura irrigada (Christofidis, 2005).

O total de área irrigada no território brasileiro, no ano de referência de 2006, levantado pelo CENSO Agropecuário, era de 4,6 milhões de hectares e estava distribuída da seguinte forma:

- 24% no método de inundação;
- 5,7% por sulcos;
- 18% sob o pivô central;
- 35% em outros métodos de aspersão;
- 7,3% com métodos localizados; e
- 10% com outros métodos ou molhação (ANA, 2010).

Apesar do visível incremento de superfície ocupada por irrigação, ocorrido no Brasil desde a década de 1950 e representado na Figura 4. O País ainda está longe de atingir seu potencial, estimado em mais de 29 milhões de hectares. O crescimento da atividade significa aumento de demanda por água. No entanto, cabe destacar que as áreas irrigadas por métodos de superfície, especialmente o de inundação, têm crescido a ritmo mais lento do que aquelas cujo uso é mais eficiente, inferindo-se disso, tendência de redução de índice do recurso natural captado por hectare irrigado.

Figura 4.5. Evolução da área irrigada no Brasil, 1950 a 2006.



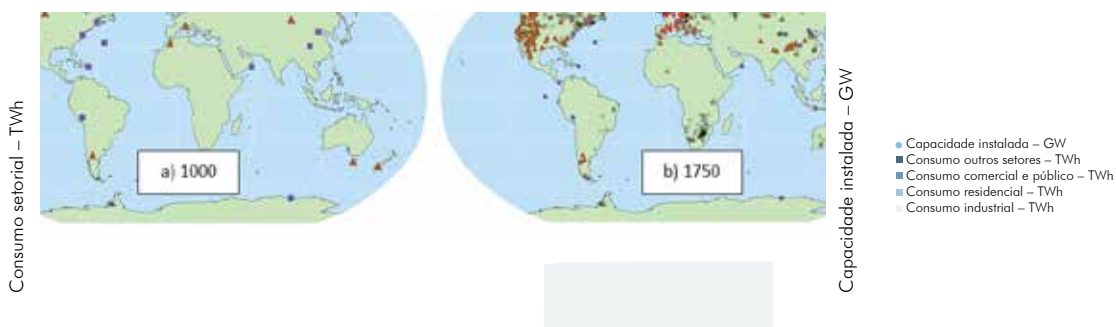
Fonte: Christofidis e Goretti, 2009

Entre os usos não *consuntivos*, destaca-se o aproveitamento do potencial de geração de hidroeletricidade, que constitui a base da matriz energética do País. O desenvolvimento socioeconômico está cada vez mais baseado no uso intensivo de energia. Consta-se crescente demanda por energia elétrica no mundo, bem como a importância dessa expansão para o desenvolvimento das nações e para a melhoria dos padrões de vida. De acordo com o Departamento de Energia (DOE), dos Estados Unidos, o consumo de eletricidade praticamente dobrará até 2025 (MMA, 2006b).

Os dados sobre evolução de capacidade de produção de energia elétrica instalada no Brasil, consideradas todas as fontes energéticas, revelam que, entre 2007 e 2009, houve acréscimo de quase 6.000 MW ao total do sistema, sendo 1.853 MW referentes à geração hidroelétrica (ANA, 2010). A evolução do consumo de eletricidade e de potência instalada está representada na Figura 4. (MME, 2005).

Até 2016, está previsto crescimento médio anual de consumo de energia elétrica pelo setor residencial de 5,5% ao ano, ampliando-o de 78.469 GWh, em 2004 para 152.705 GWh em 2016. Além do aumento do alcance da eletrificação através de programas como Luz para Todos, do governo federal, o consumo por unidade consumidora deverá se expandir a uma média de 140 kWh/mês em 2004 para 191 kWh/mês em 2016 (MME, 2005).

Figura 4.6. Evolução do consumo de eletricidade.



Obs.: em TWh e da potência instalada - GW.

Fonte: MME, 2005.



O uso industrial dos recursos hídricos tem participação ainda reduzida no total consumido no Brasil em comparação com países desenvolvidos. No entanto, apresenta importância não somente pelas retiradas, mas também pelo lançamento de efluentes. Com relação às águas *residuárias*, estudos do IPEA indicaram que a maioria dos estabelecimentos pesquisados afirmou realizar o descarte na rede pública de esgoto.

Importante destacar que as indústrias com maior demanda de água são também aquelas que, em sua maioria, fazem pré-tratamento de efluentes antes do lançamento nos corpos hídricos, a saber:

- 81% das indústrias de alimentos e bebidas;
- 100% das indústrias têxteis;
- 100% das indústrias de papel e celulose; e
- 75% das indústrias de metalurgia.

Contrariamente, 90,9% das indústrias que utilizam a rede pública para lançamento de efluentes não fazem nenhum pré-tratamento (MMA, 2006c).

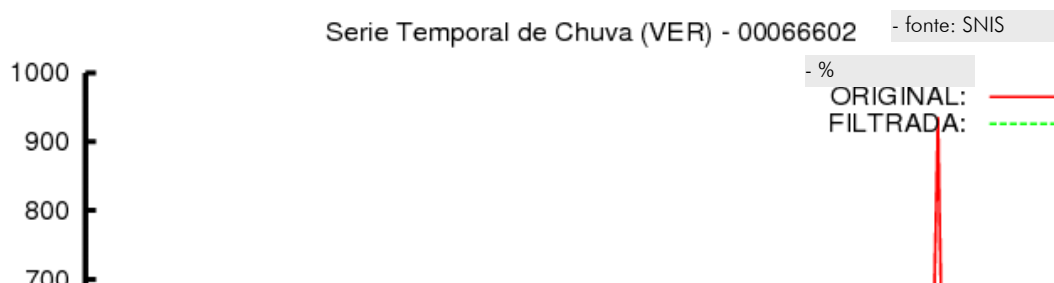
O uso mais nobre dos recursos hídricos é o abastecimento humano, que vem alcançando mais brasileiros ao longo do tempo. Entretanto, parte da população, especialmente aquela dispersa em núcleos rurais, ainda não recebe água potável encanada.

Segundo dados levantados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB 2008), a distribuição de água chega a 78,6% dos domicílios brasileiros, com tratamento em 87,2% dos municípios. Já o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2008) aponta que 81,2% da população tem acesso à rede distribuidora .

Em ambas as pesquisas, grandes diferenças são percebidas entre diversas regiões do País no que diz respeito ao atendimento e à qualidade da água distribuída. Nas regiões Norte e Nordeste, estão os menores percentuais de domicílios atendidos, sendo que, na primeira, 20,8% dos municípios com rede de abastecimento não realizam qualquer tratamento do recurso e, desses, 99,7% têm população de até 50.000 habitantes e densidade demográfica menor que 80 residentes por quilômetro quadrado.

Na Tabela 4.2 deste capítulo, estão representados os índices de cobertura de abastecimento de água desde 2004 apurados pelo SNIS.

**Tabela 4.2.** Índices de cobertura de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, segundo resultados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2004 a 2008..



**Figura 4.7.** Distribuição percentual em relação à população analisada conforme diagnóstico de abastecimento.



**Fonte:** Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS

Conforme a PNSB 2008, houve racionamento de água em 1.296 municípios ou 23,4% do total no País. As regiões em que esse problema registrou maior incidência foram a Nordeste – 40,5% – e a Norte – 24,9%. Na primeira, chamaram a atenção os estados de Pernambuco – 77,3% –, Ceará – 48,9% – e Rio Grande do Norte – 46,7%; e, na segunda os estados do Amazonas – 43,5% – e Pará – 41,4%.

Os motivos mais frequentes apontados pelos municípios para o racionamento hídrico foram:

- problemas relacionados à seca ou estiagem: 50,5%;
- insuficiência de água no manancial: 39,7%;
- deficiência na produção: 34,5%; e, por fim,
- deficiência na distribuição: 29,2%.

A quantidade de perdas nos sistemas de distribuição de água é, ainda, bastante elevada no Brasil. No entanto, o SNIS 2008 registrou o menor valor de toda sua série histórica de catorze anos a partir de 1995: uma média de 37,4% de perdas. Mais uma vez, percebe-se diferenças regionais, com perdas de 53,4% e 44,8% nas regiões Norte e Nordeste e, de 26,7%, na Região Sul. Esses índices elevados refletem a infraestrutura física de má qualidade e a gestão ineficiente dos sistemas.

Problema crescente para o abastecimento de água tem sido a escassez devida a sua qualidade. Em pesquisa realizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), empregando o índice de qualidade de água (IQA), o recurso foi considerado bom ou ótimo em 80% dos rios e, péssimo ou ruim, em 8%, conforme representado na Figura 4.8. Grande número de corpos d'água (69%) estavam eutrofizados (ANA, 2010).

**Figura 4.8.** Percentual das classes de IQA nos pontos de amostragem em de 2006 e 2008.



**Fonte:** ANA, 2010

Em relação à coleta de esgotos, o SNIS e a PNSB mostraram números bastante parecidos. De acordo com o primeiro, somente 43,2% do esgoto são coletados, enquanto que a segunda indicou 47,3% dos domicílios com acesso a esse serviço. Novamente, grandes diferenças regionais foram percebidas, com extremos de 5,6 % de coleta na Região Norte e de 66,6% no Sudeste.

Do esgoto coletado nessas áreas, menos de 70% eram tratados, resultando em um valor próximo a 30% do volume total de esgoto gerado no Brasil. A Região Norte apresentava os piores índices. Com base nesses dados o Instituto Trata Brasil (2010) estimou que, no País, cerca de 114 milhões de pessoas não contam com rede de sanitária de esgotamento.

Quanto ao uso de água para navegação, o Brasil tem uma extensão total de 28.834 quilômetros de rios. Na realidade, desse total, somente cerca de 8.500 km – equivalentes a 29,42% – são efetivamente navegáveis durante todo o ano, sendo que 5.700 km dos quais – 67% – se encontram na região da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (ANA, 2010).

#### **4.1.4. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS**

##### **4.1.4.1 VISÃO GERAL**

O ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação. Com o aquecimento da atmosfera, de acordo com o que sinalizam os modelos de previsão climática, se espera, entre outras consequências, mudanças nos padrões de precipitação – aumento de intensidade e de variabilidade –, o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal de vazão nos rios.

Em resumo: estudos mostraram que os eventos hidrológicos críticos, secas e enchentes, poderão se tornar mais frequentes e *intENSOs*. O recente relatório do *IPCC* sobre gerenciamento de risco de eventos extremos e desastres para a adaptação a mudanças do clima mostrou as mesmas em seus extremos climáticos e respectivos impactos sobre o ambiente físico natural (Seneviratne *et al.*, 2012).

Somadas aos impactos esperados sobre o regime hidrológico, estão as prováveis mudanças na demanda por diversos setores usuários, que possivelmente aumentará acima das previsões realizadas a partir da expectativa de crescimento populacional e desenvolvimento do País.

A elevação da temperatura do ar e da evapotranspiração poderá acarretar, entre outros efeitos, maior necessidade de irrigação, refrigeração, consumo humano e dessedentação de animais em determinados períodos e regiões, além de afetar capacidade de reserva de água e o balanço hídrico.

Segundo Chiew *et al.* (2009), o aquecimento global levará a mudanças em precipitação e outras variáveis climáticas, cujos efeitos para o escoamento serão ampliados.

O efeito projetado de mudanças climáticas no escoamento superficial e na recarga subterrânea é variável, dependendo da região e do cenário climático considerado, mas se relaciona, em grande parte, com as mudanças previstas para precipitação (*IPCC*, 2001a; Krol *et al.*, 2006). Prevê-se que, a magnitude e a frequência de vazões máximas aumentem na maioria das regiões do planeta e as vazões mínimas diminuam em muitas regiões (Mello *et al.*, 2008).

O impacto da mudança climática sobre o escoamento pode ser estimado diretamente a partir do histórico do clima sazonal ou interanual e séries temporais do escoamento, de forma direta, ou indiretamente, com base em conceitos das elasticidades clima de escoamento, utilizando-se modelagem hidrológica (Augustin *et al.*, 2008; Gray e McCabe, 2010, Sankarasubramanian *et al.*, 2001; Fu *et al.*, 2007, Escarião, 2009, Schaake, 1990; XU, 1999; Chiew e McMahon, 2002, Medeiros, 2003, Tomasella *et al.*, 2009, Nóbrega *et al.*, 2011).

Os modelos hidrológicos podem ser alimentados pelos modelos climáticos, estatisticamente regionalizados ou dinâmicos (Charles *et al.*, 2004; Rajee e Mujumdar, 2009; Mehrotrae Sharma, 2010; Rajee e Mujumdar, 2010; Gordon e O'Farrell, 1997; Nunez e Mcgregor, 2007, Ambrizzi *et al.*, 2007). Sua combinação de resultados tem sido buscada como forma de melhorar a informação (Manning *et al.*, 2009; Stocker *et al.*, 2010). Outra classe de abordagem é o cálculo das vazões diretamente a partir de modelos climáticos globais (Milly *et al.*, 2005).

A mudança climática desafia a suposição tradicional de que a experiência hidrológica do passado fornece um bom guia para as condições futuras. As consequências de mudanças climáticas podem alterar a confiabilidade dos sistemas de água atual, assim como a gestão de usos e infraestruturas de suprimento (Bates *et al.*, 2008).

Problemas com a disponibilidade de água e as secas devem aumentar em regiões semiáridas a baixas latitudes (IPCC, 2007b). Estudos mostram que muitas dessas áreas, dentre elas o Nordeste brasileiro, poderão sofrer diminuição dos recursos hídricos devido a alterações climáticas (Kundzewicz *et al.*, 2007).

Os modelos de representação do clima atual mostraram dificuldade em representar o balanço hídrico nas regiões hidrográficas do nordeste ocidental e oriental do Oceano Atlântico. As vazões das regiões hidrográficas do Norte, ocidental e oriental, e do Leste atlânticos, bem como dos rios Parnaíba, Tocantins, São Francisco e Amazonas, apresentaram diminuição para 2100. Houve pequena alteração prevista para nas regiões hidrográficas do Atlântico Sul, Atlântico Sudeste e Uruguai, com ligeira elevação identificada nas regiões das bacias hidrográficas dos rios Paraná e Paraguai, ao final do século XXI (Salati *et al.*, 2008).

Verifica-se que, um fator limitante para uma análise mais conclusiva a respeito da disponibilidade de água resultante dos cenários do IPCC é a falta de concordância entre modelos climáticos para grande parte do território brasileiro.

O relatório síntese do IPCC AR4 (Pachauri e Reisinger, 2007) indica que, menos de 66% de um total de doze modelos climáticos para o cenário A1B concordaram com o sinal de mudança de precipitação para grandes áreas do Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Norte, entre os períodos de 2090 a 2099 e de 1980 a 1999. Apenas o Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e o Sul do País possuem áreas sobre as quais mais de 66% dos modelos concordam: de redução, para a primeira região e de aumento, para a segunda.

#### **4.1.4.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS E REGIÕES BRASILEIRAS**

De forma geral, verifica-se que as simulações realizadas na escala das bacias hidrográficas (Nóbrega *et al.*, 2011; Tomasella *et al.*, 2009; Campos e Nêris, 2009; Medeiros, 2003) concordaram com os estudos realizados em nível global (Milly *et al.*, 2005; UK Met Office, 2005) e nacional (Salati *et al.*, 2008) no que diz respeito a sinal de mudança.

As precipitações no Norte e no Nordeste do Brasil deverão ser reduzidas 2 a 4mm/dia para o cenário A2, dependendo do mês e da estação do ano, e a temperatura do ar deverá aumentar de + 2 °C a + 6 °C para todo o território brasileiro, segundo Ambrizzi *et al.* (2007) e Marengo *et al.*

(2009) que utilizaram simulações do modelo MCG *HadAM3P* no período de 2071 a 2100.

Os rios situados no Leste da região da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e no Nordeste do Brasil devem ter redução de vazão de até 20% , cálculo feito a partir de valores médios de doze modelos do IPCC (Milly *et al.*, 2005). O UK Met Office (2005) utilizou o modelo climático do Hadley Centre *HadGEM1* para os cenários A1B e A2 – pessimista com relação à emissão de GEEs–, e verificou concordância com os resultados de Milly *et al.* (2005) para a primeira área citada e discordância quanto à modificação da vazão nordestina. Ribeiro Neto *et al.* (2011) encontraram valores próximos aos de Milly *et al.* (2005) em simulação do balanço hídrico no Estado de Pernambuco.

A Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, para o cenário A1B – período de 2080 a 2090 – apoutou para redução de vazão da ordem de 30%, com possibilidade de alcançar 60% durante a estiagem, em impacto disforme para o ano inteiro e que pode variar, a depender das características físicas de suas sub-bacias analisadas (Tomasella *et al.*, 2009).

As precipitações anuais podem diminuir e as temperaturas médias, aumentar, no Estado da Bahia (Tanajura *et al.*, 2009; Tanajura *et al.*, 2010). As sub-bacias conjugadas do Rio Paraguaçu, no Estado da Bahia, não tiveram modificação de vazão média anual nos resultados do modelo– elaborado pelo Serviço Meteorológico da Inglaterra – UKHI – indicaram redução média anual de 40% no modelo do Centro de Clima Canadense – CCCII – além de acréscimos em evapotranspiração (Medeiros, 2003).

A Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paracatu, afluente do Rio São Francisco, apresentou tendência de aumento na disponibilidade hídrica em todas as estações fluviométricas, variando de 31% a 131% até 2099 para o cenário B2. Já para o cenário A2, não foi verificada nenhuma tendência significativa (Mello *et al.*, 2008).

Na região do semiárido do Nordeste brasileiro (Krol e Bronstert, 2007), identificou-se tendência significativa de redução nas vazões do Rio Jaguaribe após 2025, considerando-se um cenário de redução de 50% de precipitação para as próximas cinco décadas. Na perspectiva de um percentual menor de diminuição para esse fator climático, de precipitação 21%, os autores não encontraram tendência significativa de alteração de vazão.

Já para o Açude Várzea do Boi, em um afluente do mesmo rio e localizado em Tauá, no Estado do Ceará, projetou-se diminuição de precipitação de 12% , escoamento menor em 32% e redução de 0,1% de evaporação, havendo perda substancial na disponibilidade hídrica (Campos *et al.*, 2003).

Adicionalmente, fatores não relacionados a mudança de clima, como o assoreamento, podem afetar os estoques de água. Foi observada uma taxa média de sedimentação no Ceará de 1,85% por década (Araújo *et al.*, 2003).

A elevação da temperatura do ar global tem efeito significativo no aumento de evaporação (Mitchell *et al.*, 2002), o que poderá prejudicar a eficiência de armazenamento nos lagos. Por exemplo, uma análise desse fenômeno sobre o reservatório Epitácio Pessoa – no município paraibano de Boqueirão –, que abastece a cidade de Campina Grande, para o cenário B1 no período de 2011 a 2030, mostrou ampliação média de 2,16% (Fernandes *et al.*, 2010). A avaliação das alterações na regularização de vazão em reservatórios do Estado do Ceará devido a mudança climática indicou redução de forma significativa (Campos e Nêris, 2009).

Análises dos efeitos da mudança do clima sobre a região metropolitana de Belo Horizonte, utilizando os modelos climáticos regionais *Providing Regional Climates for Impacts Studies* (PRECIS) e ETA, constataram significativa discrepância de resultados, sendo que o último apresentou forte tendência negativa (Alexandre *et al.*, 2009).

A Bacia Hidrográfica do Rio da Prata deverá ter aumento da vazão – entre 10% e 40% – no cenário A1B até meados do século XXI, segundo doze modelos climáticos analisados por Milly *et al.* (2005). O UK Met Office (2005), utilizando o modelo climático do Hadley Centre HadGEM1 para os cenários A1B e A2 – pessimista com relação à emissão de GEEs –, concluiu em concordância com esses resultados.

O Rio Grande, afluente da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, registrou significativa discordância entre as alterações de vazões estimadas pelos diferentes modelos climáticos para o cenário A1B, (Nóbrega *et al.*, 2011). Sua vazão aumentaria segundo o ECHAM5 – +13% – e o HadCM3 – +9% – e diminuiria conforme o CCCMA – -14% –, o Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) – -28% – e o HadGEM1 – -10% –, apresentando pequena alteração para o Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) – -2% . Em virtude dos resultados obtidos, Nóbrega e seus coautores sugerem que a escolha do modelo climático é a maior fonte de incerteza para a projeção de impactos nas vazões dos rios.

#### **4.1.4.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

A mudança climática deverá afetar as taxas de recarga de águas subterrâneas – ou seja, do recurso subterrâneo renovável e seus níveis. No entanto o conhecimento, mesmo nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, é pobre.

Tem havido pouca pesquisa sobre o impacto de mudanças climáticas sobre águas subterrâneas, incluindo a questão de como elas afetarão a relação entre as águas superficiais e os aquíferos que são hidraulicamente conectados (Kundzewicz *et al.*, 2007). Estima-se para o Nordeste do Brasil, uma redução de recarga de 70% até 2050 (Doll e Florke, 2005).

#### **4.1.4.4 QUALIDADE DE ÁGUA**

Apesar de poucos estudos sobre qualidade da água e clima terem sido realizados, estima-se que a primeira sofra impacto de alterações do clima (Hostetler, 2009; Wilby *et al.*, 2006; Ludovisi e Gaino, 2010). As mudanças climáticas devem influenciar a oferta da água, assim como sua demanda por diversos setores.

#### **4.1.4.5 USOS DE ÁGUA**

O aumento de temperatura em decorrência do aquecimento global pode provocar perdas nas safras de grãos de R\$ 7,4 bilhões já em 2020 – um valor que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070 – e alterar profundamente a geografia da produção agrícola no Brasil (Assad e Pinto, 2008). O uso de água na agricultura deverá ser alterado (Pinto *et al.*, 2008; Macedo Junior *et al.*, 2009), assim como impactos na pecuária (Silva *et al.*, 2009).

A mudança do clima pode, de fato, funcionar como fonte adicional de pressão sobre a demanda de água para irrigação. Estudos nas bacias hidrográficas conjugadas do Rio Jaguaribe, no Estado do Ceará, apontam que, a elevação nos níveis de evapotranspiração de referência em consequência da elevação de temperatura do ar agravada pela redução na precipitação, deve aumentar a necessidade de irrigação complementar (Gondim *et al.*, 2011).

#### **4.1.5 ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO**

Os impactos da mudança climática sobre as vazões de escoamento da água afetam a função e a

operação da infraestrutura existente para abastecimento, inclusive suas hidrelétricas, defesas estruturais contra inundações, sistemas de drenagem e de irrigação, além de suas práticas de gestão. Estas últimas, em seu estágio corrente podem não ser suficientemente robustas para lidar com os impactos da mudança do clima sobre a confiabilidade dos sistemas abastecedor, de riscos de inundação, saúde, agricultura, energia e, ainda, dos ecossistemas aquáticos (Bates *et al.*, 2008). Adaptação e medidas de enfrentamento são dependentes de escala e podem variar de famílias individuais para comunidades locais, bem como nacional a internacional (Kabat *et al.*, 2002).

As opções de adaptação, destinadas a assegurar o abastecimento de água em condições médias e de secas, requerem ações com relação à demanda e à oferta (Bates *et al.*, 2008). Do lado da demanda, deve-se melhorar a eficiência de uso de água, por exemplo, através de seu reuso. A adoção de instrumentos de incentivo econômico, cobrança e regulação setorial tem a capacidade de, ao indicar o valor do recurso, diminuir seu desperdício e aumentara eficiência em seu aproveitamento.

Do lado da oferta, as estratégias de adaptação geralmente envolvem aumento da capacidade de armazenamento, captação de cursos e transferências de água, além de ações de recuperação das bacias hidrográficas para a produção do insumo. A gestão integrada de recursos hídricos constitui um quadro importante para se alcançar as medidas de adaptação em sistemas socioeconômicos, ambientais e administrativos. Para ser eficaz, deve-se promover abordagens integradas à escala apropriada ou àquelas necessárias para facilitar ações efetivas com resultados específicos (Bates *et al.*, 2008).

A suscetibilidade dos sistemas hídricos à mudança do clima depende da gestão de água. O paradigma do gerenciamento integrado desse recurso pode colocá-lo no centro da elaboração de políticas públicas, destinadas a reduzir tal vulnerabilidade. Nesse sentido, é fundamental que os agentes públicos responsáveis pela execução da Política Nacional de Recursos Hídricos coloquem em prática seus instrumentos conforme previstos (IPCC, 2007a).

Para alguns especialistas, a crise da água no século XXI é muito mais de gerenciamento do que crise real de escassez e estresse (Tundisi, 2008). Entretanto, para outros, ela é resultado de um conjunto de problemas ambientais, agravado por outros, relacionados à economia e ao desenvolvimento social (Gleick, 2002). A gestão dos recursos hídricos é vista como uma decisão política, motivada pela escassez relativa (Barth e Pompeu, 1987). Nesse contexto, o arcabouço jurídico, político e institucional torna essencial ao processo gestor para a adaptação do insumo à mudança climática.

A Lei nº 9.433, de 1997, conhecida como Lei das Águas, revolucionou a gestão dos recursos hídricos no Brasil, sendo citada como modelo de integração gerencial para a área (*United Nations Development Programme, UNDP, 2006*). Essa lei trouxe, como um de seus objetivos, o desenvolvimento sustentável e definiu instrumentos para se gerenciar conflitos. Em conjunto com a criação da Agência Nacional de Águas, através da Lei nº. 9.984, constituiu-se, assim, no marco legal da atual gestão de águas no Brasil. Reformas modernizantes têm ocorrido tanto na União como nos estados e a UNDP (2006) cita o processo desenvolvido no Ceará, como um dos exemplos bem-sucedidos.

Os riscos relacionados à mudança do clima não são suficientemente considerados no desenvolvimento do setor de água e em seus planos de gestão (Biemans *et al.*, 2006). Para atender às metas do milênio e as demais já traçadas para os recursos hídricos, são obrigatórios investimentos substanciais em ações estruturais – armazenamento e de controle de transporte – e não estruturais – gestão de procura e de várzea e prestação de serviços e outros –, além de abordagens específicas para gerenciamento do insumo (Biemans *et al.*, 2006). Tais investimentos são de longo prazo e, portanto, devem ser concebidos de modo a refletirem os riscos associados à variabilidade e às alterações climáticas.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) considera risco como sendo a probabilidade de ocorrência de prejuízos ou perdas, resultantes da interação entre perigos naturais e sistemas humanos. Normalmente, esse conceito é adotado como função de perigo, exposição e vulnerabilidade.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima define vulnerabilidade como o

*grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.*

Os efeitos da mudança do clima atingem a sociedade de forma desigual. A população mais pobre, geralmente, é mais vulnerável aos impactos da variabilidade e das mudanças climáticas sobre a água e, normalmente, tem menor capacidade de lidar com os mesmos (Kabat *et al.*, 2002). Apresenta-se, dessa forma, uma questão de justiça ambiental associada a alterações do clima, na qual se deve reconhecer que o acesso a água doce potável é, agora, considerado um direito humano universal (Comitê das Nações Unidas sobre os Direitos Econômicos, Sociais e Culturais de 2003; Kundzewicz *et al.*, 2007).

Diante da expectativa de mudança climática global, a capacidade de se responder adequadamente às novas necessidades e fazer previsões em escalas relevantes para a sociedade exigirá o desenvolvimento de uma visão holística e o entendimento quantitativo da modificação de comportamento de sistemas hidrológicos e de seus subsistemas (Wagener *et al.*, 2010).

A gestão de risco em múltiplas escalas temporais se faz necessária como estratégia de adaptação. A resposta às mudanças climáticas envolve um processo interativo de gestão de risco que inclui ações de mitigação e as adaptativas tendo-se em conta, os consequentes danos reais ocorridos e evitados: ou seja, os *cobenefícios*, a sustentabilidade, a equidade e as atitudes frente a sua probabilidade.

As técnicas de gestão de risco podem acomodar, explicitamente, a diversidade entre setores, regiões e ao longo do tempo. Mas sua aplicação requer informações sobre os impactos resultantes dos cenários climáticos mais prováveis e, também, dos decorrentes de menor probabilidade, assim como as consequências de eventos, políticas e medidas propostas (IPCC, 2007b).

Atualmente, não há opções de gestão que sejam especialmente apropriadas para adaptação às alterações climáticas mensuráveis, diferentemente daquelas já empregadas para lidar com a variabilidade do clima contemporâneo (Van Beek *et al.*, 2002). A única diferença substantiva é saber se se deve adotar uma estratégia mais convencional e incremental em uma abordagem sem arrependimentos (Banco Mundial, 2010; Kabat *et al.*, 2002) ou outra, mais preventiva e de precaução (Van Beek *et al.*, 2002). Medidas sem arrependimentos são aquelas cujos benefícios igualam ou excedem seu custo para a sociedade e por vezes, são tidas como medidas que valem à pena fazer de qualquer maneira, (Van Beek *et al.*, 2002).

A definição de estratégias robustas é desejável (IPCC, 2007b). Entende-se essa estratégia como a que mantém sob uma variedade de abordagens, os métodos, os modelos e as hipóteses, e que, espera-se, seja relativamente pouco afetada pelas incertezas da realidade (Godet, 2000). A elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), lançado em 2006, empregou uma metodologia prospectiva de cenários para antecipar as imprevisibilidades dos recursos hídricos. Como ponto de partida para a construção desses cenários, foi estabelecido que eles descrevessem futuros alternativos como ferramenta do planejamento de uma realidade carregada de riscos (PNRH, 2006b).

O PNRH aborda o tema mudança climática somente em seu Subprograma IV.1 - Desenvolvimento, Consolidação de Conhecimento, Inclusive os Conhecimentos Tradicionais, e de Avanços Tecnológicos em Gestão de Recursos Hídricos, inserindo nele, a necessidade de estudos e pesquisa com vistas ao entendimento das relações entre dinâmica das disponibilidades hídricas e comportamento climático (PNRH, 2006b).



Em seu processo de revisão, foi realizado o seminário Diálogo Água e Clima: adaptação aos riscos relacionados aos impactos das mudanças climáticas, no qual foram debatidas possíveis contribuições da gestão de recursos hídricos para a adaptação aos riscos e a minimização de impactos advindos de alterações climáticas.

Por sua vez, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, lançado em dezembro de 2008, com foco em medidas de redução de emissões de GEEs, pouco abordou a temática dos recursos hídricos. Nele, foi apontada a necessidade de estudos e pesquisa para conhecimento dos impactos de mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica e da atuação em monitoramento e, ainda, para a previsão de eventos hidrológicos extremos.

Kabat *et al.*, 2002 mencionaram que uma grande variedade de medidas específicas de gestão, estruturais e não estruturais, utilizadas rotineiramente para acomodar a atual variabilidade climática, servirão para a adaptação com vistas à redução dos impactos causados pela mesma e por mudanças do clima. Esses autores observaram que não existe uma abordagem adaptativa única e universal.

Avaliações do risco utilizando dados históricos e estatísticos, por si só não bastam quando se avalia o futuro da mudança climática (Biemans *et al.*, 2006). Padrões de projeto e estratégias de gestão deverão levar em conta os prováveis efeitos de alterações futuras nos ciclos hidrológicos e no clima.

Investimento em clima para a redução de risco de desastres é tendência essencial. O aumento de custos tem que ser revertido, o que pode ser feito através do conceito de *SafetyChain* – prevenção, preparação, intervenção de risco, recondicionamento e reconstrução (Biemans *et al.*, 2006). Instrumentos econômicos como seguros (Righetto *et al.*, 2007) e contratos baseados em informação climática (Sankarasubramanian *et al.*, 2009) podem ter papel importante na construção desse tipo de estratégia. As atividades humanas exercem impactos sobre o meio ambiente em escala global, com implicações significativas para a água doce e perigos para seres humanos e natureza (Wagener *et al.*, 2010). A abordagem atual da hidrologia precisa mudar significativamente para que possamos compreender e prever essas consequências (Wagener *et al.*, 2010). Esse ajustamento é pré-requisito necessário ao desenvolvimento sustentável de recursos hídricos e à construção de uma estratégia de gestão que possibilite, no longo prazo, a segurança do abastecimento desse insumo às pessoas e para o meio ambiente (Wagener *et al.*, 2010). Esse é o desafio da produção de conhecimento para a sustentabilidade hídrica. A hidrologia requer mudança de paradigma em que, as previsões do comportamento do sistema que estão além da faixa de variabilidade observada anteriormente ou que resultem de alterações significativas de suas características físicas – estruturais – se tornem a nova norma (Wagener *et al.*, 2010). Para esse fim, torna-se fundamental, a formação de uma base de dados, que unifique informações meteorológicas e relativas às águas de superfície e subterrânea (Clarke e Dias, 2003).

Habilidades na previsão de inundações e secas precisam ser melhoradas em toda a gama de horizontes temporais de interesse, sendo que a pesquisa aplicada e a tecnologia têm papel importante a desempenhar (Kabat *et al.*, 2002). As previsões de médio prazo para o clima, nesse momento, ainda podem ser utilizadas na gestão de água em muitas partes do mundo, em parte por falta de capacidade, mas também porque seu potencial ainda não foi percebido pelos gestores de recursos hídricos (Kabat *et al.*, 2002).

O Brasil possui hoje diversos trabalhos, que possibilitam a utilização de modelos climáticos na tomada de decisão sobre recursos hídricos, notadamente nas escalas de tempo sazonal a anual. Esses modelos são baseados no acoplamento de modelos climáticos a hidrológicos (Collischonn e Tucci, 2005; Collischonn *et al.*, 2005; Souza Filho e Porto, 2003; Block *et al.*, 2009), na utilização dos primeiros para o cálculo de vazões de forma direta (Souza *et al.*, 2009) ou, dos estatísticos, para a previsão indiretas das mesmas (Souza Filho *et al.*, 2003; Kim e Dias, 2003; Souza Filho e Lall, 2004; Pinto *et al.*, 2006a; Pinto *et al.*, 2006b; Sabóia *et al.*, 2009). Esse conjunto de instrumentos possibilita a operação de sistemas de reservatórios (Cardoso *et al.*, 2007; Cardoso *et al.*, 2009) e reúne ferramentas de gestão de recursos hídricos para alocação de água (Souza Filho e Brown, 2008; Broad *et al.*, 2007; Sankarasubramanian *et al.*, 2009).

#### 4.1.6 DESASTRES NATURAIS

O risco de desastres naturais deve ser analisado em conjunto com os conceitos de exposição e vulnerabilidade das populações. Enquanto a primeira se refere à presença de população em locais que podem ser afetados por eventos climáticos, a segunda diz respeito à propensão e à predisposição do referido contingente populacional para ser afetado (IPCC, 2012). Dessa forma, impactos extremos podem resultar de eventos que não o são e, nos quais exposição e vulnerabilidade são elevadas.

As comunidades mais expostas e vulneráveis são as sujeitas a processos de desenvolvimento equivocados em associação com degradação ambiental, urbanização de áreas de risco, falhas de governança e escassez de opções de sustento para a população pobre.

Os principais desastres naturais relacionados com o clima são as secas, inundações, deslizamentos, furações, incêndios florestais e elevação do nível do mar. O mais importante entre os efeitos esperados de mudança do clima sobre os desastres naturais no Brasil está relacionado à alteração dos regimes de chuva em diversas regiões. Simulações realizadas por catorze MCGs do *Coupled Model Intercomparison Project (CMIP3)* indicam que, no século XXI, haverá redução de um dia na duração do tempo de retorno de precipitação e tempo de retorno de 20 anos – referente a valores previstos para o final do século XX (IPCC, 2012).

Nas regiões correspondentes ao Nordeste do Brasil, ao bioma Amazônia e ao Sul e Sudeste da América do Sul, os resultados dos modelos indicam que, para o cenário A1B e o período de 2081 a 2100, a precipitação que no final do século XX levava 20 anos em média para ser repetida, passará, aproximadamente, a uma recorrência de dez anos em média. Isso pode significar aumento de frequência de eventos extremos, como chuvas intensas, com consequente incremento de ritmo de inundações. Essa categoria de desastre natural é a que provoca maior número de perdas humanas para o Brasil (Kobiyama *et al.*, 2006).

A gestão do risco de desastres naturais deve:

- i. entender os mecanismos dos fenômenos naturais; e
- ii. aumentar a resistência da sociedade contra os mesmos (Kobiyama *et al.*, 2006).

O entendimento dos mecanismos é um processo contínuo, que necessita de investimentos em pesquisas que estudem os fenômenos que já ocorrem no clima atual, como os de seca na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (Tomasella *et al.*, 2005) e os de inundações no Nordeste (Ribeiro Neto *et al.*, 2011; Fragoso Júnior *et al.*, 2010) e no Rio de Janeiro (Canedo *et al.*, 2011).

O segundo elemento – o aumento de resistência contra fenômenos naturais – consiste no desenvolvimento de sistema que envolva governo, setor privado, instituições de pesquisa e sociedade civil, de maneira que cada componente possa contribuir de forma complementar para o gerenciamento do risco, de acordo com suas funções e capacidades. Nessa linha, a criação, em 2011, do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), foi importante passo dado no sentido de se aumentar a capacidade da sociedade em reduzir os efeitos das catástrofes naturais no Brasil.

O Ministério da Integração Nacional, como responsável pela defesa civil no País em articulação com estados e municípios, desenvolveu um manual de planejamento como instrumento para orientar sua ação (Castro, 2007).

O desenvolvimento e a implementação de plano integrado de gestão de desastres deve incluir:

- i) sistema de alerta precoce com capacidade de disseminação rápida da informação;
- ii) coordenação dos planos de ação local, estadual e nacional, com vistas à procura, resgate e evacuação da população afetada;

- iii) clara definição de responsabilidade entre os diversos agentes;
- iv) sistema de previsão de longo prazo de cheias e secas na situação atual;
- v) efetiva parceria público-privada para gestão de desastres, mitigação e alívio das populações; e, ainda,
- vi) avaliação rápida dos danos de secas e cheias (Gopalakrishnan e Okada, 2007).

## 4.2. ECOSISTEMAS DE ÁGUA DOCE E TERRESTRES

### 4.2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos 17 países megadiversos do planeta, ou seja, pertence ao conjunto de países que detêm 70% da biodiversidade do mundo (Mittermeier *et al.*, 1997). Além disso, dispõe de 20% dos recursos hídricos globais (Freitas, 2003), um dos maiores estoques naturais de carbono (Gibbs *et al.*, 2007) e é autossuficiente na produção de alimentos (Burlandy, 2009), petróleo (Goldemberg e Lucon, 2007) e possui matriz energética predominantemente hidrelétrica (Lucena *et al.*, 2009).

Entretanto, o acelerado crescimento econômico do País nas últimas décadas se deu muitas vezes às expensas do uso não sustentável de recursos naturais. Biomas como o Mata Atlântica e o Cerrado, por exemplo, são hoje classificados como *hotspots* de biodiversidade, pelo contraste entre sua riqueza natural e o alto grau de degradação sofrido historicamente (Myers *et al.*, 2000). Vários rios e cursos d'água encontram-se poluídos ou degradados (Agostinho *et al.*, 2005).

O histórico de mau uso é exemplificado pelo fato de, apesar de exibir o sexto PIB do planeta, o Índice de Desenvolvimento Humano do País (IDH) é classificado apenas como o 84º no mundo e a distribuição de renda está entre as três mais desequilibradas do continente latino-americano (Scarano *et al.*, 2012). Esse panorama sugere que a crescente demanda por geração de energia, infraestrutura, produção mineral e agrícola, bem como o crescimento urbano absolutamente desordenado e sem planejamento, podem aumentar a vulnerabilidade dos sistemas naturais às mudanças no uso de terra (Geist e Lambin, 2002; Kim *et al.*, 2009; Dobrovolski *et al.*, 2011). A combinação desses fatores de perturbação deve acelerar ainda mais, os efeitos das mudanças climáticas previstas pelos cenários do IPCC (Foley *et al.*, 2005).

Este capítulo está organizado em duas seções. Uma discute vulnerabilidade e impacto – primeiramente tratando da água doce e, em seguida, dos ambientes terrestres. A outra trata de adaptação às mudanças climáticas e de uso da terra, agregando ambientes terrestres e aquáticos em uma mesma abordagem, justamente para integrar os compartimentos que, no tópico anterior, foram vistos de forma separada. A estrutura, portanto, visa apenas facilitar a clareza do texto já que esses compartimentos são conectados e interdependentes e, por consequência, devem ser tratados como tal, quando se trata, por exemplo, de ações práticas voltadas para conservação (Amis *et al.*, 2009).

### 4.2.2 VULNERABILIDADE E IMPACTO

A conversão de ecossistemas naturais é a segunda maior fonte de mudança climática induzida pelo Homem, somando de 17 a 20% das emissões de gases antropogênicos (Gullison *et al.*, 2007; Strassburg *et al.*, 2010), e é a mais importante causa da extinção de espécies (Baillie *et al.*, 2004). O Brasil foi o líder mundial de desmatamento de florestas tropicais, suprimindo cerca de 19.500 km<sup>2</sup> por ano entre 1996 e 2005, o que representou historicamente de 2 a 5% da emissão global de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) à atmosfera (Nepstad *et al.*, 2009). Esse cenário se torna particularmente grave ao considerarmos que recentes evidências apontam para o fato que, em termos de conservação da biodiversidade em florestas tropicais, pois nada substitui a relevância das florestas primárias, cada vez mais raras nos trópicos (Gibson *et al.*, 2011). Entre julho de 2005 e julho de 2009, o desmatamento na Amazônia Legal caiu 36% em relação a seu valor histórico, o que esteve

em parte relacionado à expansão da rede de áreas protegidas que hoje cobrem 51% do remanescente florestal do bioma Amazônia (Nepstad *et al.*, 2009).

Neste capítulo, a cobertura por áreas protegidas é vista como uma medida da variação da vulnerabilidade entre os biomas, ainda que a incorporação de critérios de vulnerabilidade ao planejamento da conservação seja, todavia, problemático (Wilson *et al.*, 2005). Além disso, se reconhece também a existência de grandes proporções de espécies ocorrentes fora de áreas protegidas (Chazdon *et al.*, 2009) e as limitações das mesmas ao conservar espécies e dos serviços ambientais frente às mudanças climáticas (Heller e Zavaleta, 2009).

O Brasil possui seis grandes biomas sujeitos a diferentes tipos de impactos, cujos recursos naturais variam em relação ao grau, ao tipo de vulnerabilidade e ainda, ao ambiente marinho, não tratado neste capítulo. A tabela 4.3 indica que, enquanto mais de 50% do bioma Amazônia está protegido na forma de unidades de conservação ou terras indígenas, todos os demais têm 10% ou menos de seus territórios em igual situação. Ela é distinta no Pantanal e no Pampa, onde a proteção formal é inferior a 5% de suas áreas originais.

A variação em vulnerabilidade e a origem do impacto sobre os biomas também muda, de acordo com o histórico de ocupação humana e com as características naturais e posição das regiões. Por exemplo, o Mata Atlântica abriga cerca de 60% da população brasileira e a maioria das grandes cidades do País (Galindo-Leal e Câmara, 2003). Contém apenas 12% de sua cobertura vegetal original e, mesmo assim distribuída em pequenos fragmentos florestais (Ribeiro *et al.*, 2009). Já o Cerrado conta, hoje, com taxas de desmatamento duas a três vezes superiores às do bioma Amazônia, principalmente em função da expansão agropecuária (Sawyer, 2008).

O Pantanal (Harris *et al.*, 2005) e o Pampa (Overbeck *et al.*, 2007) são biomas que requerem controle de espécies invasoras e algum grau de manejo, seja com fogo ou pastejo, para se manter sua estrutura e funcionamento, o que sugere que unidades de conservação de proteção integral nem sempre sejam a modalidade ideal a ser empregada. O bioma Caatinga já tem 15% de sua cobertura ameaçada de desertificação em decorrência do uso inadequado de solo (Leal *et al.*, 2005). Por fim, no bioma Amazônia, apesar de sua grande proporção de áreas protegidas, a expansão de projetos *infraestruturais* e da atividade agropecuária representam riscos à integridade desse sistema, que responde por 15% da fotossíntese terrestre global e é um dos principais propulsores da circulação atmosférica global (Malhi *et al.*, 2008).

**Tabela 4.3.** Extensão das unidades de conservação – UC\* – e terras indígenas – TI\*\* – por bioma brasileiro. Áreas marinhas não foram incluídas por não serem tratadas nesse capítulo.

Bioma	Área – em km <sup>2</sup>	UC total – em km <sup>2</sup> até 2009	Em % do total até 2009	TI – em km <sup>2</sup>	Em % do total
Amazônia	4.196.943	1.152.900	27,5	1.087.200	25,9
Caatinga	844.453	86.091	10,0		
Cerrado	2.036.448	185.737	9,1		
Pantanal	150.355	7.531	5,0	18.058	0,4
Mata Atlântica	1.110.182	118.478	10,7		
Pampa	176.496	5.932	3,4		
Brasil	8.514.877	1.556.669	18,2	1.105.258	13,0

**Fonte:** adaptado de \*Fonseca *et al.* (2010) e \*\*<http://pib.socioambiental.org/pt/c/terras-indigenas/demarcacoes/localizacao-e-extensao-das-tis>

### 4.2.3 ECOSSISTEMAS DE ÁGUA DOCE

Ecosistemas de água doce são os ambientes mais ameaçados do planeta (Abell *et al.*, 2008) e sua agricultura é a maior usuária dos recursos hídricos mundiais, somando 70% do suprimento total (Beddington, 2010). O Brasil é um dos oito países que contribuem para 50% da *pegada hídrica* do mundo, qualificando-o como um dos maiores consumidores. Isso se deve ao fato que 69% da água consumida no País se destinam à agricultura, apesar de outros autores indicarem que esse consumo é de 90% (Hoekstra e Chapagain, 2007).

Para países onde a economia é ainda muito centrada na agricultura, como no caso do Brasil, a tendência é a de que haja um aumento de competição durante seu desenvolvimento econômico por recursos hídricos com outros setores (Beddington, 2010), como, por exemplo, o energético. Em 2006, 83% da energia no País foi gerada por hidrelétricas e Lucena *et al.* (2009) demonstraram que esse tipo de produção energética, assim como a eólica e a de biodiesel, deverão ser particularmente vulneráveis às mudanças climáticas.

De acordo com o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), aproximadamente 83% dos recursos hídricos brasileiros estão concentrados em bacias hidrográficas de menor densidade demográfica – em particular no bioma Amazônia (MMA, 2006a), que detém 74% dos recursos hídricos superficiais e é habitado por menos de 5% da população brasileira, segundo Marengo (2008). A resultante é que as áreas mais densamente urbanizadas contêm 54% da população brasileira e, apenas 12% dos recursos hídricos. Além disso, problemas têm sido detectados na estratégia de conservação de rios pertencentes a bacias que atendem a grandes cidades (Moulton *et al.*, 2007).

Existem evidências do declínio da biodiversidade nos ecossistemas aquáticos continentais brasileiros, problema atribuído a miúde a poluição e eutrofização, assoreamento, construção de represas e controle do regime de cheias, pesca e introduções de espécies – especialmente nas regiões mais populosas do País (Agostinho *et al.*, 2005). Dentre os componentes da biodiversidade aquática, os peixes são os organismos mais bem conhecidos (Abell *et al.*, 2008) e o Brasil possui a mais rica ictiofauna do planeta (Nogueira *et al.*, 2010). Por exemplo, as 540 pequenas microbacias brasileiras abrigam 819 espécies de peixes de distribuição restrita. Entretanto, 29% dessas áreas biogeográficas perderam mais que 70% de sua cobertura vegetal original e, apenas 26% delas, possuem sobreposição significativa com áreas protegidas ou terras indígenas. Além disso, outros 40% possuem sobreposição com hidrelétricas ou apresentam poucas áreas protegidas e grande taxa de perda de habitat (Nogueira *et al.*, 2010).

### 4.2.4 ECOSSISTEMAS TERRESTRES

A perda de *habitat* e sua fragmentação são duas das principais ameaças às espécies e aos ecossistemas terrestres brasileiros (UNFCCC, 2007). Espécies tropicais são mais numerosas, tendem a ter maiores taxas de endemismo e são mais restritas em distribuição do que aquelas de regiões temperadas – e, portanto, estão mais sujeitas a extinção. Há, aproximadamente, uma ordem de magnitude a mais de espécies ameaçadas de anfíbios e sete adicionais de aves e mamíferos nos *hotspots* tropicais de que naqueles não tropicais (Brook *et al.*, 2008).

Por exemplo, o Brasil possui 15% de todas as espécies de plantas terrestres do planeta e 6% das suas espécies – ou 2.291 – da flora terrestre são raras, ocorrendo em área de até 10.000 km<sup>2</sup> – e, portanto, estão virtualmente sob o risco de extinção (Giulietti *et al.*, 2009). Além disso, mudanças no uso de terra terão reduzido em 12 a 24% a disponibilidade de habitat para as espécies de plantas amazônicas, o que resulta em ameaça de extinção para 5 a 9% delas (Feeley e Silman, 2009).

Previsões do efeito de mudanças climáticas sobre a extinção de espécies projetam valores globais de 15% a 37% de perdas até 2050, incluindo os biomas Amazônia e Cerrado em diferentes cená

rios (Thomas *et al.*, 2004). A perda de espécies e o declínio de populações previstos estão relacionados às projeções de mudanças de temperatura e pluviosidade. Por exemplo, Marengo *et al.* (2011) preveem até 2100, aquecimento do ar de 4 a 6% para a porção continental da América do Sul, redução nas chuvas e seca decorrente para a banda oriental da Bacia Hidrográfica do Rios Amazonas e para a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Exemplos do efeito dessas mudanças climáticas sobre grupos taxonômicos específicos dão conta de que, no Cerrado, para cada 26 espécies de aves endêmicas se projeta uma retração de até 80% na distribuição geográfica e um deslocamento médio de 200 km no sentido do Sudeste (Marini *et al.*, 2009). Já no bioma Mata Atlântica, prevê-se a extinção local de até 20% das 49 espécies de píprídeos analisadas (Anciães e Peterson, 2006). Resultados semelhantes também foram obtidos com a modelagem da distribuição potencial de 162 espécies de plantas vasculares do Cerrado, indicando extinções e deslocamento para Sudeste e Sul das regiões estudadas (Siqueira e Peterson, 2003).

Os biomas Mata Atlântica e Cerrado são marcadamente sensíveis, a se julgar pelo fato que, das 627 espécies que constam da lista oficial da fauna brasileira ameaçada de extinção (MMA, 2003), estima-se que mais de 72% estejam concentradas em apenas esses dois *hotspots* (Paglia *et al.*, 2008). Tal padrão trará impactos negativos sobre populações humanas pobres nesses biomas. Por exemplo, Nabout *et al.* (2011) geraram modelos de cenários climáticos para 2080 que indicam grandes perdas de ambientes apropriados para o pequi – *Caryocar brasiliense* Camb. Caryocaraceae –, planta nativa importante para a economia de municípios pobres da região.

As novas regiões indicadas pelos modelos de distribuição potencial dos diversos grupos analisados sob o cenário de alteração climática futura são aquelas que, na atualidade, apresentam as piores situações de fragmentação e de cobertura vegetal remanescente. Regiões como o centro e o Norte de São Paulo, o Sul e o Oeste de Minas Gerais ou, ainda, o Oeste do Paraná são locais onde a ocupação humana é antiga. A cobertura nativa remanescente chega a menos de 10% da área original de cerrado em São Paulo (MMA, 2009). A mata atlântica encontra-se reduzida a menos de 12% da cobertura original em estados como os de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro ou Paraná (SOS Mata Atlântica e INPE, 2010). Além disso, conforme já mencionado, somente 2,2% do bioma Cerrado estão protegidos por unidades de conservação de proteção integral (Klink e Machado, 2005), sendo que as áreas mais expressivas estão localizadas na porção norte do domínio. No bioma Mata Atlântica, por sua vez, as áreas protegidas existentes representam menos de 2% da área original (Tabarelli *et al.*, 2005). Áreas protegidas em altitudes elevadas, insulares e costeiras e aquelas com limites abruptos com terras de uso antrópico também são particularmente vulneráveis (Muehe, 2010; Laurence *et al.*, 2011).

Se por um lado o estado de conservação de alguns grupos pode se agravar no futuro, por outro, são igualmente preocupantes as perspectivas de mudanças na ocorrência geográfica de espécies transmissoras de doenças em decorrência das alterações climáticas. Peterson e Shaw (2003) sugeriram que os vetores da leishmaniose podem ampliar sua distribuição para regiões onde normalmente não existiam e que, portanto, novos casos da moléstia podem ocorrer.

Atividades ligadas ao desenvolvimento e à produção de matéria-prima e bens de consumo – agricultura, energia, infraestrutura, óleo, gás e minério – são frequentemente associadas à perda de recursos naturais no País (Neistein *et al.*, 2004). Contudo, em extensa revisão sobre os fatores causais de processos de extinção de espécies, Brook *et al.* (2008) demonstraram que distintos fatores atuam em sinergia com as espécies e que, portanto, não é recomendável o tratamento individual dos mesmos. Os autores concluíram que ações como aquelas voltadas para a preservação de habitat, a restauração de áreas degradadas, a manutenção ou criação de conectividade, bem como medidas para se evitar a *sobreexploração*, reduzir o risco de queimas e conter a emissão de carbono, dentre outras, devem ser planejadas de maneira integrada.

## 4.2.5 ADAPTAÇÃO

O conceito de adaptação é definido como ajustes em sistemas humanos ou naturais, incluindo estruturas, processos e práticas (IPCC, 2007a). Há um reconhecimento na literatura científica de que o desenvolvimento em adaptação, nas duas últimas décadas, progrediu pouco em comparação com a mitigação de emissões (Heller e Zavaleta 2009). Neste tópico, revisaremos algumas iniciativas em curso no Brasil.

## 4.2.6 ADAPTAÇÃO BASEADA EM ECOSISTEMAS

O papel dos serviços ambientais na adaptação às mudanças climáticas ainda é um tema relativamente novo na arena científica e política que demanda diálogo e acordo entre distintos atores da academia, da sociedade civil e dos setores privado e público. Esquemas como o de pagamento de serviços ambientais (PSA), de Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) e de manejo comunitário<sup>2</sup> são exemplos da chamada adaptação baseada em ecossistemas, que começa a se difundir na América Latina (Vignola *et al.*, 2009).

Por trás desses esquemas está o princípio da valoração de ecossistemas e seus serviços, cuja lógica é a de se maximizar os benefícios que as sociedades obtêm de sua interação com os ecossistemas, alocando eficientemente recursos naturais escassos para usos potencialmente benéficos, porém competidores. Contudo, as premissas inerentes às valorações econômicas podem não ser apropriadas quando aplicadas a serviços ambientais. Por exemplo, Abson e Termansen (2010) argumentaram que a valoração de ecossistemas deva refletir, não só os benefícios econômicos e culturais decorrentes da interação entre o homem e o ecossistema, mas também a capacidade destes últimos de assegurarem o fluxo de tais benefícios no futuro.

Os esquemas de PSA já apresentam exemplos bem sucedidos no continente, normalmente envolvendo a remuneração de serviços ligados à regulação de fluxo hídrico, a estocagem de carbono, a provisão de *habitat* para a biodiversidade e a beleza cênica (DeKoning *et al.*, 2011; Montagnini e Finney, 2011). O Programa Bolsa Floresta, em funcionamento no Estado do Amazonas desde 2007, é um exemplo brasileiro em que populações indígenas e tradicionais recebem compensação financeira e assistência de saúde, em troca de assumirem o compromisso de desmatamento zero de áreas de florestas primárias. Um ano depois de ter sido lançado, cerca de 2.700 famílias já eram beneficiadas (Viana, 2008).

O manejo comunitário de áreas naturais também é uma eficiente ferramenta para a adaptação às mudanças climáticas e conservação da biodiversidade. Porter-Bolland *et al.* (2012), ao comparar áreas protegidas com aquelas manejo comunitário em diversas partes do mundo tropical, inclusive no Brasil, constataram que as primeiras possuem maior taxa de desmatamento do que as últimas.

Na mesma linha, Nelson e Chomitz (2011) encontraram para a América Latina e incluindo os dados brasileiros que:

- (i) áreas protegidas de uso restrito reduziram substancialmente o fogo, mas aquelas de uso múltiplo foram ainda mais efetivas, e que,
- (ii) em áreas indígenas, a incidência de fogo florestal foi reduzida em 16 pontos percentuais em comparação com aquelas não protegidas.

Além disso, já surgem no continente, protocolos de pesquisa e monitoramento que remuneram comunidades locais atuando diretamente na coleta de informações científicas em campo (Luzar *et al.*, 2011).

Ainda nesse contexto, está em curso o debate que questiona se a conservação da biodiversidade e os serviços ambientais em paisagens agrícolas serão mais efetivamente alcançados através de

práticas de alta produtividade na agricultura, permitindo a dedicação de áreas mais extensas à conservação, ou se o serão por meio de práticas mais amigáveis à vida selvagem, nas quais as propriedades teriam maior valor enquanto habitat, mas menor produtividade (Green *et al.*, 2005). Schrott *et al.* (2011) estudaram o caso das cabucas baianas – áreas de plantio de cacau à sombra – e propuseram uma combinação dessas estratégias como o mais desejável, a partir de casos de sucesso na:

- (i) expansão do sistema de áreas protegidas;
- (ii) promoção de práticas agrícolas produtivas para o cacau, mas ao mesmo tempo favoráveis à biodiversidade e, ainda,
- (iii) na assistência a proprietários na implementação da legislação ambiental – Código Florestal – e das reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs).

Todavia, a conservação da biodiversidade ainda está em grande parte confinada às áreas protegidas, mas com a magnitude das mudanças climáticas projetadas para o século, espera-se que muitas espécies e tipos vegetacionais percam sua representatividade dentro desses espaços (Heller e Zavaleta, 2009). O Brasil realizou um estudo que indicou as áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (MMA, 2002; 2006b), sendo que os principais remanescentes de vegetação nativa existentes em várias regiões naturais do País foram apontados como importantes para a manutenção de espécies da fauna e da flora. Contudo, o exercício não considerou os cenários climáticos futuros e é bem provável que áreas que não foram identificadas na atualidade como importantes, poderiam ser destacadas nos cenários de mudanças climáticas.

Hannah *et al.* (2002) apontaram algumas ações básicas que compõem a integração das mudanças climáticas com estratégias de conservação – *Climate Change-integrated Conservation Strategies (CCS)* – e que podem ser adotadas por diferentes governos. Tais ações englobam o desenvolvimento de modelagens regionais, a expansão das redes de áreas protegidas, o manejo da matriz da paisagem, a coordenação regional de esforços e a transferência de recursos.

Obviamente, a expansão da rede de áreas protegidas, sejam elas públicas ou privadas, e o manejo da matriz de paisagem representam as ações mais imediatas para se atenuar os potenciais efeitos das mudanças climáticas, em especial nas situações onde se espera uma alteração da distribuição geográfica de espécies e ecossistemas. Dados analisados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) indicam que, para diversos cultivos – soja, arroz, milho e café –, as áreas mais setentrionais no Brasil apresentarão maiores riscos climáticos enquanto que as mais meridionais poderão experimentar condições climáticas mais estáveis. Em outras palavras, as mesmas áreas que serão críticas para a manutenção de espécies e ecossistemas no cenário de mudanças climáticas serão as regiões onde os atuais cultívars poderão ser plantados sem grandes riscos.

#### **4.2.7 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA**

Ações de restauração ecológica aumentam a provisão de biodiversidade e serviços ambientais em 44% e 25%, respectivamente, conforme estimado por Benayas *et al.* (2009), a partir de uma meta-análise de 89 estudos de restauração no globo, incluindo a América do Sul. Além disso, tais ações aumentam o potencial de sequestro de carbono e promovem organização comunitária, atividades econômicas e melhoria de vida em áreas rurais (Chazdon, 2008), como é exemplificado por casos ocorridos na Mata Atlântica (Rodrigues *et al.*, 2011; Calmon *et al.*, 2011).

O bioma Mata Atlântica concentra hoje, os principais esforços em restauração florestal no País, mas ainda encontra dificuldades para fazê-lo a baixo custo, planejar em escala de paisagem e se ade-

---

<sup>2</sup> Embora iniciativas como REDD+ e manejo comunitário, por vezes, sejam tratadas como mitigação, neste capítulo são consideradas como adaptação por serem iniciativas que, não só protegem a biodiversidade e os serviços ambientais associados, mas também auxiliam na redução de pobreza.



quar a circunstâncias sociopolíticas localmente (Rodrigues *et al.*, 2009). Uma dessas dificuldades diz respeito a até que ponto a ciência pode embasar uma legislação sobre restauração florestal.

Aronson *et al.* (2011) discutiram o exemplo da legislação do Estado de São Paulo (SMA 08-2008), que estabelece números mínimos de espécies arbóreas nativas e a proporção de tipos funcionais e espécies ameaçadas a serem alcançados dentro de um determinado período de tempo em projetos de restauração. Enquanto para alguns cientistas, essa legislação é apropriada, para outros, não há um caminho único para a efetividade de um projeto de restauração e a ciência disponível ainda é insuficiente para se estabelecer normas técnicas ou metodológicas.

Apesar da importância da restauração ecológica como estratégia de adaptação, Jackson *et al.* (2005) alertaram para o risco de plantações florestais virem a ter efeito negativo sobre o balanço hídrico de solos, inclusive nos pampas da América do Sul. Resta ver, até que ponto tal risco seria detectável também para esforços de restauração com espécies nativas no Brasil. Além disso, autores chamam a atenção para o fato de que práticas de restauração aplicáveis a algumas áreas podem não ser adequadas para outras. Por exemplo, enquanto a fertilização pode facilitar o estabelecimento de mudas em ambientes pobres em nutrientes (Zamith e Scarano, 2006), essa prática pode aumentar o risco de *eutrofização* de lagos e rios se aplicada em ambientes sujeitos à inundação (Dias *et al.*, 2011).

#### 4.2.8 BIOCOMBUSTÍVEIS

Biocombustíveis são promissoras fontes renováveis de energia e o Brasil tem grande destaque internacional na produção de bioenergia. Em 2006, a matriz energética brasileira já se consistia em 29,7% de energia gerada a partir de biomassa contra 38,4% de combustíveis fósseis (Nass *et al.*, 2007). Todavia, os biocombustíveis apresentam problemas potenciais ligados à emissão líquida positiva de gases de efeito estufa (GEEs), ameaças à biodiversidade, aumento nos preços dos alimentos e competição por recursos hídricos, os quais podem ser revertidos ou atenuados (Koh e Ghazoul, 2008).

Lapola *et al.* (2010) demonstraram que mudanças diretas no uso de terra para plantio de fontes de biocombustível – por exemplo, em substituição à pecuária – teriam pequeno impacto na emissão de carbono, enquanto que, mudanças indiretas – como a  $\neg$ plantação de biocombustível substituindo pecuária, que é empurrada em direção à floresta – poderiam emitir o carbono compensado pelo biocombustível. Esse mesmo estudo apontou que o etanol da cana-de-açúcar e o biodiesel derivado de soja cada um deles contribui para cerca da metade do desmatamento indireto projetado para 2020 – uma extensão de 121.970 km<sup>2</sup> –, criando um débito de carbono que levaria cerca de 250 anos para ser ressarcido pelos biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis. Essa questão é amplamente discutida no Brasil e outros estudos mostram que a substituição de pastos degradados por cana de açúcar nas regiões centro-oeste, sudeste e sul, minimizam as emissões e está cada vez mais evidente que o aumento da produtividade da pecuária na Amazônia é inversamente proporcional ao desmatamento.

Assim, uma eventual expansão da área plantada de cana-de-açúcar, por exemplo, teria impacto ainda mais severo nos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Essa região é hoje, a segunda maior produtora de açúcar e etanol do País, e uma das porções mais ameaçadas de florestas tropicais do planeta – com apenas 12% restante e ~1% legalmente protegido –, onde a maior parte dos fragmentos florestais é menor do que 100 ha e várias espécies endêmicas estão na iminência de extinção (Bernard *et al.*, 2011).

Iniciativas como a moratória da soja na Amazônia Legal exercem um efeito inibitório sobre taxas de desmatamento. Rudorff *et al.* (2011) demonstraram que, de 2008 a 2010, a soja foi plantada apenas em 0,25% da área desmatada, o que representa 0,027% da extensão ocupada por essa

cultura no Brasil. A maior proporção de soja plantada em área de desmatamento após a chamada declaração da moratória da soja foi no Estado do Pará – 2,52% – e a menor em Rondônia – 0,03%. Lapola *et al.* (2010) demonstraram também, que o óleo de palma – dendê – causaria menos mudanças no uso de terra e menor débito de carbono associado do que outras culturas para biocombustível.

#### 4.2.9 LACUNAS DE DADOS E PESQUISAS

Embora o Brasil conte com sólidas bases de dados acerca de clima – <http://www.inpe.br> – e de socioeconomia – <http://www.ibge.gov.br> –, ao País ainda faltam outras, abrangentes e acessíveis, sobre biodiversidade e serviços ambientais, apesar de algumas boas iniciativas recentes – <http://sinbiota.biota.org.br>; <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Essa lacuna de dados sistematizados, em parte, explica a dificuldade para se integrar clima, natureza e Homem em análises e construções de modelos. As relações entre a biodiversidade, os serviços ambientais e o bem-estar humano são aparentes nesse relato, mas evidências empíricas para o Brasil ainda são pouco disponíveis. Esse tipo de pesquisa tem caráter claramente interdisciplinar e vem sendo chamada de ciência da sustentabilidade (Bettencour e Kaur, 2011).

Outra lacuna óbvia diz respeito à valoração de serviços ambientais, etapa essencial para muitas das ações de adaptação baseadas em ecossistemas. O Brasil possui *expertise* sobre o tema (Motta, 2006), mas essa linha de pesquisa tem demanda grande a ser atendida. Existem diversas ferramentas disponíveis (TEEB, 2010), aguardando por uma aplicação mais sistemática no País.

Uma terceira lacuna de pesquisa importante diz respeito à adaptação de espécies e assembleias às mudanças climáticas. Um avanço, aqui, dependerá de integração entre genética da adaptação ao clima e dinâmica de populações. Lavergne *et al.* (2010) admitiram essa, como sendo uma lacuna global e fortemente relacionada à separação histórica entre ecologia e evolução, que hoje impede o avanço na compreensão das consequências das mudanças climáticas para espécies e assembleias.

#### 4.2.10 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Os principais impactos aos quais os sistemas naturais terrestres e aquáticos continentais brasileiros estão sujeitos incluem:

- a) desmatamento, fragmentação e impacto sobre recursos hídricos a partir de mudanças no uso da terra; e
- b) impacto sobre a qualidade de recursos hídricos e sobre o solo por poluição derivada de ação antrópica.

Esses dois tipos de impacto, por sua vez, têm efeito direto sobre o clima. Impactos projetados até 2100, decorrentes de mudanças climáticas, incluem redução de chuvas e aumento de temperatura em boa parte do território brasileiro, implicando extinção ou mudanças da distribuição geográfica de espécies.

Todos os biomas brasileiros apresentam pontos de vulnerabilidade:

- a) o Mata Atlântica, por sua pequena e fragmentada cobertura florestal remanescente;
- b) o Cerrado, por sua pequena cobertura de áreas protegidas frente à expansão agrícola;
- c) o Caatinga, pela degradação ambiental acelerada que em alguns pontos já leva à desertificação;
- d) o Pantanal, por vulnerável a mudanças no seu regime de inundações, principalmente diante dos cenários de seca projetados;
- e) o Pampa, pelas profundas mudanças no uso de terra combinadas com susceptibilidade a espécies invasoras; e, finalmente,

f) o Amazônia, pela demanda de expansão de sua infraestrutura que não pode correr o risco de ocorrer desordenada.

Em todos esses biomas, as mudanças também tornam a sociedade vulnerável, em seus componentes como os de economia e saúde.

Por tudo isso, o País precisa avançar na construção e na implementação de estratégias de adaptação às mudanças em curso. Este Relatório aponta para algumas iniciativas de sucesso já existentes que, entretanto, precisam ganhar escala. Isso necessitará ter como base uma ciência mais interdisciplinar e melhor sucedida ao se comunicar com a tomada de decisão pelos setores público e privado (Scarano e Martinelli, 2010).

### 4.3. SISTEMA DE COSTA E ÁREAS COSTEIRAS BAIXAS

#### 4.3.1 INTRODUÇÃO

A resposta das sociedades frente às mudanças nos padrões climáticos constitui-se em um dos principais desafios enfrentados pela humanidade no século XXI. Seu potencial para causar impactos econômicos e sociais é considerável, com efeito direto na qualidade de vida das populações costeiras. Esse desafio somente poderá ser enfrentado a partir de ações integradas entre os diversos setores da sociedade e fundamentado no conhecimento profundo dos cenários atuais e previstos.

As zonas costeiras, na sua aparente simplicidade paisagística e dinâmica habitual, exigem considerações similares ou até mais complexas do que os espaços interiores, já que envolvem questões relacionadas com as variações do nível do mar, *paleoclimas* e história vegetacional (Ab' Saber, 2000).

O litoral brasileiro, com 8.698 km de extensão e área aproximada de 514 mil km<sup>2</sup>, constitui-se em um perene desafio à gestão em face da diversidade de situações existentes nesse território. São aproximadamente 300 municípios defrontantes com o mar, os quais têm, na faixa de praia, um espaço privilegiado para o desenvolvimento de atividades turísticas, lazer, pesca, entre outras. É nesse cenário dinâmico e de alta mobilidade, tanto física quanto socioeconômica, que residem aproximadamente 20% da população do País, sendo que 16 das 28 regiões metropolitanas encontram-se no litoral. Essas áreas de adensamento populacional convivem com amplas extensões de povoamento disperso e rarefeito. São os *habitats* das comunidades de pescadores artesanais, dos remanescentes de quilombos, de tribos indígenas e de outros agrupamentos imersos em gêneros de vida tradicionais.

Além dos já conhecidos e discutidos problemas ambientais incidentes nessa porção do território, desenha-se, atualmente, uma nova perspectiva frente às questões relativas às mudanças climáticas, principalmente no que tange às suas causas e efeitos. A necessidade de adaptação a essa nova realidade e de atenuação dos problemas por ela causada devem constituir-se em pauta constante dos órgãos públicos tomadores de decisão.

Nesse contexto, torna-se fundamental a compreensão das interações entre oceanos e zonas costeiras com as variáveis relacionadas às mudanças climáticas. Além disso, é vital a construção de uma visão estratégica dessa porção do território, com vistas às medidas de adaptação a novos cenários de aquecimento global, elevação do nível do mar, erosão costeira, entre outros.

É sob essa ótica que o presente capítulo visa avaliar a atual situação da zona costeira brasileira, dando especial enfoque aos recursos naturais e manejados, ecossistemas e seus usos. Para tanto, o conteúdo apresentado será abordado de maneira ecossistêmica, com análises específicas para ambientes de plataformas rasas e praias, manguezais e marismas, estuários e lagoas e lagunas costeiras. Será abordado ainda um estudo sobre vulnerabilidade da zona costeira que engloba

aspectos não apenas de cunho ambiental, mas também social e tecnológico.

### **4.3.2. MANGUEZAL E MARISMAS**

#### **4.3.2.1 PRINCIPAIS FORÇANTES SOBRE O ECOSISTEMA MANGUEZAL**

Manguezais são ecossistemas florestais costeiros de influência marinha, localizados na zona entremarés de regiões tropicais e subtropicais, sendo, portanto, considerados ecossistemas costeiros marinhos, visto a forte dependência da energia das marés e da intrusão salina. A ocorrência dos manguezais é determinada, em uma escala global, por algumas condições básicas (Walsh, 1974):

- (i) temperatura média do mês mais frio superior a 20 °C e amplitude térmica anual inferior a 5 °C;
- (ii) presença de ambientes costeiros abrigados e;
- (iii) presença de água salgada.

No Brasil os manguezais ocorrem desde o extremo Norte, no Rio Oiapoque, 04° 20' N, até Laguna, no Estado de Santa Catarina, 28° 30' S. Dada essa ampla distribuição latitudinal, esse ecossistema está submetido a diferentes combinações de intensidades das forças que controlam sua estrutura, funcionamento e dinâmica.

Na Tabela 4.4 apresenta-se uma breve comparação entre as divisões da costa brasileira propostas por diversos autores. São mostradas ainda, para cada um dos segmentos da costa brasileira, as principais forças que controlam tanto a ocorrência de florestas de mangue, como o desenvolvimento estrutural dessas florestas. Já a Tabela 4.5 diferencia algumas das principais características entre marismas e manguezais.

**Tabela 4.4.** Divisão da costa brasileira e forçantes associadas à ocorrência e desenvolvimento de florestas de mangue, segundo classificações propostas por Schaeffer-Novelli et al. (1990) e Muehe (2010).

Divisão da costa brasileira		Forçantes associadas à ocorrência e desenvolvimento das florestas de mangue
Schaeffer-Novelli et al. (1990)	Muehe (2010)	
Costa do Amapá	Costa norte dominada por marés e manguezais	Regime de macromarés, clima úmido com excedente hídrico anual, forte aporte sedimentar e de água doce de origem continental, com destaque para o Rio Amazonas
Golfo do Rio Amazonas		
Reentrâncias maranhenses		
Costa leste do Maranhão ao Cabo Calcanhar (RN)	Costa nordeste com déficit sedimentar	Domínio de falésias com planícies costeiras pouco desenvolvidas e áreas abrigadas restritas a desembocadura de rios e estuários, clima com déficit hídrico anual mais acentuado na porção norte
Costa nordeste do Cabo Calcanhar ao Recôncavo Baiano		
Recôncavo Baiano a Cabo Frio	Costa dominada por falésias e deltas dominados por ondas	Regime de micromarés, precipitação e evapotranspiração similares numa base anual, com déficit hídrico em alguns trechos, presença mais acentuada de falésias na porção norte, alternância no domínio de processos climático-oceanográficos tropical e subtropical
Cabo Frio a Torres	Costa com lagoas associadas a cordões arenosos duplos	Regime de micromarés, clima úmido com excedente hídrico anual, domínio da Serra do Mar, com limitação de áreas abrigadas em alguns trechos, as quais ocorrem associadas a sistemas lagunares/planícies costeiras em trechos onde a Serra do Mar se afasta da linha de costa e as desembocaduras de rios
	Costa Sudeste dominada por costões rochosos	
Costa do Rio Grande do Sul	Costa arenosa do Rio Grande do Sul com domínio de cordões arenosos múltiplos	Não ocorrência de manguezais por limitação climática

Fonte: adaptado pelos autores

**Tabela 4.5.** Algumas características dos manguezais e das marismas.

	<b>Marismas</b>	<b>Manguezais</b>
Ocorrência	Predominam na zona entremarés das regiões temperadas, geralmente em áreas abrigadas ou semiabrigadas e em ambientes de deposição de sedimentos; nos locais em que coexistem com os manguezais, ocupam as porções mais baixas e podem colonizar clareiras resultantes de perturbações naturais e antropogênicas.	Predominam na zona entremarés das regiões tropicais e subtropicais, geralmente em áreas abrigadas ou semiabrigadas e em ambientes de deposição de sedimentos
Distribuição	Todo o litoral brasileiro, mas restritas a faixas estreitas e com baixa diversidade nos locais em que coexistem com os manguezais.	Limite sul de ocorrência em Laguna, Santa Catarina.
Produtividade primária.	Alta	Alta
Diversidade florística.	Baixa	Baixa
Importância para a fauna estuarina.	Importantes como local de refúgio e alimentação para juvenis de vertebrados e invertebrados marinhos e estuarinos.	Importantes como local de refúgio e alimentação para juvenis de vertebrados e invertebrados marinhos e estuarinos.
Tipos de plantas que dominam.	Plantas vasculares herbáceas halófitas.	Plantas vasculares lenhosas halófitas.
Biomassa vegetal.*	Maior na porção subterrânea – raízes e rizomas.	Maior na porção aérea – troncos, galhos, folhas.
Taxa de cobertura do solo pelas plantas e de insolação.	Maior cobertura do solo e maior insolação.	Menor cobertura do solo e menor insolação.
Produção de detritos.**	Maior no inverno.	Maior no verão.
Fauna bêntica.	Maior densidade e riqueza de espécies.	Menor densidade e riqueza de espécies.
Estratégias reprodutivas.	Principalmente reprodução vegetativa.	Árvores são vivíparas e a dispersão dos propágulos é feita pela água.

\* A informação apresentada para os manguezais baseia-se em poucos estudos disponíveis sobre a biomassa subterrânea e não pode ser considerada como padrão geral do ecossistema.

\*\* Evidências de estudos na Baía de Paranaguá, litoral do Paraná, revisados por Lana (2003).

**Fonte:** adaptado pelos autores

#### 4.3.2.2 OCORRÊNCIA, COMPOSIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE MARISMAS AO LONGO DO LITORAL BRASILEIRO

As marismas estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo e fornecem uma série de serviços ambientais para as sociedades humanas. No entanto, os usos diversos e a alta concentração de população e atividades humanas na costa têm resultado em constantes manipulações desse ecossistema, com consequentes alterações na estrutura, funções e distribuição das marismas (Gedan *et al.*, 2009).

Apesar do registro de diversas espécies nas marismas do Brasil, na maior parte do litoral o padrão de ocorrência desse ecossistema é na forma de bancos monoespecíficos de gramíneas do gênero *Spartina* ocupando as partes mais baixas da região entremarés, em frente aos manguezais. Nessas áreas, as marismas podem ser vistas como formações pioneiras que tendem a ser substituídas pelos manguezais, sendo sua expansão aparentemente limitada pela atenuação da luz pela copa das árvores de mangue (Lana *et al.*, 1991; Costa e Davy, 1992; Lana, 2003; Braga *et al.*, 2011). Pode-se considerar que, além dessa competição com as árvores de mangue, as forças que controlam a ocorrência e desenvolvimento das marismas na maior parte do litoral brasileiro são as mesmas descritas para os manguezais, conforme a Tabela 4.5.

Nessas regiões de coexistência entre marismas e manguezais, não há estimativas sobre a área total ocupada pelas marismas, principalmente pela dificuldade de mapeá-las usando técnicas tradicionais de detecção remota, já que, por formarem faixas estreitas e bastante próximas aos manguezais, é difícil separá-las visual ou analiticamente desses, ou mesmo dos baixios não vegetados adjacentes (Lana, 2003).

As marismas convivem com os manguezais, sendo competitivamente limitadas por eles, até a região de Laguna, em Santa Catarina, limite austral de distribuição das espécies de mangue no Brasil (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990). Nas lagoas costeiras da região de Laguna, as marismas ainda ocorrem predominantemente como bancos monoespecíficos de *Spartina alterniflora*, havendo indícios de que sofrem competição com os taboais na sua distribuição ao longo do estuário e das lagoas (Valgas, 2009).

É no estuário da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul, que as marismas passam a ser mais desenvolvidas, mais extensas e mais diversas, ocupando uma área total de aproximadamente 70 km<sup>2</sup> e podendo ser divididas em 25 unidades espacialmente distintas, separadas por características de sua cobertura vegetal ou por discontinuidades físicas na sua ocorrência (Costa *et al.*, 1997).

Nessa região predominam estudos voltados para a composição de espécies, produtividade primária e distribuição espacial de diferentes associações de plantas (Costa, 1998a; Isacch *et al.*, 2006; Seeliger *et al.*, 1998; Cunha *et al.*, 2005; Peixoto e Costa, 2004), além de estudos sobre usos dos recursos e impactos das atividades humanas sobre as marismas (Seeliger e Costa, 1998; Costa e Marangoni, 2000; Marangoni e Costa, 2009b; 2010), os quais estão marcadamente ausentes das demais regiões, com raras exceções, como a descrição feita por Miranda (2004) da exploração de sururu nas marismas do Complexo Estuarino de Paranaguá, ou a avaliação dos efeitos de um deramamento experimental sobre a vegetação das marismas, também realizado no litoral do Paraná (Wolinski *et al.*, 2011).

Além da diversidade de espécies, da extensão e da complexidade estrutural, outro fator importante separa as marismas da Lagoa dos Patos e as de Laguna – apesar dessas não terem a diversidade de espécies ou a complexidade estrutural daquelas – das demais marismas do litoral brasileiro: elas são classificadas como irregularmente alagadas, pois se localizam no estuário de uma lagoa estrangulada e estão sujeitas a um regime de micromarés, com grande variabilidade sazonal e anual nos índices pluviométricos, situação em que a salinidade e o tempo de inundação são bastante variáveis e dependem principalmente do aporte de água doce e da direção dos ventos (Costa, 1998b; Costa *et al.*, 2003).

As demais marismas brasileiras estão, em geral, sujeitas a inundações periódicas e regulares, sob a influência preponderante de regimes de meso e macromarés, ainda que variações no aporte de água doce também tenham influência sobre a salinidade e o tempo de inundação (Lana, 2003).

#### **4.3.2.3 POTENCIAIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O ECOSISTEMA MANGUEZAL**

Considerando-se as forçantes determinantes para a ocorrência dos manguezais, bem como o modelo de assinatura energética, que controla o desenvolvimento estrutural das florestas de mangue, podemos identificar alguns aspectos das mudanças climáticas que podem afetar direta ou indiretamente o ecossistema manguezal.

Alongi (2008) e Gilman *et al.* (2008) destacam como principais alterações com potencial impacto sobre o ecossistema manguezal as de temperatura, no regime de chuvas, as de concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, na incidência de eventos extremos – marés extremas e tempestades – e as dos padrões de circulação oceânica.

Dentre esses efeitos, a elevação do nível médio do mar é considerada a de maior impacto potencial sobre os manguezais (Gilman *et al.*, 2008), pois implica em alterações na zona entremarés, na frequência de inundação e na dinâmica sedimentar.

Em estudo recente, Soares (2009) analisou as respostas dos manguezais a variações ocorridas no passado, sobretudo no Quaternário, descritas em estudos realizados em diversos manguezais do mundo. Nessa análise, esse autor considerou aspectos relacionados à morfodinâmica dos sistemas onde os manguezais ocorrem e às exigências fisiológicas das espécies de mangue, além de características-chave das regiões de ocorrência das florestas de mangue – regime de marés, dinâmicas, costeira e sedimentar, e geomorfologia costeira, por exemplo. Com base nesses dados, Soares (2009) propôs um modelo conceitual para analisar a resposta dos manguezais à elevação do nível médio do mar. Segundo esse modelo, conforme Figura 4.9, o comportamento dos manguezais dependerá de fatores primários locais, tais como:

- (i) topografia;
- (ii) fonte de sedimento;
- (iii) taxa de aporte de sedimento;
- (iv) hidrologia e área da bacia de drenagem;
- (v) amplitude de marés;
- (vi) dinâmica costeira;
- (vii) taxa de elevação do terreno;
- (viii) taxa de elevação do nível médio do mar.

Esses fatores determinarão, basicamente, o balanço entre elevação do nível do mar e sua compensação através de processos de deposição de sedimentos, bem como a existência de áreas planas para uma possível acomodação ou retração dos manguezais, caso haja uma elevação do nível médio relativo do mar. Esse processo de acomodação ou retração dependerá ainda da competição com comunidades não halófitas existentes na planície costeira e da compatibilidade da taxa de elevação do nível médio relativo do mar com o ciclo de vida das espécies de mangue. Como resultado, podemos identificar três possíveis comportamentos das florestas de mangue:

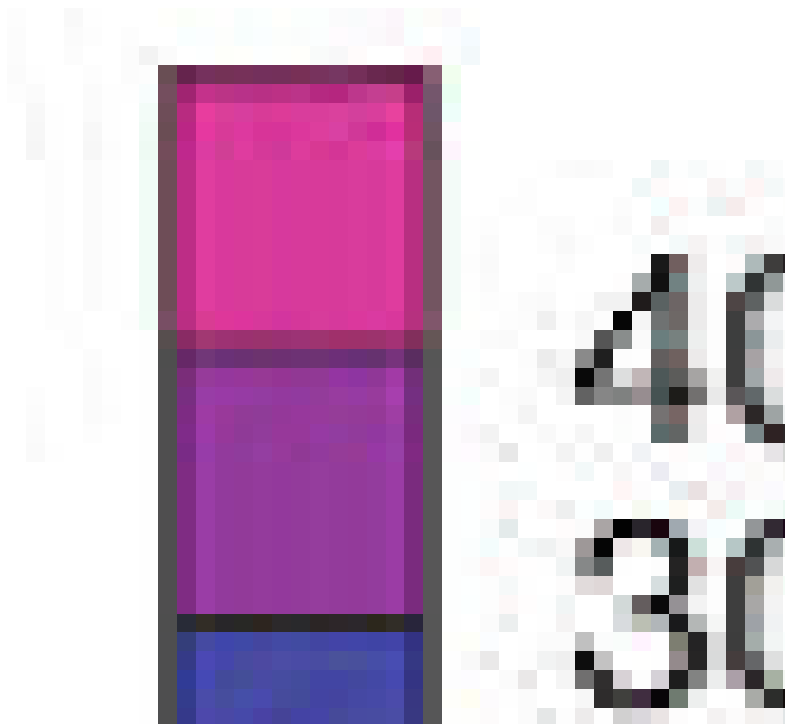
- (a) erosão;
- (b) retração e
- (c) resistência.

Por sua vez, eles determinarão três modos de ocorrência dos manguezais:

- (a) manutenção;
- (b) exclusão; e,
- (c) ocorrência em refúgios.



Figura 4.9. Modelo conceitual de resposta de manguezais à elevação do nível médio do mar.



Fonte: Soares (2009)

No que se refere ao Brasil, apenas duas regiões possuem informações reais que relacionem alterações no ecossistema manguezal com uma possível elevação do nível médio do mar e referem-se a manguezais nos estados do Rio de Janeiro e no Pará. Todavia, encontramos ainda alguns estudos relativos a manguezais do Nordeste do Brasil, que apontam a possibilidade de alterações em áreas de manguezal associadas à elevação do nível médio do mar.

No Rio de Janeiro, os manguezais, localizados na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba, à Baía de Sepetiba, são alvo de um programa de monitoramento permanente mantido pelo Núcleo de Estudos em Manguezais (NEMA/UERJ) desde 1996, permitindo a construção de uma série de dados singular. Os resultados desse monitoramento possibilitaram a identificação do processo de colonização da planície hipersalina, adjacente à floresta de mangue, por espécies de mangue (Soares *et al.*, 2005). Com base na observação desse processo, esses autores reavaliaram os padrões de distribuição das espécies de mangue, que haviam sido definidos como reflexo de um padrão estático de zonação das mesmas, segundo um gradiente de frequência de inundação pelas marés. Nessa nova abordagem foi possível identificar um processo dinâmico de sucessão ecológica, no qual o manguezal estaria migrando em direção ao continente e ocupando – colonizando – áreas anteriormente ocupadas pelas planícies hipersalinas. Após diversas análises foi possível constatar que esse processo estaria sendo induzido pela elevação do nível médio do mar (Soares *et al.*, 2005).

Para tanto, vários possíveis agentes de indução de alterações foram descartados. Um dos pontos para esse entendimento foi a compreensão de que, apesar da planície hipersalina estar localizada na região entremarés, a mesma possui características físico-químicas impróprias ao desenvolvi-

mento de espécies de mangue. Portanto, a colonização dessa região por vegetais de mangue é um forte indício de alteração dessas condições. O principal agente para a mudança das características físico-químicas dos substratos dessa região seria uma alteração na frequência de inundação pelas marés.

Apesar da região de Guaratiba, no Rio de Janeiro, ser a única área de manguezais do litoral brasileiro com um monitoramento permanente de longo prazo, visando à análise da resposta desse ecossistema a processos relacionados às mudanças climáticas, outros estudos pontuais são relevantes e apontam análises em outras regiões. Para a Região Norte do Brasil, Lara *et al.* (2002) e Cohen e Lara (2003) identificaram, através da análise de série de 25 anos de imagens de radar e de satélites, processos de retração e expansão de manguezais no Pará. Cohen e Lara (2003) atribuíram esse comportamento principalmente à resposta a processos geomorfológicos. Todavia, em algumas regiões, os manguezais se expandiram em direção ao continente, sobre planícies colonizadas por vegetação herbácea – planície hipersalina – de forma contínua, que pode ser uma resposta não a processos geomorfológicos cíclicos, mas a uma tendência de longo prazo, como por exemplo, elevação do nível médio do mar, conforme hipótese levantada pelos autores e sustentada pelo modelo apresentado por Soares (2009).

Segundo Lara *et al.* (2002), no período analisado – 1972 a 1997 – houve uma redução na área ocupada por manguezais na região estudada – península de Bragança, Pará –, todavia, na parte central da península, foi observada uma expansão da floresta de mangue sobre áreas topograficamente mais elevadas, anteriormente ocupadas por vegetação herbácea, que foi progressivamente invadida por *Avicennia germinans*. Esses autores ainda relatam que o limite atual – na época em que a análise foi realizada – entre a vegetação herbácea e a floresta de mangue, possui uma frequência de inundação de cerca de 40 dias/ano, apresentando indivíduos de *Avicennia germinans* com altura entre um e cinco metros. Já a região correspondente ao limite anterior – de 1972 – entre a vegetação herbácea e a floresta de mangue possui atualmente uma frequência de inundação de cerca de 60 dias/ano, com indivíduos de *Avicennia germinans* com altura entre oito e dez metros.

Lacerda *et al.* (2007) estimaram as alterações na descarga do Rio Pacoti, no Estado do Ceará, e destacam a expansão de área de manguezal devido a essas alterações e processos, sobretudo ao abandono de antigas salinas e construção de barragens para abastecimento humano e irrigação.

Todavia, a análise desses dados permite algumas reflexões adicionais. Além da identificação da expansão de áreas de manguezal sobre antigas salinas e sobre bancos lamosos às margens do rio e em novas ilhas formadas, que indicam alterações associadas aos processos anteriormente descritos, observa-se uma significativa expansão das florestas de mangue sobre áreas mais elevadas, ocupadas originalmente por vegetação herbácea de marismas. Isso pode sugerir um aumento da influência salina em direção a essas áreas elevadas, como acontece no modelo de Soares (2009), em resposta a uma suposta elevação do nível médio do mar.

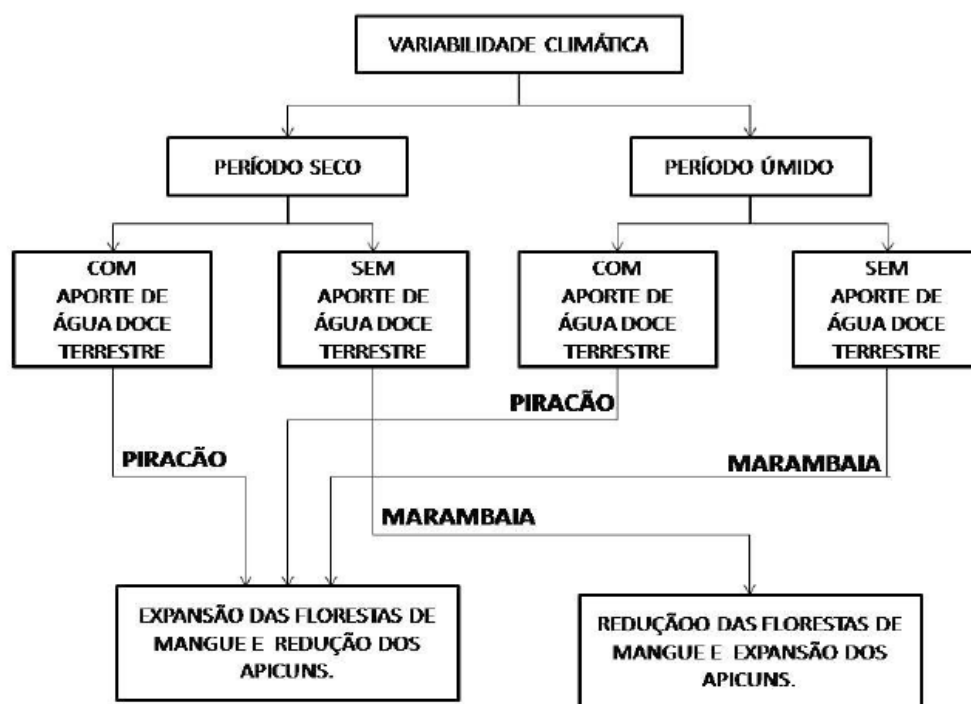
Essa observação pode indicar que o processo descrito para o Sudeste do Brasil, nos estudos de Soares *et al.* (2005) no Estado do Rio de Janeiro e o Norte, nos estudos de Lara *et al.* (2002) e Cohen e Lara (2003) no Estado do Pará, também esteja ocorrendo na Região Nordeste. Contudo, estudos e análises mais detalhados são necessários para que se possa discriminar os efeitos de alterações locais, – sobretudo o da redução da vazão de rios sobre o aumento da influência marinha em áreas mais elevadas –, de ciclos climáticos e de fatores relacionados às mudanças climáticas sobre a dinâmica dessas florestas de mangue, posto que apenas no Rio de Janeiro dispõe-se de informações oriundas de um monitoramento sistemático dos manguezais, visando especificamente à análise de processos relacionados às mudanças climáticas.

O comportamento dos manguezais de Guaratiba, anteriormente descrito como sendo regido pela oscilação do nível médio relativo do mar, através de uma análise mais cuidadosa, indica cenários mais complexos e a possibilidade de um controle climático (Soares *et al.*, 2005). Ao analisarem os padrões de desenvolvimento estrutural da floresta madura dessa região, esses autores identificaram patamares na vegetação do manguezal estudado. Essas feições demonstram que o processo de avanço do manguezal sobre a planície hipersalina não ocorre de forma contínua, mas sobre a forma de pulsos. Assim sendo, provavelmente há um controle da sucessão por características que regulam o crescimento da vegetação de mangue.

A hipótese proposta por Soares *et al.* (2005) para a formação dos pulsos no manguezal em questão está relacionada à variabilidade nos parâmetros meteorológicos. Sob esse prisma, haveria uma sobreposição de agentes no controle do processo sucessional. A elevação do nível médio relativo do mar atuaria aumentando a frequência de inundação pelas marés e, por conseguinte, tornando as condições físico-químicas favoráveis ao crescimento e à manutenção das espécies de mangue. Paralelamente, a disponibilidade de água, representada pela precipitação, exerceria papel fundamental nas fases iniciais desse processo, que seriam representadas pela produção de propágulos, recrutamento de propágulos e crescimento e sobrevivência inicial de plântulas e jovens.

Os estudos desenvolvidos em Guaratiba por Almeida (2007, 2010) e Almeida *et al.* (2007) ainda apontam para o papel de sistemas continentais de água doce, os quais funcionam como atenuadores das condições mais rigorosas durante os períodos secos, conforme Figura 4.10. Em outras palavras, em regiões com fonte de água doce de origem continental, tais como rios e brejos, os manguezais se expandem principalmente durante os períodos úmidos, mantendo-se com pouca expansão nos períodos secos. Já em regiões sem aporte de água doce continental, em anos secos pode-se observar uma retração das florestas de mangue devido ao alto estresse hídrico. Essas observações comprovam a importância da análise de toda a paisagem costeira em conjunto, no que se refere aos efeitos da disponibilidade hídrica e da precipitação sobre as florestas de mangue.

**Figura 4.10.** Esquema conceitual do comportamento de florestas de mangue em resposta à variabilidade climática.



Fonte: Almeida (2010).

A análise anteriormente apresentada, no que se refere ao comportamento dos manguezais de Guaratiba, Rio de Janeiro, apesar de tratar de ciclos ou variabilidade climáticos, apresenta extrema relevância para o entendimento da resposta de manguezais sob distintas condições, tais como aquelas oriundas das mudanças climáticas globais.

#### 4.3.2.4 POTENCIAIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE MARISMAS

Os principais impactos das mudanças climáticas sobre as marismas são os mesmos previstos para os manguezais e outras formações estuarinas que ocupam a faixa *entremarés*. Esses impactos devem ser considerados em associação com outras atividades humanas, que já vêm modificando esses ecossistemas, e também devem se modificar em resposta às mudanças climáticas, gerando efeitos variados sobre os ecossistemas costeiros, em processos de contínua retroalimentação, ocorrendo ao longo de diversos níveis das escalas espacial e temporal (Scavia *et al.*, 2002; Day *et al.*, 2008).

As marismas, quando coexistem com os manguezais, geralmente ocupam as áreas de menor elevação da zona *entremarés* e estão sujeitas a taxas de inundação mais elevadas (Lana, 2003), ficando mais propensas a desaparecer, caso sua taxa de acreção vertical relativa seja menor do que a dos ecossistemas que ocupam as áreas mais elevadas.

Portanto, para a maioria das marismas do litoral brasileiro, a opção de migrar em direção ao continente fica dependente do comportamento dos manguezais. E mesmo nas áreas ao sul de Laguna, em Santa Catarina, fora do limite de ocorrência dos manguezais, as marismas podem não conseguir acompanhar a subida do nível do mar se tiverem taxas de acreção menores do que as dos pântanos salobros e de água doce que ocorrem em áreas mais altas ou mais internas do estuário, o que já foi demonstrado para outras regiões (Craft, 2007). Esse problema pode se somar a mudanças na descarga de água doce associada a uma crescente demanda pela população que vive ao longo das bacias de drenagem e por variações decorrentes das mudanças climáticas, como mudanças nos regimes de chuvas.

Assim, as ameaças às marismas, a exemplo dos manguezais, têm origem em duas frentes: por um lado, a ocupação humana da zona costeira extrai recursos de maneira insustentável e limita o espaço disponível para migração desses ecossistemas, além de afetar fatores como o aporte de sedimentos, o volume de água subterrânea e a descarga de nutrientes e poluentes; por outro, as mudanças climáticas globais, principalmente a subida do nível do mar, pressionam as margens desses ecossistemas voltadas para o oceano, provocando erosão, mortalidade e perda de área (Taylor e Sanderson, 2002).

Além do nível do mar e dos impactos das atividades humanas, as marismas, a exemplo dos manguezais, sofrerão os efeitos de alterações em outros fatores relacionados às mudanças climáticas, sendo os principais: mudanças nos padrões de circulação das águas costeiras; aumento da temperatura do ar e da água do mar; aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico; aumento na frequência e intensidade de tempestades; aumento na intensidade de ondas e ventos; e alterações no aporte de água doce, sedimento e nutrientes, decorrentes de mudanças nos regimes de chuvas e dos padrões de uso e ocupação das bacias hidrográficas (Scavia *et al.*, 2002; Gilman *et al.*, 2008; Lovelock e Ellison, 2007; McLeod e Salm, 2006; Day *et al.*, 2008).

A maioria dos estudos realizados sobre marismas da costa brasileira não trata diretamente das mudanças climáticas e de seus possíveis impactos sobre esse ecossistema. Apenas Davy e Costa (1992) mencionam a perspectiva de aceleração da elevação do nível do mar e suas implicações para os estudos sobre marismas, destacando a importância de se compreender os mecanismos que controlam a distribuição das espécies ao longo do gradiente de inundação, e Seeliger e Costa (1998) citam o aquecimento global e a subida do nível do mar como impactos sobre os ecossistemas costeiros e marinhos do extremo Sul do Brasil.

No entanto, várias das linhas de pesquisa que já vêm sendo desenvolvidas no litoral brasileiro apresentam relações com o tema no sentido de fornecerem subsídios que permitem avaliar a exposição, a sensibilidade e a capacidade de resposta das marismas aos efeitos previstos das mudanças climáticas. A seguir, considerando-se os potenciais impactos descritos, apresentamos algumas das possíveis relações entre os estudos já realizados no Brasil e os efeitos esperados das mudanças climáticas sobre as marismas.

Estudos como o de Marangoni e Costa (2010), sobre os usos tradicionais das marismas por pecuaristas e agricultores na Lagoa dos Patos, são importantes para análises de vulnerabilidade às mudanças climáticas e de possíveis estratégias de adaptação, pois demonstram a importância que o ecossistema tem para essas populações, que mudanças vêm ocorrendo e como essas atividades vêm sendo impactadas pelas mudanças. Por exemplo, os pecuaristas usuários das marismas entrevistados pelos autores relataram um aumento da invasão das áreas de campo e de macega – *Spartinadensiflora* – pelo junco, o que acaba por diminuir as áreas disponíveis para pastagem. Essa expansão estaria relacionada a uma diminuição da salinidade na Lagoa dos Patos devido a um maior aporte de água doce no estuário.

A tendência observada na região é de um aumento das chuvas nos últimos 50 anos (Marengo, 2006). Caso essa tendência continue, ou mesmo se intensifique, em decorrência das mudanças climáticas, o processo de invasão pelo junco poderia ser exacerbado. De forma semelhante, estudos que incluam o impacto que as atividades humanas vêm tendo sobre as marismas (Seeliger e Costa, 1998; Costa e Marangoni, 2000; Marangoni e Costa, 2009b; Wolinski *et al.*, 2011) tornam-se bastante relevantes, uma vez que essas atividades podem afetar não apenas a composição de espécies, a estrutura e o funcionamento das marismas, mas também sua própria capacidade de se adaptar aos efeitos das mudanças climáticas.

Exemplo desse tipo de análise é o estudo de Marangoni e Costa (2009a), que observaram mudanças no tamanho das áreas de marismas na Lagoa dos Patos, na segunda metade do século XX. As perdas de área observadas se devem principalmente a processos erosivos e expansão urbana. Os primeiros são causados por ondas geradas por ventos associados a passagens de frentes frias, no inverno e outono e ao anticiclone do Atlântico Sul, na primavera e no verão. Esse tipo de erosão parece se intensificar durante os meses mais chuvosos, no inverno, quando o aumento do aporte de água doce eleva o nível da água do estuário, caracterizando assim mais uma ameaça às marismas relacionada à descarga de água doce na Lagoa dos Patos e ao nível do mar, processos dependentes do clima, e das atividades humanas ao longo da bacia hidrográfica, com alterações previstas em decorrência das mudanças climáticas.

São relevantes também estudos que analisam a competição entre as plantas de marisma e a influência das taxas de inundação e da salinidade sobre essas interações bióticas (Costa *et al.*, 2003), ou como a distribuição dos ecossistemas – entremarés e adjacentes –, é afetada por alterações nos padrões de inundação, na salinidade, na pluviosidade, no aporte de sedimentos e na presença de perturbações antropogênicas.

Um exemplo é o estudo de Valgas (2009), nas lagoas costeiras de Laguna, Santa Catarina. O autor compara as marismas com os taboais e sugere que a taboa *Typha dominguensis* pode estar substituindo competitivamente a *S. alterniflora* nas áreas mais internas e, possivelmente, nas intermediárias do estuário. A taboa teria uma capacidade maior de se estabelecer quando a salinidade está baixa e, com isso, impediria a chegada da *S. alterniflora*, restrita às áreas com maior salinidade. Essa dinâmica pode ser alterada caso ocorra uma elevação do nível do mar ou uma mudança no regime de chuvas e ventos na região, em consequência das mudanças climáticas.

Ao contrário do paradigma predominante, de que as marismas são controladas primariamente por fatores abióticos, há indícios de que fatores bióticos, tal como a herbivoria, podem ter um papel importante e que precisam ser estudados e considerados nas ações de gestão (Gedan *et al.*, 2011).

No caso do Brasil, há evidências de que a ação de herbívoros pode afetar significativamente a produtividade e a capacidade competitiva das espécies de marisma (Costa *et al.*, 2003), mas não há estudos mais detalhados sobre essa relação específica entre a fauna e a flora. Estudos nessa linha são importantes, especialmente considerando as possíveis correlações entre herbivoria e outros impactos. Por exemplo, maior temperatura do ar e maior *eutrofização* das marismas tendem a resultar em aumento da produtividade primária, mas potencialmente diminuem a diversidade e aumentam a atratividade das plantas para os herbívoros, enquanto atividades humanas, como a pesca, podem eliminar predadores e favorecer a proliferação dos herbívoros (Gedan *et al.*, 2011).

#### 4.3.2.5 VULNERABILIDADE DO ECOSISTEMA MANGUEZAL A MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A vulnerabilidade da zona costeira brasileira às mudanças climáticas foi objeto de algumas análises recentes (Muehe, 2010; Nicolodi e Petermann, 2010), que focaram basicamente na erosão e riscos de inundações, relacionados à elevação do nível médio do mar e a eventos extremos, tendo como objeto principal uma análise da suscetibilidade de populações e infraestrutura costeiras a essas alterações. Todavia, poucos foram os estudos com foco especificamente na vulnerabilidade dos manguezais brasileiros às mudanças climáticas. Dentre esses, destacam-se aqueles realizados para o município do Rio de Janeiro (Soares, 2008), para a região metropolitana do Rio de Janeiro (Soares *et al.*, 2011) e para a Baía de Paranaguá (Faraco *et al.*, 2010), cujo objetivo básico era estudar a vulnerabilidade dos manguezais à elevação do nível médio do mar.

Considerando que existem, vivendo próximas a esses ecossistemas, populações que dependem diretamente de seus recursos e serviços ambientais para sua subsistência, e ao mesmo tempo funcionam como fontes de impactos e de diminuição de sua resiliência, torna-se essencial analisar conjuntamente esses sistemas, considerando-os como acoplados, ou seja, como *sistemas socioecológicos* (Adger, 2006; Berkes *et al.*, 2003; Gallopín, 2006); necessidade que também é bastante enfatizada nos estudos de vulnerabilidade (Wisner *et al.*, 2004).

No que tange à vulnerabilidade dos manguezais em escala nacional é importante considerarmos a possibilidade de uma análise em diferentes escalas espaciais, dependendo do refinamento desejado, da disponibilidade de informações detalhadas e dos objetivos da referida análise. Nesse sentido, os critérios que definem a resiliência ou capacidade de adaptação dos manguezais a dados cenários de alterações também podem ser abordados em diferentes escalas de refinamento. Dessa forma, sob um prisma global, Alongi (2008) elenca as áreas de manguezais do mundo consideradas *muito vulneráveis* ou *pouco vulneráveis* à elevação do nível médio do mar, examinando-se basicamente sua capacidade de compensar, através de processo de sedimentação, a taxa de elevação do nível médio do mar.

Assim, partindo da premissa de que áreas submetidas a regime de macromarés, em costas tropicais úmidas e/ou em áreas sob a influência de aporte fluvial significativo e áreas consideradas remotas – onde a ocupação humana não impediria a migração das florestas em direção ao continente – são as menos vulneráveis às alterações do nível médio do mar. Entre essas áreas está a Região Norte do Brasil, sob a influência de macromarés e do aporte do Rio Amazonas. Por outro lado, as áreas consideradas *muito vulneráveis* seriam aquelas localizadas em ilhas baixas e/ou em ambientes *carbonáticos*, onde as taxas de aporte de sedimento e a disponibilidade de terras para migração das florestas são reduzidas ou, ainda, em áreas com baixa contribuição fluvial ou em processo de subsidência da massa continental.

Sob o ponto de vista da análise global realizada por Alongi (2008), todas as regiões de manguezais do Brasil fora da influência de macromarés e do aporte do Rio Amazonas não são incorporadas nas classes apresentadas, o que pode nos levar a uma análise equivocada de que tais áreas encontram-se num grau intermediário de vulnerabilidade. Na análise de vulnerabilidade, as características geomorfológicas tomam outra dimensão, ao se tornarem fator determinante da resiliência do sis-

tema, expressa na disponibilidade de áreas para migração ou acomodação do sistema, conforme descrito no modelo de Soares (2009).

Gilman *et al.* (2008) também citam que a resistência e resiliência dos manguezais à elevação do nível médio do mar dependem de alguns fatores, dentre os quais a taxa de elevação do nível relativo do mar e a existência de áreas livres para migração dos manguezais em direção ao continente. Por essa análise, poderíamos inferir com base nas características geomorfológicas da costa brasileira, descritas de forma geral por Silveira (1964) e aprofundadas por Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) e Muehe (2010), conforme a Tabela 4.4, e com base no modelo de Soares (2009) que, numa escala de grandes feições geomorfológicas, teríamos uma região menos vulnerável à elevação do nível médio do mar, com capacidade de adaptação, ao Norte do Brasil. Isso é consequência da presença de extensas planícies costeiras, int<sup>ENS</sup>O aporte sedimentar e baixa densidade populacional, corroborando o proposto em escala global por Alongi (2008).

A costa do Brasil, que se estende desde o Nordeste até o Sul, pode ser categorizada como de maior vulnerabilidade, pelo domínio de feições geomorfológicas que limitam a possibilidade de migração/acomodação dos manguezais em direção ao continente, representadas ora pela formação barreiras, ora pela Serra do Mar. O grau de vulnerabilidade nesse segmento da costa pode ainda ser reduzido, naquelas porções onde essas feições se afastam da linha de costa, permitindo a formação de planícies costeiras mais extensas e que possuam baixa taxa de ocupação humana. Por outro lado, nesse segmento a maior vulnerabilidade ocorrerá nas porções onde essas feições se aproximam da linha de costa e reduzem a área disponível para retração ou acomodação das florestas de mangue e/ou onde as planícies costeiras têm alta ocupação humana, reduzindo da mesma forma as áreas para acomodação do sistema frente às novas condições.

Apesar das considerações anteriormente apresentadas para a costa brasileira, uma análise mais detalhada ainda está por ser feita, para que possamos categorizar, com maior segurança e precisão, os diferentes trechos ocupados por manguezais quanto à vulnerabilidade à elevação do nível médio do mar. As únicas análises, com refinamento em escala local, sobre a vulnerabilidade de manguezais brasileiros à elevação do nível médio do mar foram as realizadas por Soares (2008) sobre as florestas de mangue do município do Rio de Janeiro e posteriormente ampliada para a região metropolitana do Rio de Janeiro (Soares *et al.*, 2011).

A principal resposta esperada para os manguezais da região metropolitana do Rio de Janeiro, segundo Soares *et al.* (2011) é a acomodação, através de retração em direção à planície costeira, como já detectada em alguns manguezais estudados nessa região (Soares *et al.*, 2005; Soares, 2009). Todavia, a manutenção dessas florestas no novo cenário ainda dependerá da ocupação urbana nas áreas vizinhas. Assim, com base nos cenários de elevação do nível médio do mar, na resposta dos manguezais a essas mudanças e na dinâmica de ocupação da região metropolitana do Rio de Janeiro, os diversos manguezais foram classificados como possuindo baixa, média e alta vulnerabilidade. Foram consideradas com baixa vulnerabilidade as florestas de mangue associadas a uma planície costeira não urbanizada, ou com urbanização muito baixa, caracterizando, portanto, uma possível área para acomodação/retração frente à elevação do nível médio do mar.

As florestas classificadas como de alta vulnerabilidade foram localizadas em regiões sem área disponível para sua acomodação ou retração, tais como aquelas próximas a montanhas ou associadas a planícies altamente urbanizadas ou, ainda, com algum tipo de obstáculo para sua retração em direção ao continente – a exemplo de estradas e vias urbanas.

Por fim, foram consideradas com média vulnerabilidade e as florestas em áreas associadas a planícies costeiras com tendência de ocupação, onde ainda existe área para sua acomodação/retração no limite com a planície, mas na qual já se observa uma urbanização das partes mais internas da planície.

O método de análise utilizado por Soares *et al.* (2011) para a região metropolitana do Rio de Janeiro pode facilmente ser aplicado em outras áreas urbanas do Brasil, nas quais importantes áreas de manguezais são encontradas. Como exemplo o estudo realizado por Costa *et al.* (2010), para a região metropolitana do Recife, que pode ser utilizado para uma análise da vulnerabilidade dos manguezais dessa região frente à elevação do nível médio do mar, tendo em vista que a cidade de Recife é uma das mais vulneráveis ao aumento do nível do mar do litoral brasileiro, devido às suas características físicas e aos diversos problemas referentes a inundações e erosão costeira.

Segundo Muehe (2010), a costa brasileira, de uma maneira geral, está sob um forte processo erosivo, embora distribuído de forma irregular ao longo da costa. Considerando-se a possibilidade de elevação do nível médio do mar, esse processo pode se agravar e o cenário de vulnerabilidade das florestas de mangue anteriormente apresentado pode ser modificado, sobretudo com o aumento da vulnerabilidade de algumas áreas de manguezal. A possibilidade de aumento da vulnerabilidade de algumas áreas de manguezal baseia-se no possível aumento do grau de exposição à energia marinha de áreas atualmente abrigadas e, portanto propícias à ocorrência de manguezais. Esse cenário também é previsto no modelo conceitual de Soares (2009), conforme Figura 4.9 deste capítulo, através do rompimento de cordões arenosos – ilhas barreiras – e alteração da exposição e dinâmica dos sistemas estuarinos/lagunares por eles formados e consequente erosão de áreas anteriormente ocupadas por manguezais.

#### 4.3.2.6 ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO

Como contribuição ao manejo desses ecossistemas, sugere-se:

- a) Medidas efetivas para eliminação de diferentes fontes de estresse incidentes sobre os manguezais e as marismas devem ser adotadas, de forma a reduzir a sua vulnerabilidade e aumentar a resiliência às mudanças climáticas. Nesse processo, é importante distinguir entre as diferentes fontes de estresse e seus potenciais impactos sobre os manguezais e marismas. Atenção especial deve ser dada às atividades potencialmente mais prejudiciais, tais como as que venham a promover a ocupação de áreas adjacentes aos manguezais, impedindo sua migração em direção ao continente, que alterem a circulação de marés e o aporte de água doce, nutrientes e sedimentos, que causem a supressão da vegetação, com consequências como a erosão ou a substituição completa do ecossistema por outro tipo de uso do solo ou que contribuam como fonte de resíduos e poluentes. Nesse contexto deve-se reconhecer a importância da exploração de recursos associados a esses ecossistemas, por parte de populações tradicionais que deles dependem.
- b) A incorporação nos processos de gestão e planejamento urbano e de licenciamento ambiental das variáveis relacionadas às mudanças climáticas, incluindo aspectos associados às adaptações a tais mudanças, de forma a garantir a conservação dos ecossistemas em geral e, especificamente, dos remanescentes de manguezais e de marismas.
- c) A incorporação e implementação de instrumentos que efetivamente garantam a conservação dos remanescentes de manguezais frente às mudanças climáticas, através de sua acomodação ao novo cenário, garantindo a resiliência de tais ecossistemas.
- d) A articulação intersetorial e integrada das diferentes políticas, incorporando a questão de conservação dos ecossistemas costeiros de forma efetiva, considerando-se os cenários de mudanças climáticas.
- e) A incorporação nos planos estaduais e nacional de gerenciamento costeiro das variáveis relacionadas às mudanças climáticas, incluindo ações relacionadas à conservação e adaptação dos sistemas naturais, considerando-se, ainda, as atividades em toda a bacia hidrográfica costeira que possam afetar a vulnerabilidade e a resiliência desses ecossistemas frente às mudanças climáticas.
- f) O cuidado de se evitar que medidas de adaptação às mudanças climáticas, a serem adotadas por outros setores, comprometam a capacidade de resistência e a resiliência das florestas de mangue e das marismas frente a essas mudanças.
- g) A incorporação no planejamento da zona costeira, de medidas para garantir a disponibi-



dade de áreas necessárias à migração de longo prazo de manguezais e marismas, como parte do processo de acomodação frente à elevação do nível médio do mar.

h) A garantia, através de mecanismos legais, incluindo-os na revisão do Código Florestal que tramita no Congresso Nacional, da conservação de planícies hipersalinas, planícies costeiras e brejos costeiras, associados a florestas de mangue, como áreas non aedificandi, para facilitar o processo de acomodação das florestas de mangue em um cenário de elevação do nível médio do mar e, por conseguinte, se obter a perpetuação desse ecossistema.

i) O cuidado de se evitar a ocupação de planícies hipersalinas e campos salgados por empreendimentos de carcinicultura – criação de camarão marinho –, pois essas áreas são fundamentais para a acomodação dos manguezais a um cenário de elevação do nível do mar, garantindo-se, dessa forma, a resiliência do sistema.

j) A adoção de medidas que garantam a capacidade de recuperação de florestas de mangue e marismas, identificadas como de baixa vulnerabilidade e que restituam a resiliência das florestas com média e alta vulnerabilidade.

k) A necessidade de adequação e planejamento de unidades de conservação, considerando-se a ampliação das áreas protegidas em direção ao continente, para que as mesmas garantam a acomodação ou a migração dos manguezais e marismas. Igualmente, a incorporação, de uma visão de gestão integrada, agregando em uma mesma unidade de conservação ou em mosaicos delas, dos sistemas naturais que têm ligação, garantindo-se, assim, sua funcionalidade no contexto da paisagem, considerando os eventuais usos dos recursos de manguezais e marismas por populações humanas como fator importante a ser inserido no processo de gestão de tais UCs;

l) O controle da ocupação das áreas de entorno dos manguezais e marismas, sobretudo aquelas onde a pressão humana ainda é passível de um planejamento adequado.

m) Ao se considerar, ainda, as incertezas de cenários associados às mudanças climáticas, bem como dos efeitos dessas sobre manguezais e marismas, é fundamental o estabelecimento de programas de monitoramento de larga escala e de longo prazo e de estudos sistemáticos das diferentes questões envolvidas com as mudanças climáticas e seus efeitos sobre os sistemas costeiras, para que a sua gestão, incluindo a análise de estratégias de adaptação às mudanças, possa ser constantemente revista, aprimorada e implementada.

n) Manguezais e marismas estão sujeitos basicamente às mesmas forças e coexistem em grande parte do litoral brasileiro. Portanto, a vulnerabilidade e a capacidade de adaptação desses ecossistemas estão intimamente ligadas. Assim, os estudos de monitoramento da resposta desses sistemas à elevação do nível do mar devem incluir também, a avaliação dos processos de interação entre manguezais e marismas – especialmente no sentido de se entender as dinâmicas diferenciadas de acreção de solo e colonização de novas áreas, bem como o processo de competição entre as plantas, que podem resultar em respostas adaptativas diferentes entre os dois ecossistemas, com possibilidade de redução da área de marismas em resposta à elevação do nível do mar nas regiões onde os ecossistemas coexistem.

### **4.3.3. LAGUNAS, LAGOAS E LAGOS COSTEIROS**

#### **4.3.3.1 INTRODUÇÃO**

Ao longo da zona costeira do Brasil, mais precisamente entre os estados do Rio Grande do Sul e do Rio Grande do Norte, são encontrados diversos sistemas lacustres que apresentam diferentes características quanto à área, formato, orientação em relação à linha de costa, propriedades hidroquímicas e produtividade biológica. Embora com a predominância de sistemas rasos, com poucos metros de profundidade, as áreas das lagoas variam em diversas ordens de magnitudes, compreendendo desde as de dimensões pequenas, alimentadas pelo lençol freático entre dunas arenosas e com área inferior de um hectare, a outras, com alguns milhares de quilômetros quadrados, com destaque para o complexo lacustre do Rio Grande do Sul – Lagoa dos Patos, Mirim e Mangueira com 9.280, 3.520 e 802 km<sup>2</sup>, respectivamente (Von Sperling, 1999).

Ao longo da costa, com clima úmido, os fluxos hidrológicos aportam consideráveis quantidades de sedimentos como silte e argila que, em suspensão, causam a turbidez da água. Já em climas semiáridos, as águas tendem a apresentar considerável transparência, inclusive alcançando o sedimento. A água também pode ser turva devido à presença de matéria orgânica dissolvida na forma de ácidos orgânicos – húmicos e fúlvicos – (Wetzel, 2001). Em ambos os casos, a produtividade biológica tende a ser elevada, seja por meio de macrófitas aquáticas emergentes em lagos túrbidos ou por microalgas fitoplanctônicas em águas de menor turbidez.

Apesar da grande diversidade fisiográfica, em essência, as lagoas costeiras são bacias lacustres situadas em planícies costeiras do Período Quaternário recente, cujo processo de gênese esteve associado ao isolamento do mar por uma ilha, que faz as vezes de barreira. Os fatores que controlam e mantêm a gênese desses sistemas estão associados à história de elevação e rebaixamento do nível do mar, com a conseqüente inundação e dessecamento das planícies, à deriva litorânea e o respectivo transporte de sedimentos de origem marinha e à variação de maré que regula o transporte de sedimentos em curta escala temporal (Martin e Dominguez, 1994).

As lagoas costeiras associadas às formações deltaicas quaternárias, como no caso do baixo Rio Doce, no Estado do Espírito Santo, tiveram ainda sua gênese complementada pelo aporte e sedimento de origem continental transportado por fluxos fluviais e deposição em um sistema paleolagunar (Martin e Dominguez, 1994; Martin *et al.*, 1996a, 1996b, 1997).

Apesar de constituírem sistemas lacustres geologicamente recentes, aproximadamente 5.000 anos antes do presente (A.P.), as lagoas costeiras são consideravelmente dinâmicas em relação aos fatores geológicos, hidrológicos, climáticos e ecológicos (BIRD, 1994). Algumas lagoas sofreram intENSO assoreamento, reduzindo drasticamente sua profundidade, enquanto outras tiveram sua superfície e volume reduzidos devido a alterações nos fluxos hidrológicos. O processo de segmentação lacustre é resultante da segmentação de uma lagoa – de formato alongado e paralelo à linha de costa – por meio de esporões e cúspides internos, formados pela deposição de sedimentos conforme a hidrodinâmica lacustre é controlada por ventos predominantes.

A dinâmica lacustre costeira é mais evidente nos sistemas lagunares. As lagunas têm conexão permanente, ou mesmo intermitente, com o oceano e, conseqüentemente, apresentam gradientes halinos com a mistura de água doce de origem fluvial, ou de lençol freático, com a água do mar. Sob condições climáticas em que a evapotranspiração é superior à precipitação e o aporte de água doce é reduzido, as lagunas podem apresentar salinidades superiores às do mar – salinidade > 35 ‰ – (BIRD, 1994). Na laguna hiperalina de Araruama, no Estado do Rio de Janeiro, por exemplo, a salinidade pode ser de até 56‰ (Souza *et al.*, 2003).

Quanto ao padrão de metabolismo lacustre, Bozelli *et al.* (1992) propuseram os padrões dinâmicos ou intermitentes para as lagoas do baixo Rio Doce, no Espírito Santo. O padrão dinâmico, representativo das lagoas da planície aberta, com reduzida profundidade e com exposição ao vento, apresenta estratificação diurna e circulação noturna – polimixia –, elevada turbidez e ciclagem dinâmica de nutrientes. O padrão intermitente, representativo das lagoas encaixadas nos vales da Formação Barreiras – período Terciário – com profundidades eventualmente superiores a 25 metros, apresenta estratificação sazonal – monomíticos quentes –, reduzida turbidez e ciclagem de nutrientes sujeita a pulsos nos períodos de misturas da coluna d'água. Em termos de vulnerabilidade à eutrofização, os sistemas dinâmicos podem ser considerados mais suscetíveis do que os sistemas intermitentes.

A importância dos ecossistemas lacustres na costa do Brasil remonta a cerca de 5.700 anos A.P., a partir de atividades de coletor, caçador e pescador do homem primitivo no entorno e nas lagoas (Ybert *et al.*, 2003). Atualmente, essa dependência, embora pareça pouco evidente, pode ser considerada como significativa, em se tratando de diversos bens e serviços ambientais que os lagos podem proporcionar à sociedade, tais como benefícios não extrativos ou suprimento de água, e ainda outros, como os peixes (O'Sullivan, 2005). O complexo lagunar Mundaú-Manguaba, no

Estado de Alagoas, por exemplo, contribui significativamente para a dimensão socioeconômica e cultural local, particularmente devido à dependência da comunidade ribeirinha do extrativismo de moluscos e crustáceos (Teixeira e Sá, 1998; ANA, 2006).

A complexidade estrutural e funcional das lagoas costeiras tem sido objeto de estudo de diversos programas e projetos de pesquisa científica. A necessidade de se melhorar a compreensão sobre a dinâmica dos processos geomorfológicos, físicos, químicos, biológicos e ecológicos é essencial para se subsidiar as estratégias de gestão desses ecossistemas aquáticos, principalmente em decorrência de pressões ambientais impostas pelas atividades humanas. O padrão global de intensa ocupação costeira, com densidades até três vezes superiores à média global (Small e Nicholls, 2003), impõe uma série de perturbações, tais como os aportes de esgotos domésticos, a drenagem pluvial, o incremento de fluxos de nutrientes, os sedimentos e os contaminantes, a introdução de espécies exóticas, a sobrepesca e a redução de volume de água lacustre por drenagem. As pressões ambientais não se restringem ao entorno mais próximo das lagoas, mas também de modo indireto por atividades desenvolvidas em áreas mais distantes das bacias hidrográficas lacustres e em suas vizinhas, que compartilham a mesma bacia atmosférica.

Nesse contexto, os sistemas lagunares e lacustres, em geral, são considerados como integradores dos processos geológicos, climáticos e ecológicos que ocorrem em determinado local. A interconexão se dá por meio de fluxos hidrológicos superficiais e subterrâneos (Winter, 2001). A paleolimnologia dedica-se a entender o passado geológico recente – período de alguns poucos milhares de anos A.P. – da trajetória de um lago a partir da investigação da sua estratigrafia, da datação e taxonomia de *microfósseis* do sedimento embasando inferências sobre os processos geológicos, climáticos e ecológicos que influenciaram o sistema lacustre, suas bacia hidrográfica e paisagem (Binford, Deevey e Crisman, 1983). Em face de inexistência de amplas séries de dados históricos que possibilitem se avaliar a dinâmica intra e interanual dos ecossistemas lacustres, a paleolimnologia constitui uma efetiva ferramenta para subsidiar o manejo desses sistemas (Smol, 1992).

Face ao cenário de mudanças climáticas globais (MCG) os lagos constituem excelentes indicadores no âmbito da paisagem. A *Conferência sobre Lagos e Reservatórios como Sentinelas, Integradores e Reguladores da Mudança Climática*, realizada em setembro de 2008 em Nevada, Ohio, nos Estados Unidos, promovida pela *American Geophysical Union (AGU)*, indicou os lagos como ecossistemas sentinelas dos efeitos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas e atmosféricas e na paisagem terrestre como um todo. A característica de funcionar como ecossistema integrador de processos climáticos, geológicos, ecológicos, permitindo inclusive o registro das atividades humanas, faz dos sistemas lacustres efetivos indicadores para monitoramento dos efeitos das MCGs. Os lagos viabilizam, ainda, uma rede de ecossistemas em diferentes regiões geográficas e climáticas, localizados na porção inferior de bacias hidrográficas, o que permite o registro nos sedimentos lacustres de processos relacionados às MCGs e às atividades humanas (Adrian *et al.*, 2009; Schindler, 2009; Williamson *et al.*, 2009).

A condição de sistema sentinela para os efeitos das MCGs é bastante representativa para os sistemas lacustres costeiros, considerando os possíveis efeitos de elevação do nível do mar e intrusão halina. Avaliar alterações na estrutura das comunidades biológicas lacustres nos processos biogeoquímicos com reflexos sobre a produtividade e conectividade com os ecossistemas aquáticos associados – estuários e ambiente marinho –, torna-se imprescindível (Brito *et al.*, 2012). No entanto, programas de pesquisas científicas voltados à avaliação dos efeitos de MCGs são ainda incipientes no âmbito internacional e, principalmente, nacional. Sem uma base de dados, extensiva ao longo dos anos e baseada em indicadores representativos, e modelos ecológicos consistentes, o gerenciamento sustentável fundamentado em estratégias adaptativas a serem efetivamente integradas nos sistemas socioambientais das lagoas costeiras torna-se intangível (Terwilliger e Wolflin, 2005). Nesse contexto, o presente texto baseia-se em revisão da literatura relacionada às lagoas costeiras e aos lagos naturais como um todo, representando estudos de caso desenvolvidos em todo o mundo, com ênfase na vulnerabilidade e nos efeitos das MCGs em sistemas lagunares e lacustres

costeiros tropicais e subtropicais.

#### 4.3.3.2 POTENCIAIS IMPACTOS DE MCGS EM LAGOAS COSTEIRAS

Os efeitos de MCGs vão muito além do aumento médio da temperatura global do ar, dos consequentes aquecimentos de massas d'água, da elevação do nível do mar em decorrência do derretimento de geleiras alpinas e calotas polares e da expansão da água marinha. Alterações na composição de gases na atmosfera e na incidência de radiação ultravioleta, bem como modificações nos regimes de pluviosidade e de tempestades, podem causar efeitos significativos nos ecossistemas lacustres costeiros.

##### A. Fatores atmosféricos

O aumento da temperatura média da atmosfera, na faixa de 2 a 3 °C (IPCC, 2007b), deve alterar padrões de circulação e, conseqüentemente, os regimes de ventos locais, resultando no aquecimento da água dos sistemas lacustres, o que implica alterações no padrão de estratificação térmica e mistura da coluna d'água. O aquecimento da coluna d'água poderá resultar no incremento da temperatura do hipolímnio e conseqüente redução da concentração de oxigênio dissolvido, inclusive com possibilidade de ocorrências de condições hipóxicas – < 2,0 mg/L – ou anóxicas. Períodos mais prolongados de estabilidade térmica agravam a tendência de eventos de hipóxia ou anoxia. Lagos profundos localizados em regiões temperadas têm apresentado tendências de aquecimento do hipolímnio durante o verão, uma conseqüência associada às MCGs (Ambrosetti e Barbantti, 2003).

Embora as lagoas costeiras brasileiras sejam rasas – de profundidade média < 5,0 metros – e localizadas em clima tropical e subtropical, o aumento da temperatura poderá alterar o regime de ventos quanto à predominância de direção, intensidade, frequência e sazonalidade. Esse fato poderá ter implicações sobre o padrão de estabilidade térmica das lagoas, devido à mudança no aporte de energia para mistura da coluna d'água (Nickus *et al.*, 2010).

Esteves *et al.* (1988) verificaram que, duas lagoas costeiras do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, mesmo que adjacentes, apresentaram padrões térmicos diferenciados – uma com tendência à estratificação e outra, à mistura –, em função da orientação dos respectivos eixos quanto à exposição ao vento predominante.

Na Laguna Thau, com 70 km<sup>2</sup>, profundidade média de quatro metros e importante sítio de produção de ostras na França – 15.000 t/ano –, eventos de anoxia ocorrem durante o verão, quando as temperaturas da coluna d'água são mais elevadas e os ventos são de baixa intensidade. O fenômeno, denominado regionalmente como malaïgues, parece ser comum no Mediterrâneo, sobretudo na Itália e na Tunísia. A depleção do oxigênio na laguna francesa está relacionada à decomposição da matéria orgânica, em particular detrito de macroalgas, nas áreas de ostreicultura. A partir da análise de uma série histórica de 33 anos de dados de ocorrência de eventos de anoxia, foi identificada uma correlação com oscilações climáticas, particularmente com a do Atlântico Norte, no mês de julho, e com a fase quente da *El Niño* – Oscilação Sul (ENOS), no mês de maio (Harzallah e Chapelle, 2002).

Além das variações de temperatura, fatores como umidade relativa, cobertura de nuvens, ventos e radiação também podem afetar os componentes estruturais e processos funcionais lacustres. A qualidade e a intensidade da radiação solar incidente sobre ecossistemas aquáticos são de grande relevância para suas integridade e dinâmica. A radiação ultravioleta – UV 290 a 400 nm – tem efeitos negativos sobre as comunidades biológicas aquáticas como cianobactérias, fitoplâncton, macroalgas e macrófitas aquáticas. Em geral, a radiação UV causa danos às células dos organismos e fotoinibição nas taxas fotossintéticas (Häder *et al.*, 2011). O zooplâncton também tende

a ser afetado negativamente, inclusive com a perda de espécies mais sensíveis e a dominância de poucas espécies mais tolerantes à exposição ao UV. Os efeitos da radiação UV-B – 290 a 320 nm – ocorrem igualmente de modo indireto na biota aquática. Em condições de incidência de radiação UV-B, contaminantes como cádmio (Cd) e cobre (Cu) apresentam efeitos deletérios sinérgicos com microalgas e cianobactérias.

Segundo Häder *et al.* (2011), o incremento da incidência de UV nos ecossistemas aquáticos pode estar relacionado à redução da efetividade da camada de ozônio em reter essa faixa de radiação do espectro eletromagnético, bem como ser devido ao aumento da transparência da água, inclusive em decorrência indireta de MCGs como alteração nos padrões de ventos, chuva e aportes de matéria orgânica dissolvida (MOD). A MOD é bastante eficaz em atenuar a radiação UV, por causa do processo de fotodegradação do carbono orgânico dissolvido, ao produzir moléculas menores que favorecem o desenvolvimento do bacterioplâncton. Conforme a MOD vai sendo degradada, aumenta a penetração da radiação UV.

As lagoas costeiras distróficas – ou seja, os ecossistemas lacustres ricos em MOD na forma de ácidos orgânicos que conferem cor de chá à água, – parecem contar com maior proteção contra a radiação UV devido a sua atenuação na coluna d'água. Por outro lado, a intrusão de água do mar em lagunas costeiras tende a aumentar a transparência e, portanto, indiretamente favorecer a penetração da radiação UV, podendo reduzir a produção primária em até 25% devido ao efeito de fotoinibição (Conde *et al.*, 2002).

## **B. Fatores hidrológicos**

Além do aumento do nível do mar, as projeções das MCGs para os próximos 30 anos mostram anomalias na distribuição de precipitação na zona costeira brasileira, indicando que pode haver tanto variações, desde níveis muito baixos, para um aumento expressivo na precipitação, quanto até mesmo um déficit dos níveis de precipitação (Nobre *et al.*, 2007). O cenário de intensificação de precipitações incrementa os aportes superficiais e subterrâneos de nutrientes para os sistemas lacustres, influenciando, assim, a produtividade desses ecossistemas (Paerl e Huisman, 2008; Schindler, 2009).

Moreira-Turq (2000) avaliou o efeito da redução da salinidade da Lagoa de Araruama, no Estado do Rio de Janeiro, uma laguna com 210 km<sup>2</sup> e profundidade média de três metros, devido à variação na pluviosidade. No ano hidrológico de 1989 a 1990, a salinidade média da lagoa diminuiu de 52 para 41‰, promovendo uma mudança do metabolismo trófico, oligotrófico e bentônico para eutrófico e pelágico. Com a redução da salinidade, a comunidade fitoplanctônica foi favorecida em função do incremento da concentração de nutrientes oriundos da remineralização de material orgânico do sedimento. As MCGs também afetam as taxas de evaporação, porém, de modo diferenciado. Lagos são duas a quatro vezes mais sensíveis às mudanças em precipitação do que a alterações em evaporação (Bruce, 1997). Esses efeitos têm implicações no volume de água na bacia lacustre, restringindo assim, a capacidade de captação para usos humanos. Em regiões de clima úmido, a redução de 25% na precipitação demanda um incremento de 400% no armazenamento de água para uma captação sustentável (Bruce, 1997).

Embora, de modo geral, as variações na precipitação não sejam significativas, se ocorrerem, elas afetarão negativamente as regiões que já experimentam *deficit* hídrico, como o Nordeste semiárido no Brasil (Muehe, 2010).

Os impactos que essas mudanças podem causar nos ecossistemas costeiros brasileiros já são observados. Recentemente, eventos climáticos extremos têm afetado os ecossistemas e cidades costeiras do Brasil, expressando-se através do avanço acelerado do mar para o continente (Muehe, 2006) e por inundações de grandes proporções. Em junho de 2010, chuvas intensas e o rompimento

de barragens fluviais na bacia da Lagoa Mundaú, em Alagoas, causaram perdas de vidas humanas, milhares de desabrigados, destruição de propriedades particulares e infraestrutura pública.

Os efeitos das MCGs nos ecossistemas lacustres constituem apenas um dos fatores que atuam sobre a dinâmica desses ecossistemas. É necessário ressaltar, que esses efeitos têm sinergia com efeitos das mudanças impostas por atividades humanas. Desmatamento, represamento de rios, obras hidráulicas, construção de estradas, pavimentação da superfície, mineração, agricultura e pecuária são atividades que influenciam os fluxos hidrológicos de água, sedimentos, nutrientes e contaminantes rumo aos lagos. Em um cenário de redução da frequência e intensificação de eventos de pluviosidade, é previsível o incremento das cargas de sedimentos para os sistemas lacustres. Cabe ressaltar, porém, que os fatores controladores da erosão e assoreamento dos ecossistemas aquáticos são a vegetação e as boas práticas agrícolas no uso de solo na bacia de drenagem, construção civil e infraestrutura. Assim, é imperativo que os potenciais efeitos das MCGs sejam levados em consideração no contexto de outras mudanças impostas por atividades humanas nas bacias hidrográficas e em paisagens nas quais as lagoas costeiras estão inseridas (Bruce, 1997).

### **C. Componentes estruturais e processos funcionais de lagoas costeiras**

Sem considerarem os efeitos da elevação do nível do mar, os resultados do aumento global da temperatura do ar e das alterações no ciclo hidrológico local já se refletem em impactos que afetam negativamente as lagoas costeiras quanto à perda da biodiversidade – dominância de espécies tolerantes às condições presentes –, prejudicando toda a rede trófica. Isso se reflete:

- na qualidade da água – em uso para abastecimento;
- na qualidade e quantidade do pescado, como fonte de alimento;
- na perda das qualidades cênicas e,
- em suas funções ecológicas. Numa perspectiva da ecologia de sistemas, os efeitos das MCGs nas lagoas costeiras podem ser avaliados nos componentes estruturais e nos processos funcionais. Componentes estruturais são aqueles relacionados aos aspectos físicos – a exemplo de hidrosfera, temperatura e luz –, químicos – tais como matéria orgânica e nutrientes inorgânicos dissolvidos e biológicos – caso da comunidade biótica –, enquanto que os aspectos funcionais se referem aos processos ecológicos – produtividade primária e secundária, decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, relações tróficas e sucessão ecológica.

O efeito do aquecimento da água sobre o ecossistema da Lagoa da Mangueira, no Estado do Rio Grande do Sul, sistema lacustre subtropical costeiro e raso – área de 820 km<sup>2</sup> e profundidade média de 2,6 m, com estado trófico entre oligotrófico e mesotrófico considerado a partir da modelagem integrada de fatores hidrodinâmicos, qualidade da água e processos biológicos –, resulta no aumento da transparência da água. Esse incremento se dá pelo controle dos nutrientes devido à extensão do período de crescimento de macrófitas aquáticas submersas (Fragoso Jr. *et al.*, 2011). A recomendação desses autores é pela manutenção do nível da lagoa durante o período de estiagem e restrições à captação de água para irrigação.

Variações hidrológicas, como vazão dos córregos tributários e nível lacustre, em função de alterações no regime de pluviosidade, também têm reflexos sobre a concentração de nutrientes e sais dissolvidos, transparência da coluna d'água e comunidade biótica.

Variações no nível d'água dos lagos estão relacionadas aos controles hidrológicos, condições do substrato, topografia das margens e estabelecimento da vegetação. O desenvolvimento da vegetação litorânea lacustre é de grande importância para esses sistemas, sobretudo para os de baixa profundidade média, devido às interações das regiões litorâneas e pelágicas. Redução da riqueza de espécies, incremento e dominância de espécies invasoras, substituição de comunidades de macrófitas por fitoplâncton e perda geral da biodiversidade são alguns dos efeitos biológicos associados (Abrahams, 2008). Os efeitos ecológicos biológicos se referem ao potencial perda das regiões litorâneas, geralmente associadas a áreas alagáveis ou inundáveis, que funcionam como retentores

de nutrientes e sedimentos e, conseqüentemente, de elevada produtividade biológica (Jørgensen e Löffler, 1995).

Geralmente, lagos com altas concentrações de fósforo (P) e baixas concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), tendem a ser autotróficos, ou seja, a absorver  $\text{CO}_2$  da atmosfera, enquanto que lagos com baixas concentrações de fósforo (P) e altas concentrações de COD tendem a ser heterotróficos – ou seja, a emitirem o gás para a atmosfera (Cole e Pace, 2000).

Um dos efeitos do aumento da salinidade em ecossistemas aquáticos está relacionado à troca gasosa com a atmosfera (Hoover e Berkshire 1969; Wanninkhof e Knox 1996), uma vez que nos lagos salinosos, os valores de pH são mais altos e, portanto, a maior parte do carbono inorgânico dissolvido (CID) está na forma de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), reduzindo, assim, a emissão de  $\text{CO}_2$ .

Na Lagoa Carapebus, no Estado do Rio de Janeiro, nas áreas influenciadas por efluentes domésticos e, portanto, com altas concentrações de fósforo (PT) e de nitrogênio total (NT), as emissões de  $\text{CO}_2$  são menores do que na área com menor influência dos efluentes. O enriquecimento com nutrientes, em geral, estimula a produtividade primária no lago como incremento de biomassa do fitoplâncton, sobretudo de cianobactérias, favorecendo um estado menos heterotrófico, seguido de menor emissão de  $\text{CO}_2$ . Em contrapartida, foi constatado que a pressão parcial e a emissão de  $\text{CO}_2$  aumentam consideravelmente em função da intensidade da precipitação pluvial (Marotta *et al.*, 2010).

Por outro lado, em condições hipereutróficas pode ocorrer anoxia no fundo da coluna d'água ou mesmo em todo volume d'água, causando extensas mortandades de peixes devido ao predomínio de condições heterotróficas. A lagoa Rodrigo de Freitas (que a rigor é uma Laguna), no Rio de Janeiro, apresenta alternância de metabolismo, de autotrófico a heterotrófico com condições de supersaturação de oxigênio dissolvido – > 100% de saturação – na superfície e hipóxia ou anoxia no fundo (Souza *et al.*, 2011). Eventualmente, em função da incidência de fortes ventos e do restrito aporte de água do mar pelo assoreamento do canal de conexão com o oceano, há forte depleção de oxigênio, causando extensiva mortandade de peixes estuarinos.

A ocorrência de condições heterotróficas pode ser constatada pelas elevadas concentrações de bactérias com tal característica associadas ao alto conteúdo de matéria orgânica na água e a sedimentos resultantes de aportes de esgotos domésticos (Gonzales, Paranhos e Lutterbach, 2006). O metabolismo anóxico promove fluxos de carbono reduzido como o metano ( $\text{CH}_4$ ), importante gás relacionado ao processo de aquecimento global, a partir da decomposição anaeróbia por bactérias heterotróficas (Conrad *et al.*, 2011).

A importância dos ecossistemas aquáticos continentais no ciclo do carbono e a relação com o clima têm sido reconhecidas recentemente, inclusive por conta de a emissão de  $\text{CH}_4$  lacustre ser superior à oceânica (Tranvik *et al.*, 2009).

Jeppesen *et al.* (2010b) ressaltaram que o incremento do processo de respiração da matéria orgânica e os conseqüentes fluxos de  $\text{CO}_2$ , óxido nítrico ( $\text{NO}_2$ ) e  $\text{CH}_4$  estão associados ao processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos continentais. Considerando o cenário de necessidade de incrementar a produção de alimentos e biocombustíveis, com conseqüente incremento de fluxos de nutrientes para os ecossistemas aquáticos receptores, o efeito é o agravamento dos seus processos de eutrofização.

Os efeitos das MCGs não se restringem aos aspectos estruturais geoquímicos dos lagos, mas também às alterações na estrutura das comunidades aquáticas, em particular do fitoplâncton. O aquecimento da água, o incremento dos períodos de estratificação e de estabilidade térmica e o aumento da carga interna de nutrientes podem facilitar as florações de cianobactérias (Paerl, 2008;

Paerl e Huisman, 2008; Wagner e Adrian, 2008). Esses fatores favorecem as taxas de crescimento, dominância, persistência e distribuição geográfica das cianobactérias, consideradas nocivas pelos efeitos negativos das florações – depleção de oxigênio com o decaimento da floração – e a produção de cianotoxinas com potenciais efeitos hepáticos e neurotóxicos (CODD, 2000).

As florações de cianobactérias nocivas (CyanoHABs) se desenvolvem com a estabilidade térmica da coluna d'água, que facilita a flutuabilidade de florações de superfície, formando *natas* ou espumas, sombreando a coluna d'água. O aumento da temperatura reduz a viscosidade da água, propiciando a migração vertical de espécies de cianobactérias. Segundo Paerl (2008), a migração em direção à superfície otimiza a produção fotossintética, enquanto que a migração para o fundo faz o mesmo quanto à absorção de nutrientes.

Kosten *et al.* (2011), em um estudo comparando 147 lagos da Europa e América do Sul, incluindo lagoas costeiras, demonstraram que o aquecimento dos lagos induz indiretamente o efeito de sombreamento, em função do elevado *biovolume* nas florações de cianobactérias.

No Brasil, extensivas florações crônicas de cianobactérias têm sido registradas em lagoas costeiras, principalmente durante o verão. Na Lagoa de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, uma laguna hipertrófica com 3,7 km<sup>2</sup> e 3,3 m de profundidade média, as florações apresentam concentrações extremamente elevadas de clorofila *a* – máximo de 9.770 µg/L –, tendo como consequência reduzida transparência da água – entre dez e 50 centímetros. Gomes *et al.* (2009) também constataram níveis elevados de microcistina, uma *cianotoxina*, de forte efeito hepático nos tecidos dos peixes da lagoa, o que resultou na restrição de pesca e comercialização de pescado do complexo lagunar de Jacarepaguá pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente no ano de 2007.

A Lagoa dos Patos, um sistema lagunar com 10.227 km<sup>2</sup> e profundidade média de cinco metros (Zanotta, Gonçalves e Ducati, 2009), tem um histórico de florações de cianobactérias, principalmente *Microcystis*, de células cocoides e formadoras de colônias com grande capacidade de flutuabilidade, produtoras de microcistinas e associadas às temperaturas acima de 20 °C, de baixas relações entre nitrogênio e fósforo – TN:TP < 16:1 – e de períodos de cheia na lagoa. As florações sofrem estresse halino em águas salobras na porção estuarina da laguna, liberando toxinas para o meio extracelular e, gerando, assim, potenciais riscos relacionados ao consumo de pescado e balneabilidade na Praia do Cassino, no Rio Grande do Sul (Yunes, 2000 e 2009).

O problema da tolerância da *Microcystis* a flutuações temporais de salinidade – 15 a 20‰ –, ao viabilizar a sobrevivência da cianobactéria em águas salobras, pode expandir as florações em ambientes estuarinos. Paerl (2009) ressaltou que essa classe de bactérias, tolerante à salinidade, tem sido responsável por florações em águas salobras em diversas regiões do mundo, como é o caso no Mar Báltico – na Europa –, no Mar Cáspio – na Ásia –, no estuário do Rio Swan – na Austrália –, na californiana Baía de San Francisco – nos Estados Unidos – e no norte-americano Lago Ponchartrain – localizado na Louisiana. Em face do potencial de intrusão halina pela elevação do nível do mar, o problema das cianobactérias constitui risco significativo para se estruturar o funcionamento e os usos dos ecossistemas lacustres costeiros.

O aumento da quantidade de microalgas, incluindo as florações de cianobactérias, aumenta a turbidez na coluna d'água de lagoas costeiras rasas e suprime o crescimento de macrófitas aquáticas, afetando negativamente o *habitat* subaquático de muitos invertebrados e peixes planctívoros (Kosten *et al.*, 2009; 2010). Além disso, densas florações de cianobactérias provocam a depleção noturna de oxigênio, o que pode resultar em mortandade de peixes e aumentar a concentração de nutrientes oriundos do sedimento. Também podem causar distintos problemas de odor, pela produção de geosmina e outros produtos químicos (Izaguirre e Taylor, 2004; Uwins *et al.*, 2007).

O controle das florações tem sido associado à redução das cargas de nutrientes, principalmente de fósforo, para os ecossistemas lacustres. A partir da análise de modelagens, séries históricas e estudos



experimentais, conclui-se que os fluxos de nutrientes constituem indutores primários no desenvolvimento das florações de cianobactérias, enquanto o incremento da temperatura e a estabilidade térmica parecem ser fatores secundários (Brookes e Carey, 2011; Kosten *et al.*, 2011). A redução de fluxos de nutrientes, inclusive de nitrogênio, a partir do controle do uso do solo nas bacias hidrográficas é, não somente imprescindível (Paerls, 2004, 2008 e 2009; Kosten *et al.*, 2009, 2011; Brookes e Carey, 2011), mas também muito mais exequível na escala regional e ao longo das décadas do que o aquecimento global, que irá se estender até o ano 2100, mesmo que mantidos os níveis de gases do efeito estufa do ano 2000 (Brookes e Carey, 2011).

O potencial invasivo das cianobactérias é outra dimensão do problema. É o caso, por exemplo, da *Cylindrospermopsis raciborskii*, espécie com possibilidade de fixação de nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>) e produção de cianotoxina (Paerl, 2009), cilindrospermopsina, anatoxina-a e saxitoxina. É considerada uma cianobactéria com alto poder invasivo e formador de florações em condições eutróficas de grande capacidade dispersiva em amplas regiões geográficas e sob distintas condições climáticas e físico-químicas (Amand, 2002).

De acordo com Bierwagen, Tgomas e Kane (2008) a proliferação de espécies invasoras, ou espécies não nativas, pode ser favorecida pelas MCGs, seja pela mudança nos padrões de introdução ou a influência nos mecanismos de colonização e dispersão e redistribuição, seja pela alteração na resiliência dos habitat para as espécies invasoras. Segundo esses autores, o controle e a prevenção de espécies invasoras requerem o planejamento adaptativo envolvendo programas de monitoramento, regulamentação de uso de ecossistemas aquáticos e abordagens multidisciplinares.

Alterações significativas na estrutura e no funcionamento das lagoas costeiras impõem limitações na capacidade de resiliência desses ecossistemas. A resiliência é a aptidão de retorno à dinâmica ecológica anterior à perturbação de origem natural ou antrópica e considera as características desta quanto a frequência, temporalidade, duração, intensidade e reversibilidade (Leslie e Kinzing, 2009).

Perturbações estocásticas ou mesmo, crônicas, podem levar a uma mudança de fase no ecossistema, geralmente associada à menor biodiversidade, estabilidade e perdas de bens e serviços ambientais. Os efeitos das MCGs através do aquecimento da água, incidência de radiação ultravioleta, mudanças nos fluxos hidrológicos de água, sedimentos, matéria orgânica e nutrientes, nível e volume lacustres e, ainda, conectividade com o ambiente marinho podem causar significativas mudanças de fase nos sistemas lacustres costeiros. O problema da abertura artificial de barras de lagoas costeiras serve para ilustrar essas alterações, bem como a limitação para resiliência associada ao incremento de salinidade por intrusão de água do mar.

A comunidade zooplancônica na Lagoa Imboacica, no Estado do Rio de Janeiro, cuja área soma 3,26 km<sup>2</sup> e a profundidade máxima atinge dois metros, apresenta resiliência diferenciada, dependendo das condições prévias da abertura artificial de sua barra. A abertura das barras lacustres – cordão arenoso – implica aumento de salinidade, mudanças na comunidade biótica aquática, redução do estado trófico lacustre e exportação de matéria orgânica e de nutrientes para o oceano. Kozłowsky-Suzuk e Bozelli (2004) verificaram que a comunidade zooplancônica lacustre da fase salobra ou salina, com baixa biodiversidade e biomassa dominada por copépodes e larvas meroplancônicas, pode apresentar alta resiliência e demorar dois meses para ser recomposta. Em comparação, a comunidade com mais biodiversidade e maior biomassa, dominada por copépodes em águas oligohalinas – < 2,0 ‰ – e eutróficas, apresenta baixa resiliência, podendo levar até dois anos para se recuperar após um evento de abertura artificial (Santangelo *et al.*, 2007).

Santos e Esteves (2004) constataram o decaimento de bancos da macrófita aquática *Eleocharis interstincta* em função da redução do nível da Lagoa Cabiúnas, no Rio de Janeiro, cuja área ocupa 0,35 km<sup>2</sup> e a profundidade máxima alcança 3,5 metros durante o período de estiagem ao final do inverno. O decaimento dos bancos também é associado à abertura artificial da barra dessalagoa

após período de chuvas intensas. Nessas ocasiões, um intenso fluxo de fitodetritos das macrófitas é exportado para o ambiente marinho adjacente, implicando exportação de nutrientes. Em ambos os casos, as populações de *E. interstincta* parecem ser bastante resilientes à abertura da barra lacustre, com recuperação da biomassa em curto prazo – cerca de 30 dias.

A resiliência para controle das florações de cianobactérias está relacionada ao controle dos aportes de nutrientes para os sistemas lacustres (Brookes e Carey, 2011), porém os efeitos parecem se manifestar em médio prazo, decorrentes da carga interna aportada.

#### 4.3.3.3 AÇÕES ESTRATÉGICAS DE ADAPTAÇÃO A MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nas agendas internacional e nacional, relacionadas à sustentabilidade dos recursos hídricos, podem ser destacados os seguintes aspectos: melhoria do entendimento científico sobre ecossistemas aquáticos; desenvolvimento de estratégias para a proteção dos ecossistemas; aprimoramento dos sistemas de gerenciamento de recursos hídricos e, por fim, a promoção do desenvolvimento integrado dos recursos hídricos.

O foco nos ecossistemas aquáticos recai sobre os rios, lagos, represas e lagoas de água doce. As lagoas com águas salobras, assim como os estuários, têm sido consideradas em segundo plano devido ao não reconhecimento das águas salobras como recursos hídricos. Apesar disso, as lagoas costeiras funcionam como ecossistemas-chave na paisagem costeira, devido às importantes funções ecológicas no gradiente entre terra, rio, planície costeira e plataforma continental. Além dos aspectos relacionados à biogeoquímica e à biodiversidade, as lagoas costeiras contribuem efetivamente com uma série de bens e serviços ambientais de modo direto e indireto para a economia local e regional e o bem estar das populações do entorno (Kenissh e Parel, 2010). Assim, mesmo não sendo objeto de gestão de recursos hídricos pela eventual salinidade da água, os sistemas lacustres costeiros precisam ser conservados, sendo que, para isso os efeitos socioambientais negativos advindos das atividades humanas e naturais, como é o caso das MCGs, precisam ser avaliados.

A necessidade de se levar em consideração os serviços dos ecossistemas lacustres costeiros e de se implementar a abordagem ecossistêmica pode implicar considerável complexidade e incertezas no processo de planejamento e tomada de decisão. As incertezas são inerentes ao desenvolvimento do conhecimento e, por consequência, o resultado de uma dada política ou ação de gestão – gerenciamento de recursos hídricos na zona costeira em face às MCGs – não pode ser previsto com confiança (Linstead *et al.*, 2010).

Em geral, quanto mais pobre for o conhecimento, maior será a incerteza nas predições. A incerteza está relacionada ao conhecimento inadequado ou como reflexo da inerente variabilidade dos sistemas socioambientais. Tendo em vista que a compreensão científica sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, sob as atuais condições climáticas, é bastante avançada, o entendimento sobre os principais indutores de efeitos diretos das MCGs nos ecossistemas, como são os casos de temperatura do ar, hidrologia, nutrientes e substâncias tóxicas, é relativamente incerto. Já os efeitos de indutores indiretos, tais como as práticas agrícolas, o uso de solo, as águas subterrâneas e outras dimensões socioeconômicas – são bem menos compreendidos (Linstead *et al.*, 2010).

Nesse contexto, é importante o desenvolvimento de programas de monitoramento concisos e integrados de bacias hidrográficas e lagos que proporcionem sinais prévios de importantes efeitos de MCGs aos mesmos (Schindler, 2009). Essa proposta se justifica devido à capacidade dos sistemas lacustres em refletir de modo integrador os processos climáticos, hidrológicos e antrópicos que os afetam e, também, às suas bacias hidrográficas ao longo de diversas configurações climáticas e geográficas, podendo ser considerados como potenciais indicadores ou sentinelas das MCGs (Adrian *et al.*, 2009; Schindler, 2009; Tranvik *et al.*, 2009; Williamson, 2009).

Um exemplo disso é o Programa de Rede Global de Observatório Ecológico de Lagos – *Global Lake Ecological Observatory Network – GLEON*, [www.gleon.org](http://www.gleon.org) – que visa avaliar os efeitos das MCGs a partir de indicadores relacionados ao metabolismo lacustre, sendo essa a principal variável de estado alterada como resposta às MCGs. O programa *GLEON* tem como ênfase os lagos temperados, com capacidade restrita de avaliação dos efeitos das MCGs sobre os sistemas tropicais, sobretudo na zona costeira.

Conforme ressaltado à introdução deste capítulo do RAN1, programas de pesquisa científica, voltados para a avaliação dos efeitos de MCG, são ainda incipientes no âmbito internacional e, principalmente, nacional. Sem uma base de dados extensiva ao longo de anos elaborada a partir de indicadores representativos e modelos ecológicos consistentes, torna-se intangível o gerenciamento sustentável feito a partir de estratégias adaptativas a serem efetivamente integradas aos sistemas socioambientais das lagoas costeiras (Terwilliger e Wolflin, 2005).

Entretanto, Williamson *et al.* (2009) ressaltaram que não é imprescindível desenvolver uma série histórica consistente para, então, tornar-se possível avaliar os sinais das MCGs. Eventos climáticos extremos e episódicos como *El Niño* e *La Niña* – Oscilações Sul (ENOS) poderiam ser usados como estratégia, para se avaliar mudanças acentuadas sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e, igualmente, se realizar inferências a respeito de sua capacidade de resiliência. Williamson *et al.* (2009) destacaram ainda a dificuldade em distinguir os efeitos de mudanças impostas por atividades humanas como eutrofização e acidificação e que podem superestimar os efeitos das MCGs.

No Brasil, o Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que conta com uma rede de onze ecossistemas, sendo três lacustres costeiros – os das lagoas da costa Norte do Estado do Rio de Janeiro, e o da Lagoa dos Patos e o do Banhado do Taim, ambos no Estado do Rio Grande do Sul –, poderia dar ênfase à linha de pesquisa *padrões de frequência de perturbações naturais e impactos antrópicos*, com destaque para os efeitos das MCGs.

Os sítios costeiros do PELD poderiam formar a base de uma rede de avaliação de lagos costeiros brasileiros quanto aos efeitos das MCGs. Essa rede seria complementada, ainda, pela inclusão de lagoas dos estados de Santa Catarina, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Rio Grande do Norte e Ceará, abrangendo assim, diferentes latitudes e diversas condições fisiográficas e climáticas.

#### **4.3.4. PLATAFORMA CONTINENTAL E PRAIAS**

##### **4.3.4.1 INTRODUÇÃO**

Consideradas como um dos principais atrativos turísticos no Brasil, as praias correspondem a uma área de aproximadamente 82.800 hectares, sendo que apenas 2,7% dessa extensão estão inseridos em territórios protegidos por unidades de conservação de proteção integral. No caso de unidades de conservação de uso sustentável, esse percentual sobe para 21,5%. Em conjunto, a participação, total é de algo em torno de 24% (MMA, 2010).

Segundo a Lei n.º 7.661/88, entende-se por praia a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até onde se inicie a vegetação natural ou, na ausência de tal limite, onde comece outro ecossistema.

Por comporem a unidade fisiográfica limite entre o continente e o oceano, as praias se constituem em porções de território com grande propensão para a sentir os efeitos de mudanças climáticas.

Agrega-se a isto, o fato de que a faixa litorânea, quando não rochosa, é sujeita a variações espaciais em curto espaço de tempo, pois são ambientes dinâmicos influenciados diretamente por ondas e correntes marinhas. Essa dinâmica está associada, também, a processos antrópicos que potencializam os efeitos da erosão, conferindo à orla, peculiaridades que requerem esforços permanentes para manutenção de seu equilíbrio dinâmico.

Nessa ótica, torna-se fundamental dimensionar o que representam as variações espaciais no âmbito dos planejamentos ambiental e territorial, bem como, determinar os efeitos das alterações climáticas globais na orla. Muitos países têm adotado faixas de proteção ou de restrição de usos para esses ambientes, visando a manutenção das características paisagísticas e a redução de perdas materiais em decorrência da erosão costeira.

Somam-se a isso, as questões referentes a segurança para moradia e demais estruturas existentes na orla, com graves consequências para os setores imobiliário, de turismo e de infraestrutura, além da perda de biodiversidade ligada à alteração de ecossistemas costeiros.

#### **4.3.4.2 A ORLA MARÍTIMA**

A delimitação da zona costeira no Brasil se baseia em critérios políticos e administrativos. A porção terrestre é delimitada pelos limites políticos dos municípios litorâneos e contíguos, conforme os planos estaduais de gerenciamento costeiro, enquanto que a porção marinha é delimitada pela extensão do mar territorial – 12 nm ou 22,2 km da linha de base.

Em termos legais, a partir de 2004, um novo espaço de gestão territorial foi instituído: a orla marítima, definida no artigo 22 do Decreto nº. 5.300 como a faixa contida na zona costeira, de largura variável, compreendendo uma porção marítima e outra terrestre e caracterizada pela interface entre a terra e o mar.

Já o artigo nº. 23 do mesmo decreto definiu os critérios para delimitação da orla marítima, a saber:

- I – limite marítimo: isóbata de dez metros, profundidade na qual a ação das ondas passa a sofrer influência da variabilidade topográfica do fundo marinho, promovendo o transporte de sedimentos;
- II – limite terrestre: cinquenta metros em áreas urbanizadas ou duzentos metros em áreas não urbanizadas, demarcados na direção do continente a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas, tais como as caracterizadas por feições de praias, dunas, áreas de escarpas, falésias, costões rochosos, restingas, manguezais, marismas, lagunas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acrescidos.

Tal definição cria um espaço de gestão territorial dotado de especificidades e características que lhe conferem especial relação com os efeitos das mudanças climáticas, uma vez que agrega três fatores determinantes: zona de contato entre os oceanos e os continentes, alta mobilidade geomorfológica e suscetibilidade ambiental e grande pressão antrópica, pois se trata de região muito valorizada.

Dentre as ações governamentais incidentes nesse espaço do território nacional, destaca-se o Projeto ORLA: uma ação sistemática de planejamento local coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e pela Secretaria de Patrimônio da União (SPU), com vistas à gestão compartilhada e incorporando normas ambientais e urbanas na política de regulamentação dos usos dos terrenos e acrescidos de marinha como um processo mais inclusivo de alocação de recursos e tomada de decisões. Suas linhas de execução estão embasadas em métodos que exploram fundamentos de avaliação paisagística e a dinâmica geomorfológica e de uso e ocupação do litoral, para se pensar cenários com rebatimentos na aplicação dos instrumentos de ordenamento do uso do solo para a gestão de orla.

Tais características conferem ao projeto ORLA o espaço político e institucional para o trato das questões envolvendo uma das principais linhas de ação em mudanças climáticas: a da adaptação. Dentre as ações mais importantes para adaptação, destacam-se aquelas relacionadas com elevação do nível do mar e, principalmente, com erosão costeira – fenômeno esse, que tem obrigado governos a tomarem medidas como a remoção de comunidades inteiras. Um exemplo disso foi o caso da Vila do Cabeço, no Estado de Sergipe que, em função de altas taxas de retração da linha de costa junto à desembocadura do Rio São Francisco, foi realocada para alguns quilômetros continente adentro.

O fenômeno da erosão costeira é assunto do próximo tópico deste capítulo do volume 2 do RAN1, onde serão abordadas suas evidências, causas e relações com as mudanças climáticas ao longo da orla brasileira.

### **4.3.4.3. EROSÃO COSTEIRA**

#### **4.3.4.3.1 EVIDÊNCIAS, CAUSAS E MONITORAMENTO**

O litoral brasileiro possui grande diversidade de ambientes costeiros, que se desenvolveram ao longo do Quaternário e são caracterizados por depósitos de areias marinhas, na forma de cordões litorâneos, pontais e planícies de cristas de praia. Também, há segmentos representados por terraços lamosos ocupados por manguezais e falésias em sedimentos consolidados, precedidas por praias muito estreitas ou, muitas vezes, ausentes (Muehe, 2006). As principais forçantes que condicionam a zona costeira são as interações entre ondas e marés e o aporte sedimentar.

As modificações na posição da linha de costa decorrem, em grande parte, da falta de sedimentos, provocada pelo esgotamento da fonte, principalmente a plataforma continental. O processo se dá pela transferência de sedimentos para campos de dunas ou por efeitos decorrentes de intervenção do Homem, principalmente através da construção de barragens ou obras que provocam a retenção do fluxo de sedimentos ao longo da costa.

A estabilidade da linha de costa também é influenciada diretamente por alterações nos padrões do clima de ondas ou da altura do nível relativo do mar. Nos últimos 11.000 anos, a variação do nível do mar foi de aproximadamente 100 metros, resultando em uma migração da linha de costa, a uma taxa de sete a 14 m/ano, correspondente à largura da atual plataforma continental (Muehe, 2006).

Pode-se afirmar que, de uma forma geral, trechos do litoral em erosão predominam em relação àqueles em processo de progradação, sendo mais intensa as nas praias, seguidas pelas falésias e pelos estuários (El Robrini *et al.*, 2006; Souza-Filho e Paradella, 2003; Krause e Soares, 2004; Vital *et al.*, 2006; Bittencourt *et al.*, 2006; Neves *et al.*, 2006; Neves e Muehe, 1995; Manso *et al.*, 2006; Dominguez *et al.*, 2006; Muehe e Neves, 2008; Klein *et al.*, 2006; Horn, 2006; Angulo *et al.*, 2006; Toldo *et al.*, 2006; Calliari *et al.*, 1998; Speranski e Calliari, 2006).

Dentre as causas da erosão, aponta-se o fator antrópico como variável relevante, principalmente no que diz respeito à intervenção do homem nos processos costeiros e na urbanização dos espaços litorâneos. O balanço sedimentar negativo, seja por esgotamento da fonte natural – plataforma continental interna –, seja por retenção de sedimentos nos rios e dunas, também se constituem em causas do fenômeno.

Variações climáticas podem modificar a intensidade e frequência de tempestades que atingem a costa, alterando as características das ondas incidentes, principalmente quanto a altura, período e direção. Tais variações podem provocar mudanças na concentração da energia das ondas por efeito da refração controlada pela topografia do fundo marinho, acelerando o processo erosivo em alguns setores do litoral e, até mesmo, criando novas áreas de erosão.

Cabe ressaltar que, estudos preliminares, realizados por Machado *et al.* (2010), investigaram os padrões de ciclones que atingiram a costa sul do Brasil durante os últimos 30 anos, sem identificarem diferenças significativas entre a quantidade e as características dos eventos extremos sobre essa região.

A costa brasileira e a plataforma continental adjacente já foram classificadas e subdivididas por diversos autores. A Tabela 4.6 deste capítulo sistematiza as subdivisões desses compartimentos, destacando as principais características em termos de clima, marés, ondas e geologia. A última coluna descreve as principais modificações na linha de costa dessas regiões.

Informações sobre modificações na linha de costa em curto prazo são cruciais no trato com mudanças do clima, uma vez que as mesmas são altamente impactadas por variações no nível do mar, alterações nos padrões de tempestades – os de frequência e intensidade –, bem como, por alterações nos fluxos fluviais que desaguem no mar.

Tabela 4.6 Divisão da costa brasileira

Divisão da costa brasileira										Plataforma continental	Características principais		Modificações na linha de costa						
UF	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
AM	PA	MA	PI	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA	ES	RJ	SP	PR	SC	RS			
Silveira (1964)	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Schaeffer-Novelli et al. (1990)	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Dominguez (2009)	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Muehe (2010)	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Zembruski Et Al. (1972)	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Remplec E Revize	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Clima	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Sedimentação	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Marés/Ondas	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Costa	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			
Plataforma	Região amazônica ou Equatorial									Região Nordeste ou Litoral das Barreiras		Litoral oriental		Região Sudeste ou Litoral de Escarpas cristalinas		Região Sul, meridional ou litoral subtropical			

#### 4.3.4.3.2 PLATAFORMA CONTINENTAL

Inserida em uma margem passiva, ou do tipo Atlântico, a margem continental brasileira envolve em sua maior parte uma região tropical – até  $\sim 22-25^\circ \text{S}$  –, e subordinadamente subtropical, na porção mais ao sul. Tem as características de margem passiva clássica, com os elementos fisiográficos, tectono-magmáticos e sedimentares bem definidos em toda a sua extensão. Poucas margens continentais apresentam maior diversidade de morfologia, ambiente e tipos de sedimentos que a brasileira, tornando-a extremamente atrativa, tanto do ponto de vista científico, quanto econômico.

A plataforma brasileira varia consideravelmente em forma e largura. Apresenta-se mais larga na foz do Rio Amazonas – cerca de 300 km – e mais estreita ao largo de Salvador –  $\sim 5-8$  km. No geral é muito estreita – média de 50 km. Entretanto, torna-se mais larga ao Norte e ao Sul, resultado de maior aporte sedimentar, bem como na região de Abrolhos – maior recife de coral do Brasil e de todo o Atlântico Sul –, devido à atividade vulcânica (Zembruski *et al.*, 1971; Dominguez, 2009; Vital *et al.*, 2010). A quebra da plataforma é observada em geral em torno de 80 m. A cobertura sedimentar apresenta composição predominantemente siliciclástica ao Norte, carbonática no Nordeste e mista no Sul do Brasil. Em contraste com outras plataformas tropicais, os corais estão virtualmente ausentes, assim como os oóides e outras formas de carbonatos precipitados. Os sedimentos carbonáticos são dominados por algas coralinas recentes. A fauna dos recifes de coral brasileiros apresentam baixa diversidade e um endemismo significativo.

A plataforma continental é a extensão natural do território continental de um país costeiro, que é detentor dos direitos de soberania *para exploração e aproveitamento dos recursos do solo e subsolo marinhos* de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, que entrou em vigor no Brasil a partir do Decreto nº. 1.530, de 22 de junho de 1995. Essa convenção instituiu o conceito de Zona Econômica Exclusiva (ZEE), onde todo país costeiro *tem direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos e não vivos das águas do mar, do leito do mar e do seu subsolo e no que se refere a outras atividades com fins econômicos*. A água do mar contém vários recursos minerais, como o próprio sal marinho, que também é fonte de elementos economicamente importantes.

A crescente escassez dos recursos minerais sobre os continentes para atender à demanda cada vez maior, faz com que os oceanos representem importante área para mineração na Terra. Os recursos minerais marinhos devem ser entendidos, hoje em dia, como recursos essencialmente estratégicos. No Brasil, sob o ponto de vista político e estratégico, é necessário conhecer a geologia e os recursos minerais de nossa terra.

A morfologia de fundo da plataforma interfere diretamente nos processos erosivos e deposicionais através dos seus efeitos sobre a refração das ondas (Tabosa *et al.*, 2001, Vital *et al.*, 2005ab, 2006). O padrão de refração de ondas gerado pela morfologia da plataforma adjacente, localmente influenciado pela tectônica local e associado ao padrão de correntes, resulta em erosão e/ou deposição praias, afetando todo o litoral brasileiro.

#### 4.3.4.3.3 POTENCIAIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE ORLA MARÍTIMA E PLATAFORMA CONTINENTAL

Os oceanos possuem grande variedade de recursos vivos e minerais de interesse para o Homem. Além disso, seu papel como fonte de oxigênio à atmosfera, no controle climático global e no ciclo do carbono é vital não só para o ser humano mas para todos os seres vivos. Embora os oceanos ocupem a maior parte – 70% – da superfície terrestre, a maior produtividade é concentrada em águas costeiras e de plataforma continental. As mais produtivas estão associadas à proximidade do continente, recebendo grande influência dos processos que ali ocorrem. Consequentemente, essas também são continentes, recebendo grande influência dos processos que ali ocorrem. Consequentemente, essas também são



as áreas marinhas mais impactadas por atividades humanas, tais como mineração de areia, dragagens, exploração de recursos minerais, construção de barragens e desmatamentos ao longo de rios.

No Brasil, a maior parte da exploração de petróleo ocorre em ambiente marinho profundo, porém os impactos dessa atividade também atingem as áreas costeiras e a plataforma. Por elas passam os dutos e os navios que transportam os hidrocarbonetos extraídos para as plantas de processamento em terra. Além dos vazamentos do óleo, que afetam a biota e a qualidade da água, a presença de oleodutos e gasodutos interfere localmente nos padrões de sedimentação e o tráfego de navios obriga à dragagem dos canais de navegação, que pode alterar a distribuição de sedimentos para áreas adjacentes mais profundas.

As dragagens podem resultar em alteração no padrão de sedimentação local, alterando o tipo de sedimento depositado, com a consequente morte de organismos sésseis e a fuga das espécies com capacidade de locomoção. Por outro lado, o despejo de rejeitos de canais de navegação ou de outros tipos de resíduos sólidos causa o soterramento dos organismos na área de despejo, podendo provocar alteração na composição sedimentar do local e introdução de contaminantes. A construção de inúmeras barragens para geração de energia elétrica vem bloqueando cargas sedimentares, uma vez que muitos sedimentos ficam retidos nos lagos artificiais. Assim como a retenção dos sedimentos, o controle dos fluxos impede a ocorrência de picos de vazões, importantíssimos para o aporte sedimentar para a costa. Por outro lado, as atividades agrícolas e o desrespeito à manutenção das matas ciliares em margens de rios aumenta o suprimento sedimentar.

O aumento das atividades mineradoras nas regiões de plataforma continental, principalmente na Região Nordeste, demanda ação firme das agências controladoras na exigência de estudos ambientais prévios para um melhor conhecimento e monitoramento do ecossistema e, em consequência, para uma escolha da metodologia mais adequada de exploração e exploração desses recursos minerais. Principalmente, ao considerarmos que a maior parte da plataforma ainda não é conhecida e que estudos atuais têm demonstrado, por exemplo, a presença de corais em profundidades maiores que 20 metros, anteriormente não mapeados.

É importante ressaltar que o interesse a respeito do aumento de riscos de inundações costeiras em um clima mais quente futuro se concentra, geralmente, nos efeitos de mudanças no nível médio do mar. Entretanto, esse é apenas um dos principais fatores, pois estes incluem as marés e o clima, que também afetam o nível do mar. A maior parte da variabilidade diária no nível dos mares costeiros é normalmente devida às marés.

As marés costeiras são resultado da propagação de energia a partir dos oceanos profundos, onde elas são geradas por forças gravitacionais. Apesar de mudanças nas forçantes de marés astronômicas serem *negligíveis*, localmente podem ocorrer mudanças significantes para a amplitude das mesmas. Particularmente em estuários, a prática de dragagem para navegação e canalização de rios são fatores que influenciam sua variação. Da mesma forma, mudanças futuras na frequência e intensidade de tempestades irá afetar a probabilidade de inundação costeira.

#### **4.3.5. VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA: ASPECTOS NATURAIS, SOCIAIS E TECNOLÓGICOS**

Diversos e variados, são os conceitos de vulnerabilidade adotados na zona costeira quando se relaciona mudanças no clima a potenciais impactos nessa região. Cabe destaque à concepção adotada pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (SNDC) do Brasil, para a qual, vulnerabilidade é a probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça e é estabelecida a partir de estudos técnicos (Ministério da Integração Nacional, 2007, *apud* Muler, M. 2012). O mesmo se aplica ao conceito utilizado pela norte-americana *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA), para a qual vulnerabilidade é conceito que traduz o nível de exposição de vida, propriedade e recursos ao impacto de um perigo natural (NOAA, 1999).

Para o IPCC (2001) esse conceito se traduz no grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos de algum evento, além de ser função da característica, magnitude e taxa da variação climática ao qual está exposta sua sensibilidade e capacidade adaptativa.

Nesse mesmo sentido, a Política Nacional de Mudanças Climáticas – Lei nº 12.187/2009 – traz o conceito de vulnerabilidade como

*grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.*

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC), órgão vinculado à United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), define vulnerabilidade costeira como o estado das comunidades habitantes da costa – incluindo sua estrutura social, ativos físicos, economia e suporte ambiental –, que fazem com que as mesmas sejam mais ou menos afetadas por eventos extremos (IOC, 2009).

Como forma de refinar esse tipo de análise, a IOC sugere a aplicação de metodologias que integrem as variáveis inseridas nos principais tipos de riscos relacionados às mudanças climáticas. Outra recomendação é que as análises de vulnerabilidade sejam realizadas em diferentes escalas – de macro a micro – dependendo do enfoque que será dado pelos programas nacionais para gerenciamento costeiro integrado.

Para o presente estudo, as análises de vulnerabilidade, conforme representado na Figura 4.11 deste capítulo, foram realizadas no plano municipal, compatibilizando as informações existentes na base do MMA que foram publicadas no *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil* (2008). A metodologia e os resultados aqui apresentados foram extraídos de Nicolodi e Petermann (2010), sendo os mesmos descritos por regiões.

Importante ressaltar que se considera o conceito de risco ambiental, como a resultante de três categorias básicas, a saber:

- a) risco natural:** relacionado a processos e eventos de origem natural ou induzida por atividades humanas;
- b) risco tecnológico:** circunscrito ao âmbito dos processos produtivos e da atividade industrial (Castro *et al.*, 2005); e
- c) risco social:** categoria passível de ser analisada e desenvolvida por óticas distintas.

Neste Relatório, adotou-se o viés proposto por Egler (1996), em que o risco social é visto como resultante das carências sociais ao pleno desenvolvimento humano, que contribuem para a degradação das condições de vida.

Considerando essas três dimensões básicas para a construção de uma concepção abrangente de risco ambiental, a elaboração de uma metodologia para sua avaliação deve se fundamentar em três critérios básicos (Egler, 1996), a saber:

- a)** a vulnerabilidade dos sistemas naturais, compreendida como o patamar entre a estabilidade dos processos biofísicos e situações instáveis em que existem perdas substantivas de produtividade primária;
- b)** a densidade e o potencial de expansão da estrutura produtiva, que procura expressar os fluxos e os fluxos econômicos em uma determinada porção do território em uma concepção dinâmica; e, ainda,
- c)** o grau de criticidade das condições de habitabilidade, vista como a defasagem entre as atuais condições de vida e aquelas consideradas mínimas para o pleno desenvolvimento humano.

Figura 4.11. Exemplo da região de Itajaí.



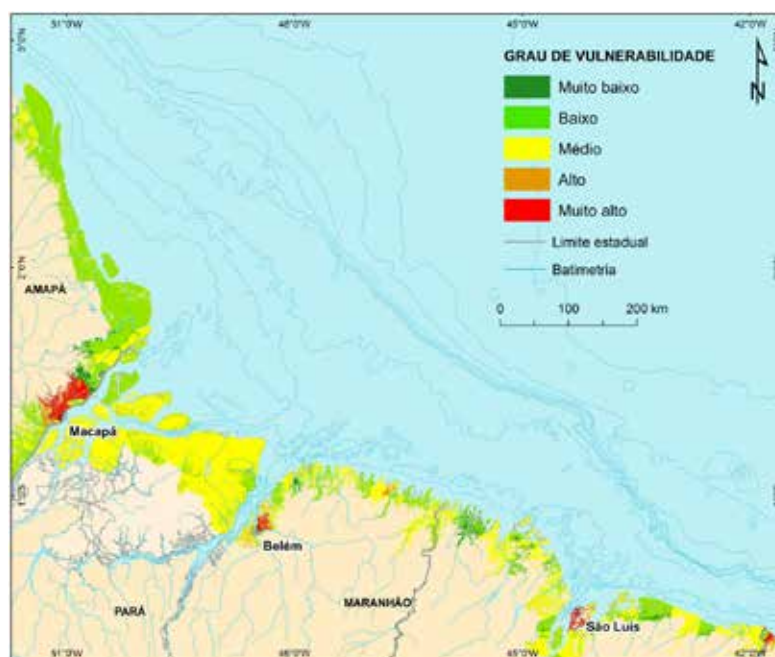
Obs.: Integração de dados espacializados dos três tipos de risco: (a) Risco natural; (b) Risco social e (c) Risco tecnológico, no litoral central e Norte do Estado de Santa Catarina. O resultado é apresentado em (d) Vulnerabilidade da costa

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010.

#### 4.3.5.1 REGIÃO NORTE

O litoral equatorial amazônico (Ab' Saber, 2000) apresenta, em linhas gerais, grau de vulnerabilidade baixo, com exceção das adjacências das três grandes cidades ali existentes: Macapá (AP), Belém (PA) e São Luiz (MA). Nesses casos, a vulnerabilidade foi classificada como alta ou muito alta, conforme representado na Figura 4.12.

Figura 4.12. Vulnerabilidade da costa Norte do Brasil.



Obs.: Grau de vulnerabilidade baixo, com exceção das adjacências das três grandes cidades ali existentes: Macapá, Belém e São Luís. Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010.

Características físicas como dinâmica costeira e geomorfologia, aliadas às condições socioeconômicas da população – a renda média e as carências de serviços básicos – e aos aspectos tecnológicos – tipos de indústria, tipologia de poluição e representatividade das mesmas quanto ao número de empregados –, conferem tais níveis de vulnerabilidade a essa porção do litoral.

Embora as características geomorfológicas da costa norte – planícies lamosas, por exemplo –, se constituam em entraves ao povoamento intENSO do litoral, alguns trechos vêm registrando crescimento populacional desordenado. Tal situação, agregada às informações sobre saneamento básico, leva a um coeficiente de proporção entre a população total e sua parcela exposta ao risco social de 33,7% para a Região Norte, – o que, em números absolutos, pode ser traduzido por 2.206.138 habitantes, em sua maioria residente nas capitais e na periferia de outras cidades (Astolpho e Gusmão, 2008. apud Nicolodi e Petermann, 2010).

Colaboram ainda para a definição de altos graus de vulnerabilidade das regiões metropolitanas do Norte do País, a associação entre os complexos metal-mecânico e de papel e celulose no litoral dos estados do Pará (PA) e do Maranhão (MA), com grandes investimentos na produção de minerais metálicos, como ferro e alumínio, associados às grandes extensões plantadas para a produção de celulose. Tal fator é determinante na elevação do risco tecnológico e da vulnerabilidade da zona costeira em pontos críticos, como é o caso em Barcarena (PA) ou São Luís (MA) (Egler, 2008. apud Nicolodi e Petermann, 2010).

#### 4.3.5.2 REGIÃO NORDESTE

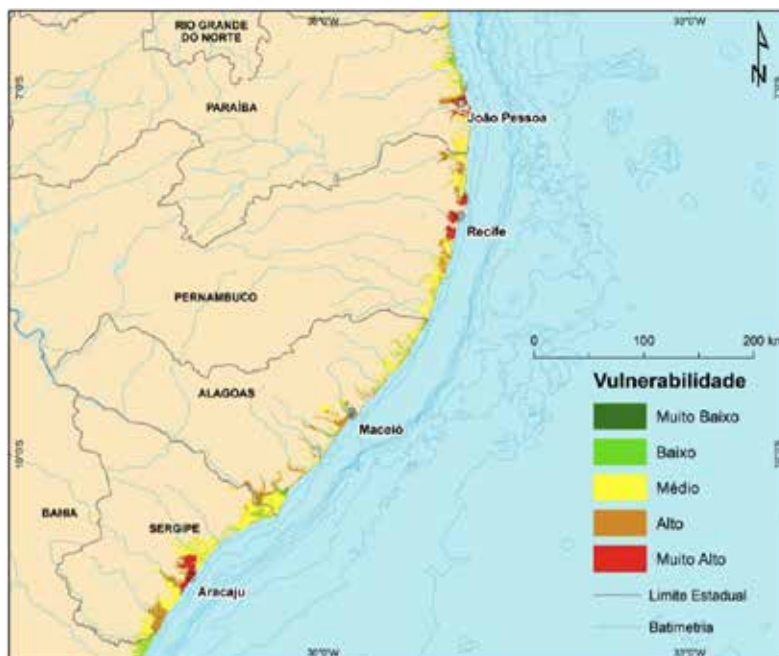
Ao contrário da Região Norte, onde apenas as regiões metropolitanas apresentam alta vulnerabilidade, a Região Nordeste demonstra alternância entre os cinco níveis que caracterizam tal aspecto, os quais não têm, necessariamente, relação direta com a dinâmica da população, conforme exibido neste capítulo às figuras 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16.

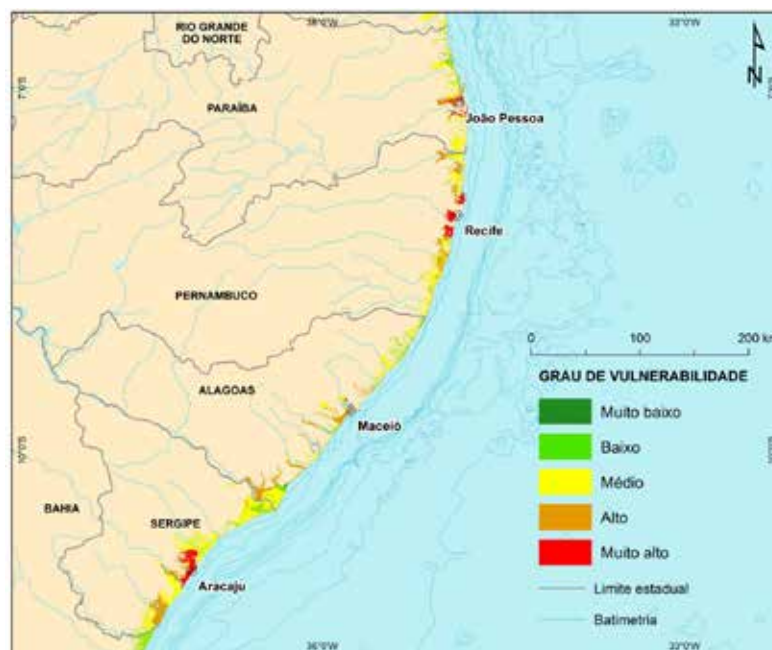
Figura 4.13. Mapa de vulnerabilidade da costa da Região Nordeste.



Obs.: exibe os estados do Piauí, do Ceará e do Rio Grande do Norte.  
Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

Figura 4.14. Mapa da vulnerabilidade da costa da Região Nordeste.





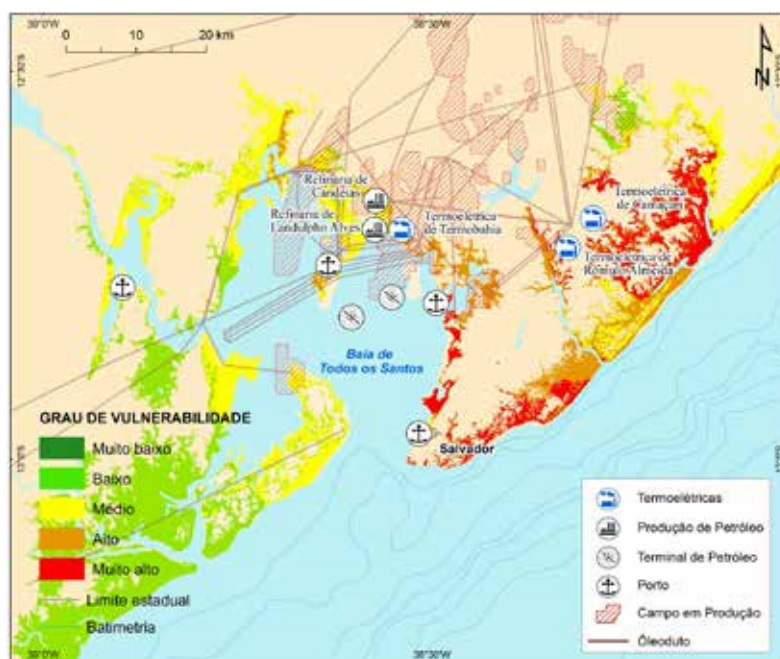
Obs.: exibe os estados de Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.  
 Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

Figura 4.15. Núcleos urbanos no Estado da Bahia.



Obs.: Estado cujo grau de vulnerabilidade é elevado devido a sua alta densidade populacional e a condições de saneamento básico deficitárias.  
 Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

Figura 4.16. Região metropolitana de Salvador.



Obs.: Altos índices de vulnerabilidade associados a um cenário de alto risco tecnológico.

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

Para a Região Nordeste do Brasil, o coeficiente de proporção entre população total e população exposta ao risco social é de 25,71% – em números absolutos, somam 12.286.455 habitantes, os mais potencialmente vulneráveis aos efeitos de mudanças climáticas (Nicolodi e Petermann, 2010).

Outro fator que contribui para a elevação da vulnerabilidade nessa região é o deslocamento do complexo químico para o litoral nordestino no eixo Salvador-Aracaju-Maceió, associado à expansão da fronteira energética no litoral. Tal fenômeno torna expressiva a concentração de dutos, terminais e fábricas. O entorno do Recôncavo Baiano e de cidades como Aracaju, em Sergipe; Maceió, nas Alagoas; Recife e Cabo de Santo Agostinho, em Pernambuco; e Macau e Guararé, no Rio Grande do Norte; são expressões marcantes desse processo, onde a associação entre os equipamentos energético e produtivo potencializa as condições de risco ambiental (Egler, 2008).

A Baía de Todos os Santos, onde se localiza a região metropolitana de Salvador, abriga população próxima de 3,5 milhões de habitantes, o que representa 23% do total residente no Estado da Bahia, um percentual muito próximo à média nacional. Nesse setor da costa baiana, os altos índices de vulnerabilidade encontrados estão associados a questões sociais e tecnológicas (Nicolodi e Petermann, 2010).

Apresenta-se nessa área, também, um cenário de alto risco tecnológico determinado prioritariamente pela presença do polo industrial de Camaçari, com destaque para a indústria petrolífera e suas unidades: a Refinaria Landulpho Alves, a Unidade de Produção de Gás Natural (UPGN) de Candeias e as usinas termoeletricas Celso Furtado, Rômulo Almeida e Camaçari.

#### 4.3.5.3 REGIÃO SUDESTE

O litoral capixaba e o Norte fluminense são constituídos por segmentos costeiros identificados como de vulnerabilidade média a baixa. Apenas três localidades exibem nível maior de classificação: a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Doce, a região da Grande Vitória e as áreas interiores de drenagem da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, como mostra a Figura 4.17.

**Figura 4.17.** Localidades com classificação de vulnerabilidade de média a muito alta



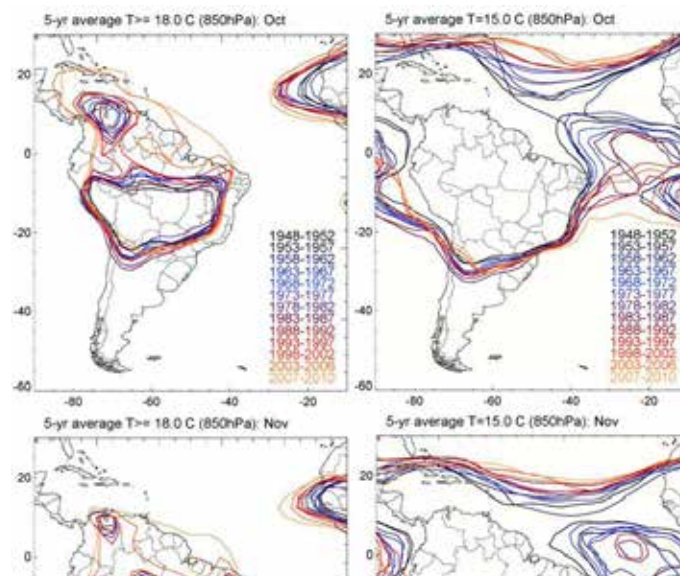
Obs.: Sub-bacia Hidrográfica do Rio Doce, região da grande Vitória e as áreas interiores da drenagem da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

Os graus mais elevados de vulnerabilidade identificados no litoral oriental fluminense estão associados às regiões dos municípios de Cabo Frio e Macaé, que nas últimas duas décadas vêm experimentando um acentuado desenvolvimento urbano vinculado às atividades de exploração petrolífera na plataforma continental contígua, como mostra a Figura 4.18.

A região da Baía da Guanabara congrega um dos mais elevados graus de densidade populacional do País, por vezes disposto ao longo dos baixos cursos dos rios que deságuam no sistema. Em situações de maré excepcionais – associadas a passagens de sistemas frontais que afogam as drenagens em seus baixos cursos –, acompanhadas por precipitações intensas no complexo serrano à retaguarda – que aumentam o volume das descargas fluviais –, a área do contorno interno da baía, mais rebaixada, fica exposta a fenômenos de inundação.

**Figura 4.18.** Graus mais elevados de vulnerabilidade identificados no litoral oriental fluminense, associados às regiões de São João da Barra e Macaé.

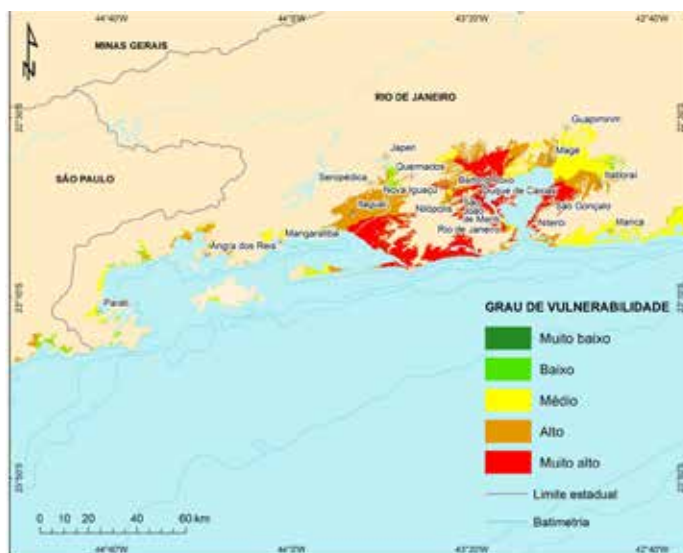


Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010



Aliado a esse contexto, o Rio de Janeiro apresenta a mais alta relação entre população exposta e total observada no Brasil, com uma taxa de 78%, o que equivale a um contingente de 11.194.150 habitantes, dos quais aproximadamente cinco milhões vivem na capital. Agrega-se a esses fatores condicionantes de alto grau de vulnerabilidade, o fato de que a região metropolitana do Rio de Janeiro abriga um dos mais importantes polos petroquímicos do País, com uma intrincada rede de refinarias, unidades de produção de gás natural, dutovias, campos de exploração *offshore* e portos, como representado na Figura 4.19.

**Figura 4.19.** Alto grau de vulnerabilidade da região metropolitana do Rio de Janeiro.



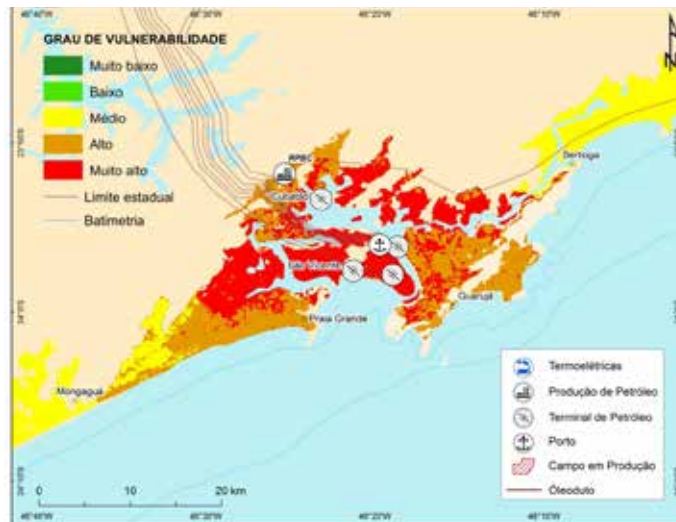
Obs.: Já a região costeira ao Sul da Baía da Guanabara apresenta baixa vulnerabilidade.

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

A região da Baixada Santista, que congrega a baía e o estuário de Santos, bem como as áreas urbanizadas no seu entorno, abriga o maior porto marítimo do Brasil e complexos industriais assentados nas pequenas planícies flúvio-marinhas que se desenvolvem no interior de enseadas próximas à base dos altos contrafortes da Serra do Mar, como representado neste capítulo na Figura 4.20.

Outro fator que agrega vulnerabilidade a toda região, é a evidente concentração produtiva no trecho entre Santos, no Estado de São Paulo, e Macaé, no Estado do Rio de Janeiro, com campos de extração, terminais e dutos de petróleo e gás, usinas termoelétricas e nucleares e, ainda, expressiva concentração dos complexos químicos e metal-mecânicos.

Figura 4.20. Região da Baixada Santista com o estuário de Santos.



Obs.: Suas características socioeconômicas e configuração geomorfológica determinam um alto grau de vulnerabilidade.

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

#### 4.3.5.4 REGIÃO SUL

Nesse segmento, estão presentes três portos marítimos importantes: os de Paranaguá, São Francisco do Sul e Itajaí. Tais municípios e/ou suas regiões circunvizinhas possuem densidades populacionais significativamente maiores que a média de habitantes por km<sup>2</sup> do litoral sudeste brasileiro. Essa conjunção entre fatores, topográficos e populacionais, e a importância socioeconômica desses núcleos urbanos, combinada ainda, a fatores de instabilidade na linha de costa, determina graus médio e alto de vulnerabilidade, conforme Figura 4.21.

Figura 4.21. Vulnerabilidade da porção norte da Região Sul.

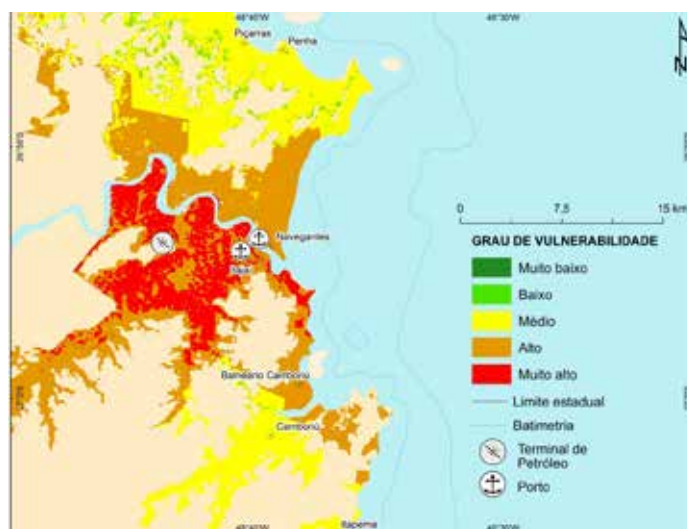


Obs.: A topografia, a densidade populacional e fatores socioeconômicos dos núcleos urbanos determinam graus médio e alto de vulnerabilidade.

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

Na costa catarinense, a região de Joinville, o Vale do Itajaí e a Grande Florianópolis apresentam grau muito alto de vulnerabilidade por representarem grandes adensamentos urbanos, localizados em cotas altimétricas inferiores a dez metros. Enchentes como as ocorridas em 1983 e 1984 e o evento de novembro de 2008, quando 135 pessoas morreram e mais de 1,5 milhão foram afetadas, demonstraram tal vulnerabilidade. Tais adensamentos urbanos, embora apresentem IDH relativamente altos, possuem número elevado de pessoas expostas ao risco social, conforme mostrado na Figura 4.22

**Figura 4.22.** Região de vulnerabilidade alta e muito alta, correspondente à porção remota da Sub-bacia Hidrográfica Conjugada do Rio Itajaí-Açu.



Obs.: Essa porção vem sofrendo inundações sistemáticas nos últimos anos, com destaque para os eventos ocorridos em 1983, 1984 e 2008.

**Fonte:** Nicolodi e Petermann, 2010

O litoral do Rio Grande do Sul é caracterizado por uma linha quase retilínea de 620 km que abriga um intrincado sistema de lagoas costeiras, com destaque para a Lagoa dos Patos, componente especialmente grandioso na costa brasileira. Fica na desembocadura dessa laguna, o único local definido como de alta vulnerabilidade no Rio Grande do Sul: a região do município de Rio Grande (Nicolodi e Petermann, 2010).

Contribui para esse cenário, o fato de que, no interior do estuário, está o principal núcleo urbano, com população estimada em 196.337 habitantes e com alta taxa de risco social, entendido como *deficit* de serviços básicos – coleta de lixo e esgotamento sanitário – e baixa renda por domicílio, equivalendo a quase 100% ao afetar 186.544 habitantes, conforme representado na Figura 4.23.

**Figura 4.23.** Grau de vulnerabilidade relativamente baixo do Sul do Estado de Santa Catarina ao limite com o Uruguai.



Obs.: A exceção é o núcleo urbano de Rio Grande. Essa região está sujeita a eventos meteorológicos de grande magnitude, como o do Furacão Catarina, ocorrido em 2004.

Fonte: Nicolodi e Petermann, 2010

O papel do porto de Rio Grande nessa porção do território, onde os níveis de vulnerabilidade são relevantes, deve ser considerado em conjunto com o da área metropolitana de Porto Alegre, no que diz respeito ao sistema lagunar em que estão situados. As possibilidades de incremento da movimentação da matriz energética e de mercadorias, bem como a implantação de novas indústrias na área em função de sua posição quanto ao Mercosul, são elementos particulares que provavelmente intensificarão o grau de risco tecnológico do litoral Sul nas próximas décadas (Egler, 2008).

#### 4.3.6 SUBSÍDIOS PARA A AÇÃO DO PODER PÚBLICO

A conclusão mais relevante da análise aqui apresentada, diz respeito à carência de informações relacionadas aos efeitos de mudanças climáticas sobre os ecossistemas costeiros no Brasil, bem como a respeito de sua vulnerabilidade a tais alterações. As poucas informações disponíveis se referem a alguns estudos locais e tratam, basicamente, dos efeitos de uma possível elevação do nível médio do mar sobre tais sistemas. A falta de séries históricas de dados na maioria dos campos da ciência é o maior impeditivo para uma análise mais apurada da temática em tela.

Análises sobre vulnerabilidade existem em escala nacional, conforme aqui apresentadas, ou local, o que deixa uma lacuna em termos de planejamento. Iniciativas comandadas pelo MMA, em função de suas prerrogativas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas, buscam fixar critérios para a definição de estratégias de adaptação das zonas costeiras aos efeitos de mudanças no clima. Um exemplo disso foi o 1º *Simpósio Nacional sobre Vulnerabilidade Costeira*, realizado em maio de 2013, com a participação de mais de 100 atores sociais diretamente envolvidos na temática.

Alia-se a esses fatores, o grau de incerteza quanto à própria definição quantitativa das mudanças climáticas em todo o planeta, criando assim, um cenário de indefinições quanto à tomada de decisão pelo poder público.

Conhecer as regiões mais ou menos vulneráveis aos impactos causados por efeitos diretos de alterações climáticas é fundamental para a tomada de decisões do poder público. Essas ações devem ser pautadas pelos principais tipos de riscos relacionados às mudanças climáticas em zonas costeiras, a partir da aplicação de metodologias que integrem as variáveis inseridas no processo.

Agregam-se a esse arcabouço, outros fatores que influenciarão indiretamente na dinâmica dessa porção do território, como, por exemplo, a possibilidade de alterações significativas nas vazões dos principais rios brasileiros, com aumento de volume nas bacias hidrográficas dos rios da Prata e Paraná e redução, nas bacias hidrográficas do Rio Amazonas e no Pantanal. A variação desses volumes implicará nova dinâmica de transporte sedimentar e seus consequentes efeitos na linha de praia.

Esses efeitos já foram preliminarmente identificados em um esforço governamental levado a cabo pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Neves e Muehe, 2008), e que devem ser ressaltados quando da elaboração de estratégias de ação para o poder público, a saber:

- a) erosão e progradação costeiras;
- b) danos a obras de proteção costeira;
- c) prejuízos estruturais ou operacionais a portos e terminais;
- d) danos a obras de urbanização de cidades litorâneas;
- e) danos estruturais ou prejuízos operacionais a obras de saneamento;
- f) exposição de dutos enterrados ou danos estruturais a dutos expostos;
- g) intrusão salina em estuários;
- h) intrusão salina em aquíferos;
- i) evolução dos manguezais e, ainda,
- j) danos a recifes de coral.

O cenário está posto e não há dúvidas de que o desafio de adaptação e atenuação das consequências desses fenômenos é enorme e não pode ser levado a cabo sem um detalhado referencial técnico, composto de análises de vulnerabilidade em micro e macro escalas.

Outro aspecto que deve ser amplamente debatido pela sociedade é o papel das instituições no processo. Nesse aspecto, é inegável que, em termos de gestão, o MMA deve ter prerrogativa de liderança, uma vez que a legislação o define como o coordenador do processo de gerenciamento costeiro no Brasil.

É justamente nesse escopo de planejamento estratégico integrado que as variáveis relacionadas à vulnerabilidade devem ser inseridas, principalmente quando da análise geográfica de prioridades de atuação.

Dentre as ações que devem compor o referido planejamento estratégico integrado destacam-se

- a efetivação de monitoramento ambiental sistemático e de longo prazo;
- o ordenamento territorial efetivo, principalmente em nível municipal;
- a efetivação das políticas estaduais de gerenciamento costeiro e
- o planejamento prévio e a priorização de estudos para as formas clássicas de respostas aos efeitos esperados de mudanças climáticas como recuo, acomodação e proteção.

Além disso, torna-se fundamental a adoção de medidas que visem à adaptação dos ecossistemas às novas condições, o que só pode ser alcançado por meio da gestão do território costeiro de forma integrada e plurissetorial.

## **4.4. ECOSISTEMAS OCEÂNICOS**

### **4.4.1 INTRODUÇÃO**

As mudanças climáticas são consideradas atualmente como o maior desafio ecológico, social e econômico da humanidade, com evidências científicas de que as atividades antrópicas têm contribuído sobremaneira para essa situação (Cleugh *et al.*, 2011). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), criado pelas Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial em 1988, afirma que uma parte significativa do aquecimento global observado nos últimos

50 anos está associada ao aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEEs) na atmosfera, provocado, em grande medida, pelo Homem (IPCC, 2007c).

Evidentemente, os oceanos, em decorrência das suas relações com a atmosfera e por cobrirem 70% da superfície do planeta, vêm sendo diretamente afetados pelas mudanças climáticas. Esses efeitos decorrem principalmente do armazenamento de uma quantidade considerável de calor nos oceanos proveniente da atmosfera<sup>3</sup>, o que provoca, além do aumento da temperatura da água das camadas superficiais, a elevação do nível do mar em decorrência da expansão térmica da água.

Outra consequência, não menos grave, é a acidificação dos oceanos decorrente da formação e subsequente dissociação do ácido carbônico –  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$  –, em razão da dissolução do dióxido de carbono na água, aspecto agravado pela elevada solubilidade desse gás<sup>4</sup>. Dessa forma, as alterações observadas nos oceanos decorrentes das mudanças climáticas têm efeitos diversos sobre a vida marinha.

Os recursos marinhos vivos apresentam, de uma maneira geral, uma elevada sensibilidade às variações dos parâmetros físico-químicos do ambiente no qual estão imersos, quando comparados aos animais terrestres (Jurado-Molina e Livingston, 2002). Por essa razão, mudanças das condições normais dos oceanos podem provocar efeitos importantes sobre o comportamento desses organismos, interferindo em diversos processos biológicos, como os de reprodução e de interações entre presas e predadores, retardando ou acelerando significativamente a recuperação de um determinado estoque pesqueiro.

Embora o ecossistema pelágico oceânico, que sustenta importantes atividades econômicas de exploração direta como a pesca, por exemplo, tenha atraído um interesse crescente da comunidade científica no sentido de melhor entender sua dinâmica ambiental, pouco ainda se sabe sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre esse ecossistema e os organismos marinhos que nele habitam – muitos dos quais, recursos pesqueiros de elevado valor comercial ou relevância para a segurança alimentar de inúmeras comunidades costeiras. Por essa razão, as consequências da pesca e dos efeitos das mudanças ambientais sobre eles têm sido motivo de grande preocupação de gestores e pesquisadores no mundo inteiro, estimulando o desenvolvimento de pesquisas e atividades de monitoramento que permitam melhor avaliar a saúde do ambiente marinho (Francis, 1990).

Do ponto de vista pesqueiro, além da dificuldade de se conseguir informações confiáveis sobre a cadeia produtiva da pesca, a relação entre as condicionantes bióticas e abióticas do ecossistema marinho é extremamente complexa, particularmente em um cenário de variações climáticas cada vez mais intensas. Considerando-se, portanto, o atual nível de exploração a que os estoques estão submetidos, associado à crescente instabilidade do clima, torna-se urgente o desenvolvimento de modelos de previsão que permitam projetar, o que poderá acontecer a partir da ocorrência de uma determinada situação no intuito de se prevenir e antecipar possíveis impactos das mudanças do clima sobre o ambiente, a biodiversidade e a pesca. Isso permitiria por consequência, uma melhor administração e o uso sustentável dos mesmos.

---

<sup>3</sup> O calor específico elevado da água faz com que a mesma seja um bom armazenador de calor, enquanto seu coeficiente de condutividade térmica, relativamente baixo, faz com que ela não ceda o calor absorvido com facilidade.

<sup>4</sup> A solubilidade do  $\text{CO}_2$  na água, igual a  $1,7 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$  e  $1.013 \text{ hPa}$ , é cerca de 200 vezes maior do que a do  $\text{O}_2$ , igual a  $0,009 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ;

## 4.4.2. IMPACTOS E VULNERABILIDADE

### 4.4.2.1 ASPECTOS AMBIENTAIS – FÍSICO-QUÍMICOS – DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Em decorrência das conexões entre atmosfera e oceano, as mudanças climáticas globais, provocadas por fatores naturais e antrópicos, têm provocado importantes alterações nos mares da Terra, principalmente no que se refere às concentrações de CO<sub>2</sub> e calor.

Nesse último caso, pesquisas têm demonstrado um aumento considerável na quantidade de calor estocado nos oceanos desde 1970, sendo essa uma evidência clara do aquecimento do planeta (Bindoff *et al.*, 2007). Suas camadas superficiais, portanto, têm cada vez mais, armazenado mais calor proveniente da atmosfera, com consequências diretas sobre a elevação do nível do mar, decorrente da expansão térmica da água. De acordo com Levitus *et al.* (2005), um aumento da ordem de 15.10<sup>22</sup> joules no calor armazenado nos oceanos foi observado entre 1955 e 1998, com uma média de 0,2 watts.m<sup>-2</sup>. No último século, o nível do mar subiu 1,7 mm.ano<sup>-1</sup>, mas dados obtidos por sensoriamento remoto indicam que, desde 1993, ele vem subindo a taxas bem mais elevadas, que variam de 2,5 mm.ano<sup>-1</sup> (Cabanés *et al.*, 2001) a 3,0 mm.ano<sup>-1</sup> (UNESCO, 2010).

Estudos têm demonstrado que, até 2100, o nível do mar aumentará de 0,5 m a 0,8 m, podendo subir até 1 m (Rahmstorf, 2007). Considerando-se também, o derretimento de geleiras e reservas glaciais do planeta, o nível do mar poderá subir 0,2 m a 0,7 m (Raper e Braithwaite, 2006). Do ponto de vista ambiental, os efeitos disso serão mais acentuados na zona costeira, onde ecossistemas de alta importância ecológica para diversos organismos marinhos serão diretamente afetados, como as lagoas, estuários e manguezais.

Entretanto, os efeitos do aquecimento global não se restringem apenas ao aumento do nível dos oceanos. O aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM), alterações na estrutura da termoclina – variação brusca de temperatura em uma determinada profundidade do mar ou em ambientes de água doce –, associadas à propagação do calor para zonas mais profundas do oceano, e ainda, o aumento na intensidade dos ventos e velocidade das correntes, são efeitos potencialmente importantes das mudanças climáticas sobre os oceanos.

A TSM, avaliada sob o prisma de suas anomalias, positivas ou negativas, tem sido utilizada como um dos principais parâmetros indicadores das mudanças climáticas sobre os oceanos. Sua elevação tem sido observada em diversas regiões do planeta, registrando em termo globais 0,6 °C no último século (Herr e Galland, 2009). Nas águas que banham a costa da Austrália, tem se observado, desde 1900, um aumento da ordem de 0,9 °C, dos quais 0,4 °C ocorreram nos últimos 50 anos (Cleugh *et al.*, 2011).

Entretanto, o ritmo das mudanças climáticas não é o mesmo em todas as zonas dos oceanos. Tampouco as respostas das espécies às variações de um determinado parâmetro ambiental, como a temperatura da água, são iguais, o que dificulta a avaliação dessas mudanças sobre os recursos vivos marinhos de forma abrangente e generalizada (Hobday *et al.*, 2012). Com base na análise de diversas variáveis ambientais e usando tendências históricas e projeções de aquecimento global, esses autores sugeriram que as regiões de *hotspots* ocorrem, em geral, na periferia das bacias oceânicas. São áreas com elevada dependência humana dos recursos marinhos como o sudeste da Ásia e a África ocidental, as quais deveriam ser consideradas para melhor se avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre os oceanos e seus recursos vivos e propor alternativas de adaptação às mesmas.

No que se refere à termoclina, camada que, em razão de seu gradiente térmico forte, apresenta também marcada descontinuidade faunística, tem se observado diminuição de profundidade média no Pacífico Centro-Oeste (Yeh *et al.*, 2009). Embora esses efeitos sejam mais evidentes durante a ocorrência de fenômenos climáticos periódicos, como o *El Niño*, o aquecimento global em longo prazo, provocado por causas naturais ou pela ação do Homem, poderá provocar alterações ainda mais importantes

e duradouras na estrutura térmica dos oceanos e, por consequência, no clima de nosso planeta.

Em relação à produtividade primária, alguns trabalhos já mostram indícios de diminuição – caso da desertificação oceânica –, com um aumento, nos últimos dez anos, da ordem de  $7 \times 10^6$  km<sup>2</sup> das áreas oligotróficas, principalmente nas bacias dos oceanos Atlântico e Pacífico (Valentin, 2008). Segundo esse autor, tal processo seria decorrente da elevação da temperatura superficial, a qual, consequentemente, acentuaria o gradiente térmico da termoclina, reduzindo a taxa de fertilização por processos de mistura vertical com águas mais profundas e ricas em nutrientes (Behrenfeld *et al.*, 2006; Behrenfeld, 2011; Siegel e Franz, 2010; Boyce *et al.*, 2010; Huisman *et al.*, 2004). A redução da biomassa fitoplânctônica, por sua vez, reduzirá a capacidade dos oceanos de absorverem CO<sub>2</sub>, potencializando o efeito do aquecimento global através de um processo de retorno ou reflexo –*feedback*, em inglês – positivo (Behrenfeld, 2011).

Ao longo da história geológica do planeta, os oceanos sempre atuaram como um imenso sumidouro do dióxido de carbono atmosférico, seja na forma dissolvida, em razão da elevada solubilidade desse gás na água, seja por fixação e posterior sedimentação de organismos planctônicos, os quais retêm carbono em seus constituintes orgânicos.

Cabe ressaltar que a hipótese mais aceita para a formação do petróleo – a hipótese biogênica –, assim como dos clatratos de metano, é a de que eles se originariam da biomassa planctônica sedimentada sob condições determinadas de temperatura e pressão. As reservas planetárias de combustíveis fósseis seriam, portanto, assim, o testemunho mais evidente da importância dos oceanos para o sequestro de carbono atmosférico ao longo das eras geológicas. Recentes trabalhos têm indicado, contudo, que os oceanos do mundo podem estar perdendo parte de sua capacidade de absorver CO<sub>2</sub>, devido, entre outros fatores, à intensificação dos ventos (Le Quéré, 2007).

Fortes variações da circulação atmosférica têm sido igualmente observadas em decorrência das variabilidades climáticas, entre as quais aquelas causadas pelo *El Niño*, processo que provoca um aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico, ocasionando mudanças na atmosfera próxima à superfície, com consequências em escala global. O aquecimento do Oceano, porém, provoca mudanças na circulação da atmosfera, desde os níveis mais baixos até os mais altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade e, portanto, variações na distribuição de chuvas em regiões tropicais e em latitudes médias e altas.

Um dos mecanismos capazes de desencadear ou amplificar mudanças climáticas num período relativamente curto é a circulação termohalina (Bradley, 1999). Um aumento de precipitação em latitudes elevadas, associado à intensificação do processo de derretimento da calota polar, geleiras e cobertura glacial da Groelândia, por exemplo, poderá causar significativa redução potencial de salinidade das águas superficiais do Atlântico Norte e, consequentemente, de sua densidade, enfraquecendo ou mesmo interrompendo, o afundamento das mesmas em razão de seu resfriamento nos mares da Islândia e Noruega.

Tal fenômeno teria como consequência a suspensão da circulação termohalina e a paralisação da chamada esteira de calor transportadora do Atlântico Norte – em inglês, *North Atlantic Conveyor Belt* –, com um consequente recuo da Corrente de Golfo. Isso geraria, paradoxalmente, um progressivo arrefecimento de atmosfera – superfície das águas oceânicas dessa região atlântica, com possível resfriamento significativo do continente europeu (Weaver e Hillaire-Marcel, 2004) e aumento das temperaturas em regiões extratropicais do hemisfério Sul (Machado e Justino, 2011).

Outro fenômeno que, potencialmente, poderia agravar o aquecimento global pelo efeito estufa seria a eventual – e possivelmente progressiva – liberação do metano contido nas camadas congeladas de clatratos ou hidratos presentes no subsolo marinho ou continental – fenômeno conhecido como *permafrost*. Embora as avaliações da quantidade de carbono contida nesses compostos sejam ainda bastante variáveis, as mesmas apontam para volumes que vão desde a metade a mais de duas vezes



e meia o montante existente no planeta sob todas as outras formas de combustíveis fósseis, com o agravante de o metano possuir um potencial de aquecimento global cerca de 20 vezes maior do que o dióxido de carbono. O risco, nesse caso, seria o possível surgimento de um processo de reflexo – *feedback*, em inglês – positivo, mediante o qual a intensificação da liberação do metano contido nessas reservas agravaria o efeito estufa, elevando a temperatura do planeta e causando, assim, a liberação de mais metano.

Outro aspecto importante ligado indiretamente à mudança climática, mas com consequências diretas sobre o ecossistema marinho, é a acidificação dos oceanos. Esse processo, como mencionado acima, decorre da dissolução do CO<sub>2</sub> atmosférico na água do mar, transformando-se em ácido carbônico –  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$  – e causando a diminuição do pH (Valentin, 2008). Estimativas apontam que o pH da superfície oceânica tenha diminuído em cerca de 0,1, numa escala logarítmica, com uma diminuição da ordem de 0,3 a 0,5 até 2010 (Caldeira e Wickett, 2003). Em princípio, uma aceleração dessa mudança no próximo século, poderá ter tanto consequências sobre o crescimento do plâncton, tanto positivas quanto negativas.

Durante a fotossíntese, o fitoplâncton absorve o CO<sub>2</sub> e libera oxigênio, sequestrando, assim, o CO<sub>2</sub> atmosférico, processo chamado de *bomba biológica* e que é favorecido por uma maior disponibilidade de dióxido de carbono dissolvido na água (Behrenfeld, 2011). Por outro lado, entretanto, certas espécies necessitam fixar carbonato de cálcio em suas carapaças, processo dificultado pela acidificação do meio ambiente marinho, da mesma forma que sua dissolução é facilitada em níveis de pH mais baixos.

O mesmo impacto atinge também diretamente outros grupos taxonômicos importantes, como os corais, moluscos e crustáceos, que utilizam o carbonato de cálcio em suas carapaças ou outros constituintes orgânicos (Valentin, 2008).

#### **4.4.2.2. ASPECTOS BIOLÓGICOS**

##### **4.4.2.2.1 ALTERAÇÕES NA BIOTA MARINHA**

Embora algumas alterações nas características ambientais dos oceanos, principalmente em regiões costeiras, estejam associadas às variabilidades climáticas naturais e, mesmo, às ações antrópicas locais, as mudanças climáticas que vem ocorrendo no planeta têm sido responsáveis por transformações oceânicas importantes. Mudanças de temperatura da água, correntes e ressurgências costeiras são exemplos disso. (Bakun, 1990; IPCC, 2007c; Diaz e Rosenberg, 2008), que pode afetar direta e indiretamente importantes processos biológicos em diversos representantes de vida marinha – tais como alimentação, reprodução, distribuição e migração.

Entretanto, entre os fatores ambientais, a temperatura da água certamente é o que mais influencia organismos de diferentes ecossistemas marinhos (Laevaustu, 1993).

A elevação da temperatura da água do mar promoverá, certamente, alterações importantes na composição específica e na consequente dinâmica dos ecossistemas marinhos, com efeitos extremamente difíceis de prever. O equilíbrio existente entre as diversas espécies integrantes de um determinado ecossistema será alterado em função de suas respectivas tolerâncias a diferentes temperaturas, conduzindo o mesmo a uma nova condição de equilíbrio baseada em diferentes relações entre competidores e, também, entre presas e predadores. As interações interespecíficas na teia alimentar marinha, porém, são bastante complexas, tornando praticamente impossível prever variações de abundância entre as diversas espécies (Benincá, 2008).

O mapa de distribuição geográfica de uma parte significativa da biota aquática será, portanto, redesenhado, com consequências extremamente relevantes para a biodiversidade e para a atividade pesqueira. Algumas espécies se tornarão mais abundantes em áreas onde antes eram escassas, enquanto

outras diminuirão ou desaparecerão. No entanto, a tendência predominante e devida ao estresse associado a essas mudanças será de perda ou alteração de biodiversidade e possivelmente, acentuada. De qualquer forma, as respostas das diferentes espécies – a exemplo das eurióicas, generalistas, que apresentam ampla distribuição, e estenóicas, que vivem em um único tipo de ambiente – frente às mudanças do ambiente estarão diretamente associadas a suas capacidades de tolerância —, a adaptabilidade a novas condições ambientais – e, também, claro, à velocidade em que elas ocorrerem.

Composições fito e zooplanctônicas poderão sofrer alterações significativas, com possível aumento na intensidade e floração de, por exemplo, algas nocivas (Van de Waal, 2011), em particular nas regiões costeiras sujeitas a grau maior de eutrofização. Em consequência das possíveis alterações no plâncton, os processos de desenvolvimento larval de diversas espécies poderão ser diretamente afetados, seja em razão do aumento na incidência de doenças e parasitas, seja pela redução na disponibilidade de organismos forrageiros, decorrente das variações na abundância e composição planctônica.

Além disso, temperaturas mais elevadas poderão causar a desconexão entre espaço e tempo nos processos reprodutivos, antecipando, por exemplo, o período de desova, e fazendo com que o mesmo ocorra fora de fase, coincidindo com o pico de disponibilidade de organismos forrageiros, e em áreas diversas daquelas tradicionalmente utilizadas, como as mais distantes da costa onde a sobrevivência larval poderá ficar comprometida.

As comunidades coralíneas, por sua vez, sofrerão não apenas com a alteração na temperatura, mas também, com o processo de acidificação associado ao aumento na concentração de CO<sub>2</sub>, favorecendo assim, o desenvolvimento de corais em regiões antes não ocupadas pelos mesmos e restringindo sua presença em ecossistemas onde se encontram atualmente presentes. Considerando-se, contudo, o tempo de desenvolvimento bastante lento dessas comunidades, é provável que o impacto no curto prazo seja muito mais negativo do que positivo.

Além disso, as novas áreas em que as condições de temperatura poderão eventualmente ser favoráveis ao desenvolvimento de corais poderão não apresentar outras variáveis adequadas ao crescimento desses organismos, como por exemplo, transparência da água. Temperaturas da água do mar mais elevadas também reduzem a solubilidade e a consequente disponibilidade do oxigênio, contribuindo para o branqueamento dos corais.

Os organismos coralíneos possuem uma alga simbiótica – as zooxantelas –, da qual dependem diretamente seus processos nutritivos. Por razões ainda não muito bem compreendidas, mas aparentemente associadas à elevação da temperatura, os corais eventualmente expelem suas zooxantelas, embranquecem e morrem. Para dar uma ideia do possível impacto desse fenômeno, em 2002 mais da metade dos 40 mil km<sup>2</sup> da grande barreira de corais australiana sofreu algum grau de branqueamento (Stone, 2007).

A consequência desses processos, associados a outros fatores contributivos para a perda de qualidade do ecossistema marinho, como a poluição oriunda dos continentes e o aumento da quantidade de material em suspensão, tem sido a progressiva redução das áreas cobertas por corais em todo o mundo, tendência essa que deverá se acentuar substancialmente com o agravamento do aquecimento global.

O impacto negativo do aquecimento do planeta sobre essas comunidades seriam, ademais, potencializados ao longo dos diversos níveis tróficos em razão do grande número de espécies que dependem desses ecossistemas para abrigo, reprodução e alimentação. As consequências sobre os processos de recrutamento de espécies capturadas comercialmente poderão ser catastróficas, com graves prejuízos, não somente para a biodiversidade, mas também para a segurança alimentar de inúmeras comunidades costeiras em todo o mundo, principalmente nos pequenos países insulares em desenvolvimento, muitos dos quais dependem diretamente desses ecossistemas para sua subsistência, diretamente por conta de sua atividade pesqueira e, indiretamente, como resultado do turismo.

Além dos efeitos do aquecimento oceânico diretamente sobre os processos reprodutivos e de recrutamento, nas relações entre presa e predador e, na consequente distribuição geográfica das diversas espécies integrantes da biota aquática conforme acima discutido, o aumento de temperatura poderá causar outros impactos menos evidentes. Tais são os casos de alterações como as de proporções sexuais em diversas espécies, como em tartarugas marinhas, já que a ocorrência desse fenômeno durante o processo de desenvolvimento embrionário tende a expandir a população de fêmeas. Porém, nesse caso específico, a estratégia reprodutiva dos machos parece ser capaz de compensar proporções sexuais diferentes das observadas ao nascimento, mesmo em situações com uma forte predominância de fêmeas (Wright *et al.*, 2012).

Inexoravelmente, as possíveis alterações na biota marinha, decorrentes do aquecimento global, provocarão impactos importantes e diretos sobre a atividade pesqueira, tanto costeira como oceânica. A seguir, discute-se neste capítulo, alguns efeitos diretos de alterações ambientais importantes sobre a pesca oceânica de grandes peixes pelágicos, mesmo que temporárias e associadas de uma maneira geral à variabilidade climática global provocada pelo fenômeno de *El Niño*.

#### 4.4.2.2 EVENTUAIS IMPACTOS SOBRE RECURSOS PESQUEIROS

No ecossistema pelágico oceânico, a pesca é provavelmente a única atividade humana que poderá sofrer diretamente os impactos das alterações nas características desse ambiente provocadas por mudanças climáticas no planeta Terra. Entre os tipos de pescarias desenvolvidos em mar aberto, o de atum e de espécies afins certamente serão os mais atingidos. Isso se dará, em decorrência de sua vasta abrangência espacial, uma vez que a mesma é praticada nos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, e também, por conta dos elevados valores que esses produtos atingem no mercado mundial de pescados.

Esse tipo de pesca apresenta como característica principal variação bem definida no tempo e no espaço, diretamente associada à forte variabilidade das condições do ambiente pelágico oceânico (Fonteneau, 1998a, 1998b). É a heterogeneidade da relação entre essas variáveis, característica desse ecossistema, que condiciona a concentração das diferentes espécies em um determinado setor e época do ano, onde e quando as condições oceanográficas são favoráveis ao crescimento, reprodução e alimentação desses importantes recursos pesqueiros (Fonteneau, 1998b; Travassos, 1999a).

Estudos realizados sobre as principais espécies de atuns capturadas por diversas artes de pesca no Oceano Atlântico comprovaram que as mudanças climáticas têm afetado não apenas o recrutamento dessas espécies, mas igualmente sua distribuição e abundância e, em consequência, suas capturas (Cayré e Brown, 1986; Fonteneau e Roy, 1987; Lehodey *et al.*, 1997; Marsac, 1992; Travassos, 1999a).

Embora os atuns e outras espécies de grandes peixes pelágicos, como alguns tubarões, sejam espécies euritérmicas<sup>5</sup> (Block e Stevens, 2001), a temperatura da água exerce grande influência em suas distribuição e abundância. Entretanto, se as variações da relação entre espaço e tempos das principais espécies de atuns são relativamente bem conhecidas e associadas, em grande parte, ao ciclo anual da TSM, outros fatores oceanográficos apresentam também um efeito importante sobre as capturas das mesmas. Entre esses parâmetros, é provavelmente a estrutura da termoclina – o conjunto de profundidades do topo e da base, espessura e gradiente térmico – o mais importante para a pesca – principalmente, para aquela que é praticada por espinhel.

Alterações importantes em TSM e na estrutura da termoclina podem influenciar diretamente o comportamento dessas espécies, promovendo mudanças nos seus padrões de distribuição e abundância, com efeitos diretos na atividade pesqueira.

As mudanças de TSM também afetarão a estrutura e a posição geográfica das frentes termohalinas. Essas últimas têm um marcado papel na distribuição do atum e em sua pesca (Sund, 1981; Olson *et al.*, 1994). A afinidade entre várias de suas espécies e as frentes são muito claras no Sul do Brasil, particularmente pela influencia exercida pela convergência subtropical (Schroeder e Castello, 2007). Um exemplo dessa relação foi observado na porção tropical do Oceano Atlântico, no Golfo da Guiné, em decorrência de importante anomalia climática que ocorreu em 1984 (Piton, 1985; Hisard *et al.*, 1986; Philander, 1986). De acordo com Fonteneau e Roy (1987), a área adjacente ao Cabo Lopez, no Gabão e localizado no Sudeste do Golfo da Guiné, é tradicionalmente conhecida como importante zona de pesca de atum com rede de cerco, cujas capturas anuais variam de 10.000 toneladas (t) a 20.000 t de bonito listrado ou *Katsuwonus pelamis*, juvenis de albacora laje ou *Thunnus albacares* e albacora bandolim ou *Thunnus obesus*.

Ainda segundo esses autores, essas capturas elevadas decorrem de condições oceanográficas favoráveis, vigentes de maio a setembro principalmente, no que se refere à presença de uma frente termohalina. Trata-se da frente de Cabo Lopez, que separa as águas quentes da Baía de Biafra, mais ao Norte, das frias das ressurgências costeiras do Gabão, e que favorece a formação e a concentração de cardumes de atum e suas capturas nessa época do ano.

Com as fortes alterações ambientais registradas em 1984, foram observadas anomalias de TSM de até 4 °C acima da média climatológica para a região, assim como ausência total de ressurgência, fenômeno responsável pelo enriquecimento biológico dessa zona e pela formação de frentes termohalinas.

Dessa forma, nenhuma das condições que se acreditava responsáveis por promover elevadas concentrações de atuns e bons resultados nas pescarias estava presente naquele período do ano em Cabo Lopez. Entretanto, as capturas excepcionalmente elevadas de bonito listrado, com uma média de 9,7 t/dia de pesca entre maio e julho, fizeram com que essa espécie contribuísse em 70% da captura total, índice bastante elevado e jamais registrado nessa pescaria. Isso demonstrou que, ao menos para essa espécie, outros fatores ambientais e também biológicos interferiram para promover forte abundância da mesma naquele setor (Fonteneau e Roy, 1987).

Juntas, as capturas das albacoras laje e bandolim, por sua vez, foram bem mais baixas – da ordem de 2,8 t/dia de pesca. Não se sabe ao certo o que promoveu essa elevada captura do bonito listrado, em detrimento de duas outras espécies. Mas, sua migração de para Cabo Lopez, independente das condições ambientais vigentes, pode ter sido determinada por fatores como o aporte de nutrientes de rios decorrentes das fortes chuvas que ocorreram no período ao promoverem, além de enriquecimento biológico nesse ambiente, uma quantidade maior de objetos flutuantes trazidos pelos referidos cursos d'água – como troncos, que agregam e facilitam a captura de atuns – e a memória genética da população (Fonteneau e Roy, 1987).

Entretanto, nem sempre os efeitos das mudanças no ambiente pelágico oceânico são favoráveis à atividade pesqueira. Analisando as anomalias da TSM no Atlântico Sul e a distribuição da relação entre espaço e tempo para albacora branca – a *Thunnus alalunga*, uma espécie de atum de águas temperadas –, Travassos (1999b) observou que embora fortes, as primeiras observadas na área de desova ao largo da costa brasileira, não tenham interferido na migração reprodutiva da espécie, provocaram quedas importantes nos rendimentos da pesca.

Tanto a migração de reprodução da albacora branca no Atlântico Sul<sup>6</sup> como a sua migração trófica de retorno às áreas de alimentação em latitudes elevadas após a desova são efetuadas de forma sincronizada com as estações do ano (Travassos, 1999b). Ao contrário das espécies tropicais de atuns – como o bonito listrado e as albacoras laje e bandolim –, que se reproduzem com maior frequência,

---

<sup>5</sup> Espécies que possuem a capacidade de regular sua temperatura corpórea através de processos fisiológicos e comportamentais com certo grau de independência da temperatura da água do mar e ampliando a abrangência espacial de seu *habitat* nos oceanos.

dependendo das condições do ambiente – caso do comportamento oportunista –, a albacora branca só realiza sua reprodução uma vez por ano, em áreas e épocas bem definidas, onde e quando as condições ambientais são favoráveis à desova (Cury, 1994, 1995). Isso implica periodicidade regular desses deslocamentos de larga escala, cujo início provavelmente está associado a um estímulo externo que, em princípio, deve apresentar também essa mesma periodicidade (Cayré, 1990).

Considerando-se que esse estímulo seja a temperatura da água do mar, cujas variações sazonais podem ser acompanhadas pelos deslocamentos de isotermas, a ocorrência de anomalias positivas ou negativas de TSM poderia provocar avanço ou atraso no início das migrações transoceânicas da albacora branca (Travassos, 1999b), conforme na Figura 4.24. No caso da migração reprodutiva, seu início ocorre normalmente a partir de agosto para setembro no Sul da África, mais precisamente na costa da Namíbia e na África do Sul, a principal zona de alimentação da albacora branca. Concentrações importantes da espécie podem ser observadas na área de desova, ao largo da costa brasileira, já a partir de outubro e até fevereiro, quando a temperatura da água na região é adequada à desova.

Entretanto, ao analisar as mudanças ambientais e a distribuição da relação entre espaço e tempo para a espécie – quanto a capturas e índices de abundância – no Atlântico Sul, Travassos (1999b) constatou que, mesmo as mais fortes anomalias de TSM registradas no Sul da África – em 1973, 1984 e 1987 – não provocaram alterações na migração reprodutiva da espécie em direção à costa do Brasil, que se iniciou sempre de agosto para setembro. As concentrações na zona tradicional de desova de outubro a fevereiro também foram observadas, apesar das fortes anomalias positivas de TSM registradas.

Era de se esperar que essas anomalias provocassem mudanças no processo migratório da espécie em busca de outras áreas onde as condições ambientais fossem mais favoráveis a sua desova. Entretanto, nenhuma captura anormal da espécie em outras zonas de pesca do Sul do Oceano Atlântico foi observada que pudesse confirmar tais mudanças. Esses resultados mostraram que a albacora branca apresenta um comportamento obstinado, que consiste em retornar ao local de nascimento para se reproduzir – o chamado *homing* (Cury, 1994) –, independentemente das condições ambientais vigentes no seu *habitat* (Travassos, 1999), conforme representado na Figura 4.24. Porém, se a espécie está sempre presente na área e na época da desova ao largo da costa brasileira, como explicar as quedas nas capturas da albacora branca quando da ocorrência de fortes anomalias positivas da TSM no momento da reprodução

○ Sudoeste da porção tropical do Oceano Atlântico ao largo da costa brasileira é uma conhecida zona de pesca da espécie, em decorrência da elevada concentração reprodutiva que ocorre de outubro a fevereiro entre Recife e Rio de Janeiro e que está diretamente associada às temperaturas adequadas à desova e ao desenvolvimento de larvas (Bard, 1988). Nessa área, as condições térmicas de superfície e subsuperfície são relativamente estáveis ao longo do ano, de maneira geral.

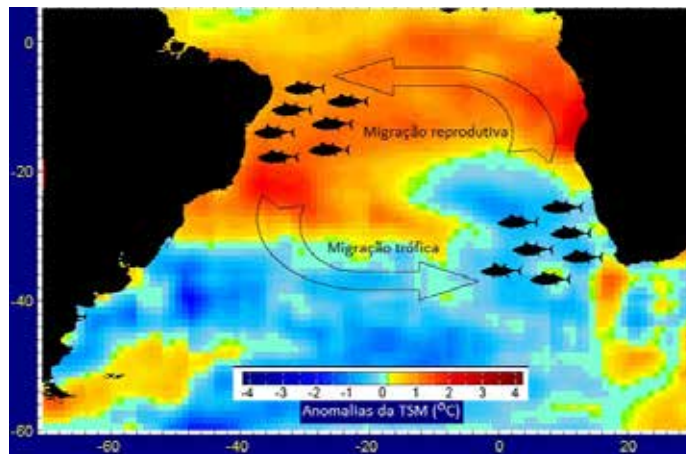
Entretanto, aquecimentos anômalos importantes, superiores a 2 °C, foram registrados durante o período de desova da espécie durante a primavera e o verão de 1972 para 1973, de 1973 para 1974 e de 1987 para 1988 (Travassos, 1999a, 1998b), associados ao fenômeno *El Niño* registrado de 1972 para 1973 e de 1986 para 1987 (Rebert e Donguy, 1988; Nicholson, 1997)<sup>7</sup>.

Estudando os efeitos das alterações ambientais sobre a pesca da albacora branca no Sul do Oceano Atlântico, Travassos (1999b) observou que a ocorrência dessas fortes anomalias positivas da TSM foram as responsáveis pelas quedas nos rendimentos da pesca durante esses períodos.

---

<sup>6</sup> A *International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna (ICCAT)*, organização regional para o ordenamento pesqueiro responsável pela gestão da pesca e conservação das espécies de atum no Oceano Atlântico, considera a existência de três estoques: o do Mar Mediterrâneo, o do Atlântico Norte e o do Sul do Atlântico. Esses últimos estão separados pela latitude de 5° N.

**Figura 4.24.** Esquema representativo das migrações da albacora branca no Sul do Oceano Atlântico, independente das anomalias da temperatura da superfície do mar.



**Fonte:** Travassos, 1999.

É preciso, contudo, conhecer um pouco da ecologia da espécie para melhor se entender como essas alterações ambientais provocaram efeito negativo sobre as capturas da espécie ao largo do Brasil, sem interferir em sua migração. Sendo uma espécie temperada, a preferência térmica – faixa de temperatura ótima – da albacora branca é por águas com temperaturas entre 15 °C e 20 °C, embora sua tolerância seja bem mais ampla, suportando variações de 7 °C a 25 °C (Boyce *et al.*, 2008). Portanto, quando a espécie se encontra nadando em águas quentes da camada de mistura – >25°C – da zona tropical para se reproduzir, sua temperatura corpórea tende a aumentar significativamente acima dos níveis tolerados pela espécie, causando um desconforto térmico, como ilustrado na Figura 4.25.

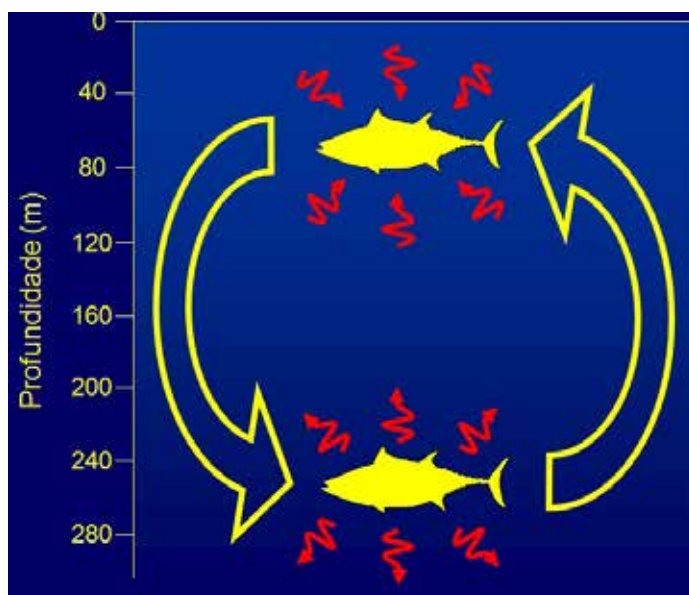
Se em águas frias a albacora branca recorre à termorregulação fisiológica, regulando a eficiência de seu sistema trocador de calor<sup>8</sup> para aumentar e manter sua temperatura corpórea em níveis fisiológicos aceitáveis, em águas quentes superficiais a espécie utiliza a modalidade comportamental, mergulhando para águas frias a fim de dissipar o excesso de calor absorvido (Graham e Dickson, 1981), conforme se observa na Figura 4.25.

Nesse contexto, a migração da albacora branca para zonas tropicais visa exclusivamente atender às necessidades térmicas de ovos e larvas, cuja sobrevivência e desenvolvimento dependem diretamente da temperatura da água do mar, que deve se situar acima de 24 °C para se garantir o sucesso da desova (Schaefer, 2001).

<sup>7</sup> Embora o *El Niño* de 1982 a 1983 tenha sido considerado mais forte que esses – com força cinco, segundo Rebert e Donguy, 1988 –, anomalias positivas da TSM associadas a ele só foram observadas na área de desova da albacora branca a partir de fevereiro de 1984, já no fim do período de reprodução da espécie, não apresentando, portanto, influência nos resultados de pesca da espécie. Os efeitos decorrentes desse *El Niño* na porção tropical do Oceano Atlântico foram muito intensos do lado Leste da bacia, no interior do Golfo de Guiné, promovendo alterações ambientais muito mais severas no primeiro semestre de 1984, conforme mencionado acima (Fonteneau e Roy, 1987).

<sup>8</sup> Sistema de vasos sanguíneos – conjunto de artérias e veias – dispostos em contracorrente, permitindo a troca de calor entre eles (Graham e Dickson, 2001).

**Figura 4.25.** Esquema representativo da termorregulação da albacora branca através de deslocamentos verticais entre as camadas superficiais – quentes – e profundas – frias – dos oceanos tropicais.



**Fonte:** Travassos, 1999.

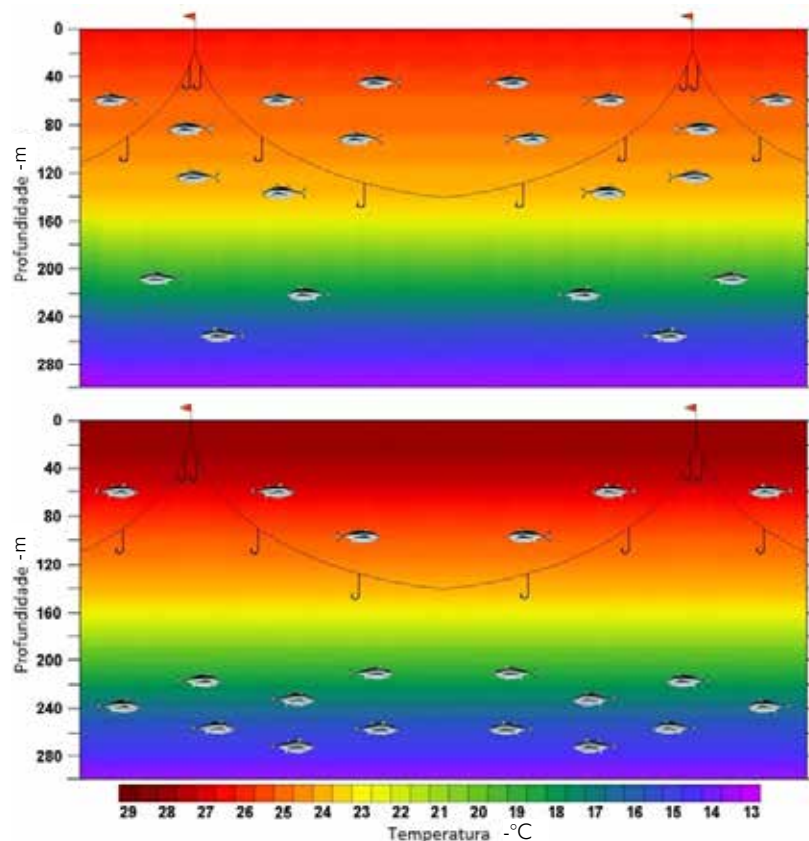
Em decorrência dessas necessidades, a desova da espécie ocorre na camada de mistura, acima da termoclina, onde a temperatura da água é elevada. Temperaturas acima de 25 °C da camada de mistura, associadas à própria atividade metabólica da reprodução, vão produzir um excesso de calor corporal que é necessário eliminar (Travassos, 1999b). Conforme mencionado acima, a albacora branca recorre aos deslocamentos verticais (Lauris *et al.*, 1980) entre as camadas que se situam acima – águas quentes >25 °C – e abaixo da termoclina – águas frias <15 °C –, para dissipar o excesso de calor adquirido.

Em condições normais, sem aquecimento atípico da camada superficial do oceano, a espécie consegue permanecer mais tempo nos primeiros 100 metros de profundidade para efetuar sua desova. Como os anzóis do espinhel pelágico, empregado nas capturas da espécie, se distribuem também nessa faixa de profundidade (Travassos, 1999b), os rendimentos da pesca são elevados.

Entretanto, durante a ocorrência de fortes anomalias positivas da TSM, a espécie é forçada a realizar com maior frequência esses deslocamentos verticais, permanecendo mais tempo nas camadas mais profundas, de águas frias, abaixo da termoclina e fora do alcance dos anzóis do espinhel. Assim, ela dissipando o excesso de calor corpóreo, o que explica quedas em sua captura, conforme ilustra a Figura 4.26.

É importante salientar, entretanto, que se as anomalias positivas afetam negativamente a atividade reprodutiva dos adultos da espécie, é provável que, em decorrência de necessidades térmicas de ovos e larvas, um aumento na temperatura da água favoreça a sobrevivência e o desenvolvimento larval, garantindo o sucesso da desova. Esses aspectos precisam ser mais bem estudados – inclusive, os possíveis efeitos negativos de quedas na temperatura da água.

**Figura 4.26.** Esquema representativo da distribuição vertical do espinhel e da albacora branca mostrando mudanças na concentração termobatimétrica da espécie.



Obs.: em condições ambientais normais – acima – e durante a ocorrência de anomalias positivas da TSM – abaixo.

**Fonte:** Travassos, 1999.

As prováveis modificações que possam vir a ocorrer no regime de correntes marinhas em decorrência das mudanças climáticas globais (Herr e Galland, 2009) são outra questão ambiental, não menos importante. Caso essas alterações envolvam a Corrente Sul Equatorial (CSE) do Oceano Atlântico, certamente transformações relevantes também ocorrerão na delimitação setentrional da área de desova da albacora branca no Sul desse oceano.

Ao se aproximar da costa brasileira entre 5° S e 10° S, a CSE se bifurca, formando a Corrente Norte do Brasil (CNB), que se desloca ao longo da costa do Nordeste e Norte do País em direção ao mar do Caribe, e a Corrente do Brasil (CB), que segue para o Sul e se encontra com águas da Corrente das Malvinas em torno da latitude de 36° S (Francisco e Silveira, 2004). Tal bifurcação desempenha papel ecológico de grande relevância para a albacora branca, definindo o limite norte de sua zona de reprodução (Travassos, 1999b).

Caso a desova ocorra acima desse limite, as larvas serão transportadas pela CNB em direção ao hemisfério Norte, alimentando assim nessa área, o estoque de albacora branca.

Para que a atividade reprodutiva da espécie alcance seu objetivo de manter a biomassa do estoque do Sul, a desova deve ocorrer igualmente ao Sul dessa bifurcação, cujas águas serão transportadas na mesma direção através da CB, que também desempenha importante papel ecológico para a albacora branca ao transportar suas larvas de uma zona extremamente oligotrófica, onde ocorre desova, para zonas ricas em alimento em latitudes mais elevadas (Travassos, 1999b).

Alterações nesse regime de correntes associadas às mudanças climáticas, certamente causariam efeito



negativo sobre a atividade reprodutiva da albacora branca, principalmente no que se refere a delimitação de sua área de desova e ao transporte de suas larvas para zonas ricas em alimento no Sul do Oceano Atlântico.

Outro exemplo da influência das variações climáticas na pesca de grandes peixes pelágicos pode ser observado para o espadarte ou *Xiphias gladius*. Estudando a ecologia dessa espécie no Sul do Atlântico, Hazin (2006) observou decréscimo importante nos valores de captura por unidade de esforço de pesca (CPUE) em áreas com anomalias positivas de TSM acima de 1 °C. Segundo o autor, essa queda estaria relacionada diretamente aos deslocamentos horizontais e verticais que a espécie realiza em busca de condições termicamente favoráveis, alterando suas distribuição e abundância e, portanto, os rendimentos da pesca.

Hazin e Erzini (2008) observaram que as anomalias de TSM parecem influenciar apenas os jovens, em função de serem mais termodependentes do ambiente e, portanto, mais vulneráveis a tais alterações. Esses mesmos autores identificaram que jovens da espécie – < 125 cm de comprimento MIF<sup>9</sup> – apresentam distribuição vertical e horizontal bastante restrita, com temperatura da água acima de 25 °C, e se localizam em áreas tropicais próximas à costa e de bancos e ilhas oceânicas, consideradas as áreas de alimentação e desenvolvimento. Esses autores observaram também que indivíduos entre 130 e 170 cm de comprimento utilizam a zona oceânica equatorial do Oceano Atlântico para amadurecimento gonadal, antes de migrarem para fins reprodutivos e tróficos na direção de latitudes elevadas (Amorim e Arfelli, 1979; Arfelli *et al.*, 1997; Hazin e Erzini, 2008).

Entretanto, os efeitos da elevação de temperatura dos oceanos sobre os diferentes representantes de vida marinha não se restringem apenas a suas distribuição e abundância. Diversos aspectos da biologia das diferentes espécies são afetados, em maior ou menor grau. Mudanças importantes nas taxas de crescimento de mortalidade natural, no tamanho de primeira maturação sexual e fecundidade, no recrutamento, nos deslocamentos para fins reprodutivos, assim como na esperança de vida e na produção de biomassa dos seus estoques, têm sido reportadas para diferentes espécies de regiões polares, temperadas e tropicais (Roessig *et al.*, 2004).

Embora realizado em zona estuarina, o trabalho de Schroeder e Castello (2010), abordando efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos pesqueiros da Lagoa dos Patos, no Estado do Rio Grande do Sul, evidencia também suas consequências, positivas e negativas, tais como o aumento da temperatura da água sobre diversos aspectos da biologia das principais espécies capturadas na região.

No caso da maricultura, algumas atividades poderão ser beneficiadas, enquanto outras, prejudicadas, pelo aquecimento marinho. Espécies como o mexilhão ou *Perna perna*, nativo de águas brasileiras e cultivado na costa sudeste do País, poderão ter sua taxa de crescimento elevada e, área favorável ao cultivo, expandida. Outras – como é o caso da ostra japonesa ou *Crassostrea gigas*, adaptada a águas mais frias –, poderão ter seu cultivo comprometido (CGEE, 2007).

No caso da carcinicultura – a criação de camarões em viveiros – do *Litopenaeus vannamei*, praticada principalmente na costa nordestina, o aquecimento da temperatura poderá, tanto beneficiar a atividade a partir da aceleração do crescimento e abreviação do ciclo de cultivo, como acarretar prejuízos decorrentes de uma maior incidência de doenças. Isso se daria, por conta da proliferação facilitada de microorganismos patológicos em águas mais quentes, associada a nível maior de estresse ao qual os camarões estariam submetidos devido a aumento de taxa metabólica e redução do grau de solubilidade do oxigênio dissolvido.

Nesse contexto, a produtividade da atividade pesqueira, tanto da pesca como da aquicultura, tem sido e será cada vez mais afetada em diversas partes do mundo por causa das alterações no ambiente oceânico decorrentes de mudanças climáticas. Essas últimas acarretam efeitos negativos para a atividade, na maioria das vezes e conforme descrito no item seguinte.

O monitoramento ambiental dos oceanos, portanto, associado a um melhor conhecimento das respostas dos organismos marinhos aos efeitos de mudanças climáticas poderão, certamente, ajudar na tomada de decisões e na adoção de medidas que contribuam para minimizar tais efeitos.

#### 4.4.3 ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO

As alterações ambientais nos oceanos decorrentes de mudanças climáticas têm, em maior ou menor grau, afetado os organismos marinhos e, portanto, a atividade pesqueira. Estudos realizados sobre os efeitos das mesmas sobre a distribuição de organismos marinhos têm demonstrado que peixes e invertebrados tendem a se deslocar para latitudes elevadas e camadas oceânicas mais profundas em resposta a alterações no ambiente em que vivem, principalmente no se refere ao aumento de temperatura da água (Perry *et al.*, 2005; Dulvy *et al.*, 2008).

Um estudo realizado por Cheung *et al.* (2009) demonstrou que as mudanças climáticas podem promover redistribuição em larga escala do potencial de captura de várias espécies, com aumento de 30% a 70% em regiões de altas latitudes e quedas acima de 40% nos trópicos, conforme representado na Figura 4.27 neste capítulo. Os autores se basearam em dois cenários climáticos distintos para as projeções de seus modelos: o primeiro, de elevada emissão de GEEs e concentração de CO<sub>2</sub> de 720 partes por milhão (ppm) em 2100 – denominado Cenário 1 –, e o outro, de baixa emissão de gases – da ordem de 365 ppm – e nível de concentração de CO<sub>2</sub> no ano 2000, intitulado Cenário 2.

Os resultados desse trabalho mostraram que, embora o potencial máximo de captura (PMC) global não tenha praticamente se alterado entre 2005 e 2055 – variação de 1% na escala temporal definida para as projeções –, as mudanças climáticas poderão promover modificações importantes na distribuição espacial do PMC, principalmente entre regiões tropicais e temperadas.

De maneira geral, boa parte das zonas costeiras tendeu a ter seu PMC reduzido em 15% a 50%, com queda ainda maior no entorno da Antártida – acima de 50% –, quando se considerou o cenário 1. Por outro lado, aumento em mais de 50% do PMC poderá ser observado nas latitudes elevadas, com maior evidência nas zonas ao Norte dos oceanos Pacífico e Atlântico e, também, no Austral, no entorno da latitude de 50º S, conforme ilustrado na Figura 4.27 neste capítulo.

Os resultados por faixas de latitude no Oceano Atlântico mostraram que as perdas e ganhos de PMC nas latitudes tropicais serão da ordem de 10%, como mostrado à a Figura 4.28, mas podem chegar a valores entre 15% e 50% do lado oeste tropical, ao largo da costa brasileira. Nos três oceanos, as zonas costeiras sobre a plataforma continental, são as que sofrerão os maiores impactos, com reduções de PMC entre 50º N e 50º S, chegando até a 25% no equador, como representado na Figura 4.29.

A análise de PMC por Zona Econômica Exclusiva (ZEE) mostrou, novamente, ampliação para alguns países situados em altas latitudes enquanto que, para a maioria daqueles localizados em zonas tropicais e subtropicais, acusou decréscimo.

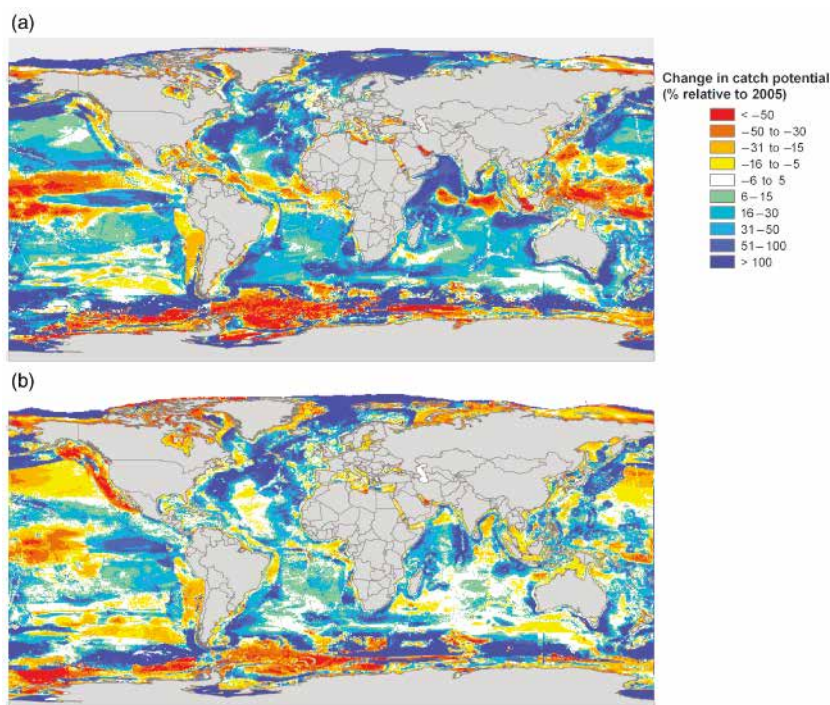
Entre os 20 países com maiores índices de potencial de capturas na ZEE em 2000, a Rússia e os Estados Unidos, mais precisamente no Alasca, apresentaram aumento de cerca de 20% no Oceano Pacífico, enquanto nações como a Islândia e a Noruega, no Oceano Atlântico, exibiram avanço de 18% e 45%, respectivamente, entre 2005 e 2055, sob o cenário de elevada emissão de GEEs, como representado na Figura 4.30.

---

<sup>9</sup> MIF - Medida entre a extremidade da mandíbula inferior até a furca da nadadeira caudal.

Os países tropicais e subtropicais, por sua vez, acusaram as maiores quedas – caso da Indonésia, por exemplo – para esse mesmo cenário, com o Brasil diminuindo em 6% seu PMC até 2055. Tais resultados mostram que mudanças climáticas podem ter impacto considerável sobre a redistribuição espacial de PMC, em grande medida associado aos deslocamentos de diferentes espécies, provocados pelo aquecimento das águas oceânicas. Um possível exemplo desse fenômeno pode ser encontrado no crescente nível de abundância relativa de atum azul no Golfo de Saint Lawrence, no Canadá, nos últimos anos (Vanderlaan, 2011), apesar da condição de *superexploração* de seu estoque e de tendências estáveis ou declinantes de captura, ao longo da última década, a exemplo do que se deu no Golfo do México.

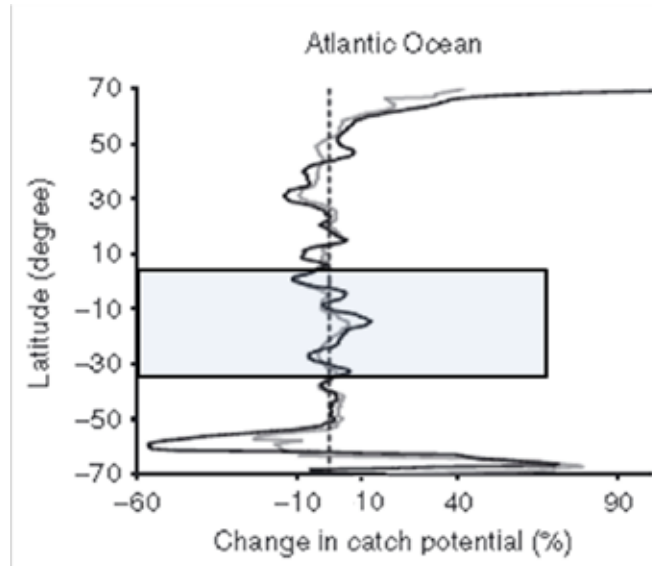
**Figura 4.27.** Distribuição espacial – 30x30 milhas náuticas – de potencial máximo de captura de 2005 a 2055, em diferentes cenários de mudanças climáticas.



Obs.: (a) elevada emissão de GEEs –  $\text{CO}_2 = 720$  ppm em 2100 – e (b) baixa emissão de GEEs –  $\text{CO}_2 = 365$  ppm em 2000.

Fonte: Cheung *et al.*, 2009.

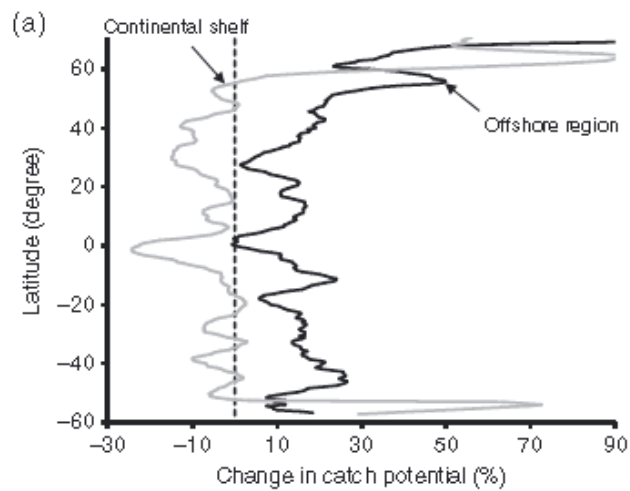
**Figura 4.28.** Variação latitudinal do potencial máximo de captura de 2005 a 2055, em diferentes cenários de mudanças climáticas.



Obs. Nível elevado de emissões de GEEs: linha preta; baixo: linha cinza. A barra horizontal representa a faixa de latitude onde se situa a costa do Brasil.

Fonte: Cheung *et al.*, 2009.

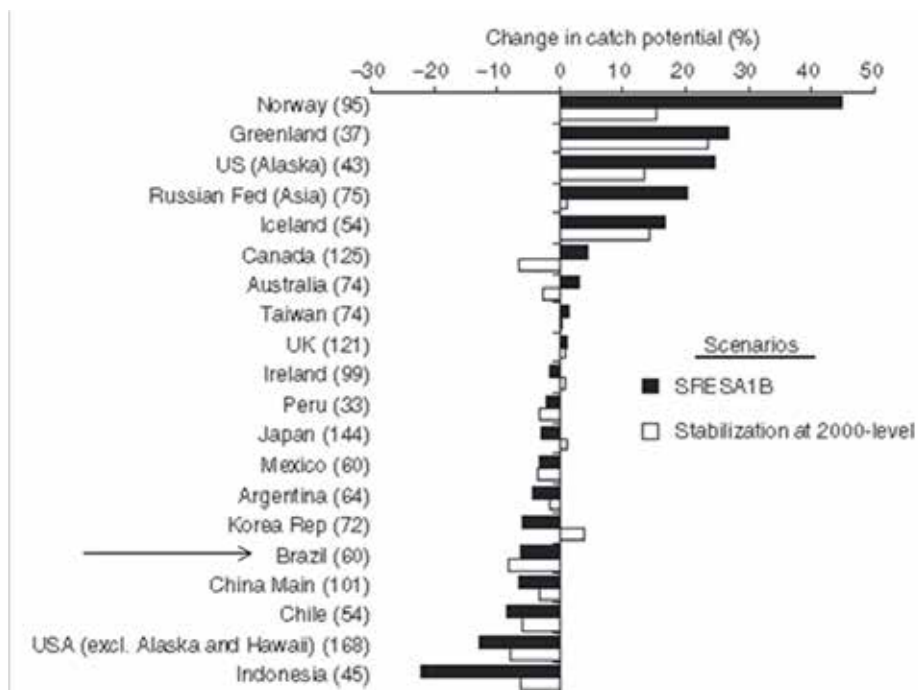
**Figura 4.29.** Variação latitudinal do potencial máximo de captura de 2005 a 2055, no cenário de elevada emissão de GEEs.



Obs.: Zona oceânica: linha preta. Plataforma continental: linha cinza.

Fonte: Cheung *et al.*, 2009.

**Figura 4.30.** Variação do potencial máximo de captura de 2005 a 2055 nas 20 Zonas Econômicas Exclusivas mais produtivas – ano 2000.



Obs.: O número entre parênteses representa a quantidade de espécies exploradas incluídas na análise.

Fonte: Cheung *et al.*, 2009.

Nesse contexto, considerando-se o atual cenário de mudanças climáticas e as diferentes projeções realizadas até o final do século XXI, faz-se necessária, a implantação de um sistema de informações climáticas e oceânicas no Brasil, com o objetivo de se acompanhar, de forma contínua, a evolução da relação entre espaço e tempo para diferentes parâmetros ambientais e processos resultantes de interações entre a atmosfera e o oceano. Isso permitirá avaliar com mais eficiência e rapidez, as reações dos organismos marinhos a mudanças climáticas, principalmente no que se refere a seus padrões de distribuição e abundância, com ênfase nos recursos pesqueiros explorados ao largo da costa brasileira, em sua ZEE ou em águas internacionais adjacentes. Um programa de monitoramentos pesqueiro e biológico das principais espécies conhecidas e exploradas pela pesca ao longo da costa brasileira seria complementar a tal sistema.

No caso do ecossistema oceânico, devido ao elevado custo operacional para obtenção de variáveis ambientais *in situ* por prospecção oceanográfica, o uso de sensores remotos orbitais para se estimar parâmetros oceanográficos tem despontado como alternativa extremamente útil, não apenas em razão de sua grande abrangência do ponto de vista da relação entre espaço e tempo, apresentando dados de forma sinótica e diária de vastas zonas oceânicas, mas também pelo custo relativamente baixo de acesso aos dados, muitos dos quais se encontram disponíveis ao público, sem qualquer ônus.

Essa cobertura espacial e temporal é de extrema importância para o acompanhamento da evolução de parâmetros oceanográficos que possam vir a influenciar a biologia populacional e a distribuição e abundância de diversas espécies, incluindo aquelas de interesse para a pesca (Zagaglia, 2003), particularmente em um cenário de mudanças climáticas.

#### 4.4.4 CONCLUSÃO

Muito ainda precisa ser compreendido sobre os efeitos de mudanças climáticas sobre os oceanos e os seres que neles habitam. Principalmente, no que se refere aos recursos pesqueiros, em decorrência de sua importância socioeconômica no mundo.

É certo que, na maioria dos casos, tem se dado ênfase aos efeitos negativos das alterações ambientais provocadas por mudanças climáticas. Considera-se, por exemplo, que o aumento de temperatura e da acidificação da água do mar impactará negativamente os ecossistemas marinhos e, também, a pesca, com a biota marinha sofrendo perdas significativas de diversidade e comprometimentos tão sérios quanto difíceis de prever. Menciona-se, ainda, que a redução potencial de produtividade biológica marinha implicará empobrecimento quantitativo e qualitativo de oceanos, com impactos significativos na atividade pesqueira e, conseqüentemente, na segurança alimentar. Falhas de recrutamento e reduções de abundância dos estoques pesqueiros explorados tenderão a agravar ainda mais, a já delicada situação dos mesmos, com o acirramento da sobrepesca e colocando a atividade frente ao enorme desafio de atender à crescente demanda de alimentos de origem marinha a partir de um potencial produtivo cada vez mais reduzido.

É importante salientar, entretanto, que embora na maioria dos casos, os efeitos das mudanças climáticas apontem para um cenário negativo, há muitas incertezas sobre a questão que precisam ser mais bem avaliadas. Aspectos positivos decorrentes de mudanças no ambiente poderão também ocorrer, conforme relatado acima, endossados por troca estudos que apontam para um aumento da produção pesqueira em algumas regiões em decorrência de alterações nos padrões de distribuição e abundância de algumas espécies, entre outros aspectos de sua biologia.

Nesse contexto, as respostas a tais questões certamente não poderão ser encontradas nem construídas sem a realização de pesquisas que permitam aprofundar os conhecimentos sobre conexões entre a atmosfera e o oceano, principalmente naquilo que se refere a efeitos de mudanças climáticas sobre tal ecossistema e população.

## 4.5. SISTEMA E SEGURANÇA ALIMENTARES

### 4.5.1 INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN) é o sistema público criado pela Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional (LOSAN), de nº 11.346/2006 para articular e gerir as políticas públicas de Segurança Alimentar e Nutricional (SAN). Ao exemplo de outros sistemas públicos, o SISAN tem a responsabilidade de articular e promover as relações gerenciais entre todos os entes federados, sendo que todos devem ter como meta comum a realização plena do Direito Humano à Alimentação Adequada (DHAA).

A segurança alimentar e nutricional consiste na realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo, como base, práticas alimentares promotoras de saúde que respeitem a diversidade cultural, as quais sejam também, sustentáveis, social, econômica e ambientalmente (LOSAN, art. 3º).

A maioria dos indicadores analisados no Relatório do Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (CONSEA), divulgados em 2010, apresentaram avanços importantes na realização do DHAA no País, entre a promulgação da Constituição Federal, em 1988, e os dias atuais. Destaque foi dado, nesse documento ao período iniciado em 2003 e terminado em meados de 2010, no qual o governo colocou em posição central para a agenda governamental, a superação da fome e a promoção da segurança alimentar e nutricional.

No entanto, esse relatório destacou que persistem desafios históricos para a plena realização do DHAA no País, como aqueles colocados pela concentração de terra, por desigualdade de renda, etnia, raça e gênero e, ainda, pela insegurança, alimentar e nutricional, dos povos indígenas e das comunidades tradicionais.

Além disso, novos desafios emergiram na sociedade brasileira, a saber:

- o Brasil é o maior comprador de agrotóxicos do mundo;
- existe risco ainda não mensurável por conta da liberação do uso de sementes transgênicas;
- instalou-se no País, uma epidemia da obesidade; e ainda,
- houve aumento de consumo de alimentos com alto teor de sal, gordura e açúcar (CONSEA, 2010).

Também existem riscos enfrentados pelo setor agropecuário devido a mudanças climáticas iminentes.

No Brasil, estudos foram feitos sobre os impactos de mudanças climáticas sobre a agricultura. Recentemente, Assad *et al.* (2007), Hamada *et al.* (2008), Nobre *et al.* (2005), Pinto *et al.* (2007, 2008) e Zullo Jr. *et al.* (2006, 2011) elaboraram estudos detalhados sobre o futuro da agricultura brasileira em função de cenários previstos para o clima regional. Pinto *et al.* (2008) concluíram que o aquecimento global poderá colocar em risco a produção de diversas culturas agrícolas do País, caso nenhuma medida mitigadora seja realizada, como já informado na Tabela 4.7 deste capítulo. Esse estudo demonstrou que as produções potenciais das culturas analisadas poderão sofrer com maiores deficiência hídrica e/ou temperaturas.

A Tabela 4.7 constante deste capítulo, foi adaptada de Pinto *et al.* (2008) e mostra as possíveis alterações na produção agrícola brasileira em função do aquecimento global. Os resultados foram obtidos por estudos desenvolvidos pela EMBRAPA e pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) a partir do cenário A2 do IPCC.

**Tabela 4.7.** Alterações futuras nas áreas cultivadas com produtos agrícolas em função do cenário A2 do IPCC.

Cultura	Área potencial atual	Área potencial em 2020	Variação
	em km <sup>2</sup>	em km <sup>2</sup>	– %
Algodão	4.029.507	3.583.461	-11,07
Arroz	4.168.806	3.764.488	-09,70
Café	395.976	358.446	-09,48
Cana-de-açúcar	619.422	1.609.010	159,76
Feijão	4.137.837	3.957.481	-04,36
Girassol	4.440.650	3.811.838	-14,16
Mandioca	5.169.795	5.006.777	-03,16
Milho	4.381.791	3.856.839	-11,98
Soja	2.790.265	2.132.001	-23,59

**Fonte:** adaptada de Pinto *et al.*, 2008

A utilização de novas práticas de manejo agrícola tem contribuído para a superação de problemas ocasionados por extremos climáticos, como por exemplo, a defesa contra geadas que incidam sobre o cafezal ou a adoção de cultivares mais tolerantes à seca em culturas não irrigadas. O desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas, além da redução na emissão de GEEs, deve promover maior produtividade das culturas. A associação de transformações tecnológicas em sistemas de produção com ações de monitoramento e controle de externalidades, como o desmatamento e o uso pouco eficiente de terra, representa uma possibilidade para se udar uma tendência global da atividade produtiva. Pode-se admitir que, a agricultura brasileira deixará de ser acusada de ser uma das principais responsáveis pelo aquecimento global e passará a ser considerada uma mitigadora eficaz do problema em um futuro muito próximo.

Numa conjuntura brasileira, marcada pelo aumento da renda familiar, a tendência é de crescimento de demanda por alimentos no País. Contudo, o ritmo de crescimento da produção agrícola, em grande medida destinada à exportação, é muito superior ao daquela destinada ao consumo interno. No período 1990 a 2008, o volume de cana-de-açúcar produzido cresceu 146% e o de soja, 200%; enquanto que o de feijão aumentou 55%; o de arroz, 63%; e o de trigo, 95% (CONSEA, 2010).

A área plantada por grandes monoculturas avançou consideravelmente em relação à ocupada pelos cultivos da agricultura familiar, mais diversificados e com produtos direcionados ao abastecimento interno. Apenas quatro culturas de larga escala – as do milho, soja, cana e algodão – ocupavam, em 1990, quase o dobro da área total de outros 21 cultivos. A monocultura cresceu, não só pela expansão da fronteira agrícola, mas também pela incorporação de áreas destinadas a outros cultivos. A agricultura familiar destina quase a totalidade de sua produção ao mercado interno, contribuindo fortemente para se garantir a segurança alimentar e nutricional dos brasileiros.

Em 2006, os agricultores familiares forneciam 87% da produção nacional de mandioca, 70% da produção de feijão, 46% do milho, 38% do café, 34% do arroz, 21% do trigo, 58% do leite de vaca e de cabra, além de 59% do plantel de suínos, 50% das aves e 30% da criação de bovinos. Fora isso, esse contingente de produtores absorve 75% de toda a população ocupada em estabelecimentos agropecuários no País: 16,5 milhões de pessoas.

O potencial de geração de renda da agricultura familiar se revela no fato de responder por 33% do total das receitas e 38% do valor da produção mesmo dispondo de apenas cerca de 25% da área agricultável total e tendo acesso a 20% do crédito oferecido ao setor. O fortalecimento da agricultura

familiar e do agroextrativismo é estratégico para a soberania e segurança alimentar e nutricional da população (CONSEA, 2010).

Os dados históricos da produção brasileira revelam uma elevada especialização e concentração da produção em poucos estados, o que, somado às dificuldades de infraestrutura e de logística, com grandes perdas para o transporte e a pós colheita, eleva os gastos públicos com despesas de carregamento de grãos e de distribuição aos centros consumidores.

Diante desse quadro, procura-se analisar neste capítulo do RAN1, os possíveis impactos de mudanças climáticas e as perspectivas de adaptação aos mesmos, sob duas vertentes principais de segurança alimentar: os sistemas de produção e de armazenamento, distribuição e acesso aos alimentos. Ainda, sempre que possível, se busca analisar os temas de forma integrada e suas correlações com outros setores como disponibilidade de terra e água, produção de bioenergia, infraestrutura de distribuição e armazenamento.

## **4.5.2. PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E SUA INTERAÇÃO COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

### **4.5.2.1 CENÁRIOS PARA DEMANDA E OFERTA DE TERRA**

Santana *et al.* (2011), no documento intitulado *Foresight Project on Global Food and Farming Futures – Regional case study: Productive capacity of Brazilian agriculture: a long-term perspective*, apresentaram uma caracterização interessante do sistema brasileiro de produção de alimentos, ao realizarem projeções de demandas e analisarem a capacidade do País de atendê-las, considerando inclusive, as projeções de alterações na área potencial futura de diversas culturas realizadas por Pinto *et al.* (2008). Partes de suas conclusões seguem traduzidas a seguir.

Segundo Pinto *et al.* (2008):

*(...) a perspectiva de longo prazo da capacidade produtiva agrícola do Brasil é bastante positiva. A produção das culturas selecionadas e de gado de corte deve aumentar substancialmente nos maiores estados produtores durante os próximos 20 anos, sem provocar uma pressão muito forte sobre a expansão de terras, ameaçar a sustentabilidade ambiental e aumentar a perda de recursos de biodiversidade. O panorama da produção doméstica desses produtos aponta na direção de aumentos maiores nesse período, atingido níveis de produção de grãos, cana-de-açúcar, café e gado de corte substancialmente mais altos em 2030 que na média de 2007 a 2009 – ou seja, entre 47% e 68%, dependendo do produto. Ademais, sinaliza que, com exceção do trigo, o crescimento do consumo doméstico desses produtos deverá ser mais do que atendido pelos níveis esperados de produção. O excesso de produção deverá permitir ao país continuar a desempenhar um papel importante nos mercados internacionais de soja, açúcar, café, algodão e carne.*

*Um aspecto digno de nota por trás desse desempenho é que, sob um cenário de manutenção das tendências de produção do passado, a ‘área líquida’ total necessária para produzir o volume estimado de produção das culturas selecionadas em 2010 a 2030 deveria crescer a uma taxa média anual muito menor que aquela observada em 2000 a 2009, isto é, 1,1% em comparação com 3,3%, respectivamente.*

*A perspectiva para o crescimento dos níveis de produção com menor pressão sobre a expansão de terras, maior sustentabilidade ambiental e perda limitada de biodiversidade é ainda reforçada por diversos aspectos, incluindo a possibilidade de materialização de um cenário de maior produtividade das culturas. O total de ‘área líquida’ necessária para produzir o volume estimado para as culturas selecionadas no conjunto de 18 estados em 2030 deverá ser de 50 milhões de hectares e 37,5 milhões de hectares, respectivamente, nos cenários um e dois.<sup>10</sup> A diferença entre essas estimativas destaca o efeito poupador de terras – spare-land effect – resultante de produtividades mais elevadas.*



A análise aqui realizada acende uma 'luz amarela' que demanda atenção a respeito dos impactos negativos que um eventual aumento nas temperaturas mundiais poderá ter em três culturas importantes para o consumo interno do Brasil e de comércio exterior: trigo, café e soja.

Assim como no trabalho de Santana *et al.* (2011), um consenso parece existir entre aqueles que produzem cenários e projeções de demanda para os itens da agricultura nacional: a de que ela deverá crescer nas próximas décadas, puxada pelas taxas de crescimento dos países emergentes (FAO, 2011; USDA, 2011; MAPA, 2011). Diversos fatores condicionam esse cenário de demanda crescente. Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2011), os preços internacionais estão em um patamar nunca visto e isso se deve a uma complexa rede de fatores, a saber:

- intempéries climáticas,
- redução dos estoques mundiais de milho, arroz, trigo e soja,
- pressão dos biocombustíveis,
- aumento da renda mundial e da população.

Dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo (CEPEA/USP, 2011) indicam que o preço médio nominal do açúcar no biênio 2010 a 2011 foi 108% superior ao preço histórico. Já o preço da arroba do boi foi 63% maior e o da saca de soja, 29%. A mesma tendência de aumento de demanda mundial, acompanhada por patamares elevados para seus valores no mercado, foi projetada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2011).

Ainda segundo CEPEA/USP (2011), o mercado interno é expressivo para os produtos agropecuários, e o mercado internacional, em particular nos países emergentes, tem apresentado acentuado crescimento do consumo. Países superpopulosos terão dificuldades para atender às demandas devido ao esgotamento de suas áreas agricultáveis. As dificuldades de reposição de estoques mundiais, o acentuado aumento do consumo \_ especialmente de grãos como milho, soja e trigo \_ e o processo de urbanização em curso no mundo criam condições favoráveis a países que, como o Brasil, têm imenso potencial de produção e tecnologia disponível.

No caso da agricultura, essas projeções são mais bem formuladas para a agricultura voltada para o mercado externo do que para a agricultura de abastecimento interno ou, mesmo, a de produção familiar. Isso, devido às incertezas do processo de inclusão social dos dias atuais e às demandas oriundas desse processo.

Os próximos anos serão ainda caracterizados por um cenário de retração da economia mundial e, por consequência, de redução de demanda por produtos manufaturados. Mesmo assim, o agronegócio brasileiro tem grande potencial de crescimento, puxado principalmente pelos países emergentes e pelo crescimento de demanda interna.

Apesar de se prever que o Brasil deve apresentar, nos próximos anos, forte aumento das exportações, o mercado interno continuará sendo um fator importante de crescimento. Em 2020, 65% da produção de soja deverão ser destinados ao mercado interno e 85% do milho produzido deverão ser consumidos internamente. Haverá, assim, dupla pressão sobre a produção nacional, devido ao crescimento do mercado interno e das exportações do País.

---

<sup>10</sup> No texto original de Santana *et al.* (2011), traduzido aqui a partir do documento intitulado *Foresight Project on Global Food and Farming Futures - Regional case study: Productive capacity of Brazilian agriculture: a long-term perspective*, seu cenário 1 considera a continuidade das tendências passadas e, o 2, reflete a possibilidade de observação de maiores produções.

No mercado de carnes, também haverá forte pressão exercida pelo consumo interno. Em 2020, serão necessários, para abastecê-lo, 67% do crescimento previsto para a produção de carne de frango, 83% do aumento do volume produzido de carne bovina e de, ainda, 81% no caso da carne suína. Desse modo, embora o Brasil seja um grande exportador de vários desses produtos, o consumo interno é o destino predominante da produção (MAPA, 2011).

A tendência de inclusão tecnológica na agricultura brasileira já pode ser percebida nos dados censitários das últimas décadas (IBGE, 2007). Tanto na agricultura como na pecuária, as séries históricas indicam baixa correlação linear direta entre os aumentos de produção e de área plantada. Ou seja, enquanto se segue acumulando incrementos de produção, não se observa uma incorporação equivalente de novas áreas agrícolas, como mostrado na Figura 4.31 deste capítulo. Isso é visto por alguns especialistas como uma mudança rumo a um patamar mais virtuoso na agricultura nacional.

**Figura 4.31.** Série histórica da produção de grãos e pecuária e área equivalente.



Fonte: IBGE, 2007.

É necessário ter sempre em conta que os métodos de projeção de demanda não conduzem a resultados perfeitos e que, a chance de erros aumenta à medida que se avança na projeção futura mais distante. Deve-se considerar também, a dinâmica e as mudanças dos mercados, que continuamente oferecem uma gama enorme de fatores aleatórios sem que as projeções consigam captá-los.

As projeções de demanda apresentadas a seguir, se apoiam também em métodos qualitativos que, por sua vez, são baseados no julgamento das entidades de classe com condições de opinar sobre o comportamento futuro da procura. Estas últimas não partem de nenhum modelo matemático, embora possam ser conduzidas de maneira sistemática.

Considerou-se ainda, as projeções de demanda oriundas de métodos quantitativos, baseados em modelos econométricos apoiados em séries históricas para chegarem à previsão futura. Todos os dados estão expressos por unidades de medida de área – ou seja, hectares – e embutem as expectativas dos mercados interno e externo, além de previsões sobre ganhos de produtividade por inovações tecnológicas. As estimativas realizadas pelo MAPA (2011) até 2020 dão conta de que a área total plantada com lavouras deverá evoluir de 62 milhões de hectares, em 2011, para 68 milhões, em 2020, em acréscimo de oito milhões de ha. Essa expansão de área estaria concentrada na soja, com acréscimo de mais 5,3 milhões de hectares, e na cana-de-açúcar que ocuparia adicionais dois milhões de ha.

As previsões feitas pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) em 2010 foram mais conservadoras. Previram um crescimento da ordem de quatro milhões de hectares no mesmo período, enquanto que, no mesmo ano, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) estimou incremento de cinco a seis milhões de hectares de área plantada para atender, principalmente, ao aumento de demanda pelo setor alcooleiro.

A expansão das áreas de soja e cana-de-açúcar deverá ocorrer pela incorporação de novas extensões de terra, e, também, pela substituição de atividades agropecuárias que deverão cedê-las. Com relação

à expansão da produção destinada à indústria de biocombustíveis, é importante mencionar a elaboração do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAEcana)<sup>11</sup>, lançado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Para tanto, Embrapa e parceiros fizeram o levantamento das áreas aptas para o plantio da cultura, protegendo matas nativas e bacias, visando, também, a preservação da produção alimentar. O milho deverá ter expansão de área por volta de 500 mil hectares e as demais lavouras analisadas manterão ou perderão suas extensões, como seria o caso das culturas de café, arroz e laranja. Para diversas delas, o aumento de produção projetado decorre principalmente de ganhos de produtividade e incorporação tecnológica.

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF), também publicados em 2010, o País possui aproximadamente 6,8 milhões de florestas plantadas, que atendem, em boa parte, a demanda da matriz de papel e celulose para os mercados interno e externo. O Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) apresentou o incentivo às atividades de reflorestamento como uma das metas para se eliminar a perda líquida de área de cobertura florestal no Brasil até 2015, enfocando redução significativa do desmatamento.

Conforme apresentado nesse documento, o intuito é expandir a área de florestas plantadas no Brasil dos atuais 6,5 milhões de hectares para doze milhões de hectares em 2020, sendo dois milhões de hectares com espécies nativas, promovendo o plantio prioritariamente em áreas de pastos degradados, visando à recuperação econômica e ambiental dessas.

Entidades representantes do setor – a ABRAF e a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA) – preveem crescimento da ordem de 7,5 milhões de hectares para os próximos dez anos.

A despeito dos significativos avanços tecnológicos, imensas porções do território brasileiro foram incorporadas a diversas atividades produtivas, cumprindo assim, sua vocação para produção de biomassa para múltiplos fins. Mais de um terço do território nacional foi incorporado a atividades agropecuárias, perfazendo algo em torno de 320 milhões de hectares (IBGE, 2006). A pecuária se destaca como grande mobilizadora de terras – ~170 milhões ha –, vinculada à prática extensiva e a baixos níveis de produtividade, em desacordo com o potencial das mesmas (Barioni<sup>12</sup>, 2011). Segundo dados do último CENSO Agropecuário (IBGE, 2006), as áreas de pecuária cujo índice de lotação – cabeças por hectare – não ultrapassa uma unidade perfazem total aproximado de 90 milhões de hectares, de modo disperso pelo Brasil.

Dados históricos indicam que essa tendência de intensificação da atividade pecuária já ocorre no Brasil, podendo ganhar mais velocidade se forem implementadas políticas públicas revigorantes. Essa transformação da atividade pecuária, além de atenuar a dinâmica da fronteira agrícola nacional, poderá oferecer parte de seu estoque de terras para novos arranjos produtivos, seja para uma pecuária mais intensiva e eficiente, seja para sua integração ou uso parcial em outras atividades agrícolas e/ou florestais. Sparovek *et al.* (2010) estimaram que, ao menos 57 milhões de hectares da pecuária possuem alto potencial produtivo para a agricultura.

Cenários futuros colhidos junto a especialistas do setor (GTPS<sup>13</sup>, 2010) indicaram que, nas próximas décadas, como resultado de sua intensificação, a atividade pecuária deverá disponibilizar um grande conjunto de terras para outros usos agrícolas, dispersas pelo território, que poderão atender demandas diferentes e novas.

<sup>11</sup> O Decreto 6961/2009, aprovou o zoneamento da cana-de-açúcar e determinou ao Conselho Monetário Nacional, o estabelecimento de normas para operações de financiamento ao setor sucroalcooleiro.

<sup>12</sup> Luiz Gustavo Barioni, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, em comunicação pessoal.

<sup>13</sup> GTPS - Grupo de Trabalho (GT) da Pecuária Sustentável foi criado no final de 2007 e formalmente constituído em junho de 2009. É formado por representantes de diferentes segmentos que integram a cadeia de valor da pecuária bovina no Brasil; comunicação pessoal de seus representantes.

Os cenários formulados pelos representantes da pecuária (CNPC<sup>14</sup>, ABIEC<sup>15</sup>, 2010) previram que, graças à intensificação e à introdução de tecnologias, o setor deverá disponibilizar uma área de 70 a 85 milhões de hectares dispersos pelo território nacional. Essas terras podem, dentro de uma estratégia nacional de planejamento territorial, atender à totalidade das demandas projetadas pelos diferentes setores – grãos, cana-de-açúcar e florestas plantadas. Paira incerteza sobre o ritmo desse processo. Mas, ele define seus contornos no território brasileiro e se concentra no entorno do setor industrial, tendo frigoríficos como seus indutores.

Estimativas preliminares apontaram que, do total de áreas a ser disponibilizado pela pecuária, apenas 15 a 20 milhões hectares seriam suficientes para atender a necessidade de expansão de outras culturas (MAPA, 2011). Restariam 70% das terras – equivalentes a ~ 50 milhões de hectares – com necessidade de novas oportunidades negociais, tendo a matriz florestal capacidade de absorvê-las se as políticas públicas forem capazes de atrair e estimular novos negócios florestais, incluindo uma política industrial de base florestal.

#### 4.5.2.2 USO DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

Ao enfocarem a demanda por água pela produção de alimentos, Santana *et al.* (2011) apresentaram a seguinte análise:

*Em 1999, o Ministério Brasileiro do Meio Ambiente – MMA – estimou o potencial para o desenvolvimento da agricultura sustentável em 29 milhões de hectares. Em 2002, essas estimativas foram revisadas e confirmadas como ainda válidas, apesar do lapso de tempo (Christofidis, 2002).*

Essa revisão considerou o total de terras adequadas para irrigação, a disponibilidade de recursos hídricos sem risco de conflitos com outros usos prioritários e a necessidade de se atender aos requisitos da legislação ambiental. De acordo com os resultados dessa projeção, os estados com maior potencial para o desenvolvimento sustentável da irrigação são: Tocantins, Amazonas, Pará, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Roraima, São Paulo, Paraná e Goiás.

Entre esses estados, estima-se que o crescimento da agricultura irrigada deverá ser mais significativo nas áreas de cerrado da Região Centro-Oeste (Telles e Domingues, 2006). Mais especificamente, a fronteira agrícola do Estado do Mato Grosso com os de Minas Gerais, Bahia, Tocantins, Roraima e Sul do Maranhão e Piauí, a depender da melhoria das rodovias e do armazenamento de energia nessas regiões.

O MMA estimou também, o total da área irrigada no País para 2020. De acordo com o ministério, a área irrigada no Brasil deverá chegar a cerca de 5,6 milhões de hectares.

Portanto, segundo essas pesquisas, a área irrigada no País deverá se situar entre 4,4 milhões e 5,6 milhões de hectares em 2020. Contudo, se a taxa de crescimento registrada entre 1996 e 2006 no CENSO Agropecuário – ou seja, 1,8 milhões de hectares anuais – for observada nos próximos anos, a área irrigada no Brasil poderá, até a data da previsão, exceder seis milhões de hectares.

Segundo Machado (2006), uma unidade de área irrigada no Brasil é equivalente a três de área de planalto em termos de volume de produção. Ademais, em valor econômico, corresponde a 8,4. Conseqüentemente, a expansão da irrigação nos próximos anos, além de permitir o crescimento da produção de cana-de-açúcar e de arroz, deverá resultar em substancial elevação de produtividade e outros indicadores econômicos da agricultura brasileira.

<sup>13</sup> CNPC - Conselho Nacional da Pecuária de Corte, comunicação pessoal de seus representantes.

<sup>14</sup> ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, comunicação pessoal de seus representantes.

Previsões indicam que a demanda anual de água doce e as reservas renováveis deverão apresentar diferença crescente até 2030, denotando preocupante escassez de água doce no mundo. A reserva hídrica do Brasil é considerada a maior do planeta, mas em algumas regiões importantes do País, já existe escassez do insumo, podendo se agravar com o crescimento da economia brasileira que aumenta significativamente o uso desse recurso por diversas atividades produtivas.

O setor agrícola consome a maior quantidade de água do planeta e pode ocorrer diferenças entre suas diferentes culturas e regiões. No Brasil, as estimativas são de que 69% do total da água servem para irrigação (ANA, 2011), com elevado desperdício desse recurso devido à utilização de técnicas inapropriadas e ao plantio de algumas culturas em locais inadequados a seu desenvolvimento.

Apesar desse uso intenso de água, a irrigação no Brasil é responsável por apenas 4% da sua produção agrícola. Em termos globais, de 1,5 bilhão de hectares cultivados no mundo, cerca de 270 milhões de hectares são irrigados, ou seja, 18% do total, que respondem por metade da produção de alimentos. De acordo com pesquisa da Companhia Energética de Minas Gerais (SMA-SP/ CPLA, 2010), a utilização de métodos e sistemas de racionalização de uso de água na irrigação tem o potencial de economia de 20% de água e 30% de energia.

Segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP/ CPLA, 2010), no Estado, são utilizados 37,3% da água para irrigação. Embora essa porcentagem seja menor que a apresentada em nível nacional, ainda representa o maior percentual de consumo, comparativamente aos setores doméstico – 32,4% – e industrial – 30,4%.

#### **4.5.2.3 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS FRENTE A MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Estudo feito pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 1993) na década de 1990 indicou que 95% das perdas na agricultura brasileira foram devidas a eventos de seca ou chuva forte. Com base nesses dados, foi instituído, em 1996, o programa Zoneamento Agrícola de Risco Climático, política pública adotada atualmente pelos ministérios da Agricultura (MAPA) e do Desenvolvimento Agrário (MDA), para orientar o crédito e o seguro agrícola do País. O zoneamento estabeleceu, estatisticamente, níveis de riscos das regiões estudadas para vários tipos de cultura, admitindo perdas de safras de no máximo 20%. Trata-se de ferramenta que indica o que plantar, onde plantar e quando plantar, de acordo com as características climáticas regionais tornando possível adequar-se a *geografia agrícola* nacional, ou seja, distribuir as culturas em função da condição climática de cada região.

Programas governamentais de créditos agrícolas e seguros rurais, que hoje são estabelecidos em função do zoneamento de riscos climáticos – levando em conta os níveis probabilísticos de perdas de safras – também serão afetados por mudanças climáticas. A projeção de um futuro com temperaturas entre 1,4 °C e 5,8 °C mais altas e com variações de precipitação tornou necessário que se refaça a simulação do zoneamento e se verificasse as alterações regionais quanto a risco climático e datas de plantio para as principais culturas econômicas do País. Paralelamente, novas estratégias regionais de manejo de água devem ser estabelecidas para atender necessidades hídricas das culturas agrícolas diante de possíveis alterações climáticas.

No País, a agricultura é responsável por grande parte das emissões de GEEs e, ao mesmo tempo, é o setor mais vulnerável a mudanças climáticas, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ, 2008). As alterações do clima devidas ao aumento de lançamento desses gases pelo Homem causam modificações no regime hídrico e na temperatura global, influenciando diretamente a produtividade das culturas. Segundo os dois últimos relatórios do IPCC (2001b, 2007e), nas regiões de clima tropical, simulações sugerem que haverá reduções mais acentuadas na produção agrícola prejudicando seriamente a segurança alimentar, principalmente no Brasil. O aumento da temperatura ameaçará o cultivo de muitas plantas agrícolas intensificando assim, o problema da fome, em grande parte do mundo.

Em plantas submetidas a experimentos de laboratório, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico causa aumento de taxa de crescimento, pois o CO<sub>2</sub> é o substrato primário para fotossíntese (Taiz e Zeiger, 1991). Segundo vários autores, as plantas com metabolismo C3 são mais beneficiadas pelo incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico do que aquelas com metabolismo C4 (Tubiello *et al.*, 2000; Siqueira *et al.*, 2001; Streck, 2005). Porém, simulações com a cana-de-açúcar em câmaras de topo aberto e com elevada concentração de CO<sub>2</sub> (Buckeridge *et al.*, 2010) tiveram avanços expressivos em produção de biomassa, mesmo essa cultura exibindo outro processo metabólico: o C4.

Apesar da provável fertilização pelo aumento de concentração de CO<sub>2</sub>, se esse for acompanhado de elevação de temperatura do ar, poderá não haver crescimento e rendimento das culturas maiores, principalmente em razão do encurtamento de seu ciclo de desenvolvimento (Butterfield e Morison, 1992; Siqueira *et al.*, 2001) e respiração de tecido vegetal ampliada (Taiz e Zeiger, 1991; Streck, 2005).

Mesmo existindo alguns benefícios referentes à maior concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a elevação de temperatura resultante desse processo quanto aos GEEs poderá acarretar inúmeras injúrias às plantas, impedindo ganho efetivo de produtividade (Siqueira *et al.*, 2001; Streck, 2005; Streck e Alberto, 2006; Carvalho *et al.*, 2010).

Outro efeito sobre a produção agrícola causado pelo aumento da temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> está relacionado à incidência de pragas e doenças nas plantas cultivadas. Uma vez que o ambiente, os patógenos e os insetos estão interligados, as mudanças climáticas provavelmente influenciarão a geografia e a distribuição temporal das mesmas, podendo causar impactos positivos, negativos ou neutros. Ghini, *et al.* (2008) verificaram um aumento de infestação, tanto do nematoide quanto do bicho mineiro em cafeeiros, como reflexo de número maior de gerações por mês.

No Brasil, vários estudos foram feitos sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura. Recentemente, Hamada *et al.* (2008), Pinto *et al.* (2007, 2008), Assad *et al.* (2007), Zullo Jr *et al.* (2006) e Nobre *et al.* (2005) elaboraram estudos detalhados sobre o futuro da agricultura brasileira em função dos cenários previstos para o clima regional.

Pinto *et al.* (2008) concluíram que o aquecimento global poderá colocar em risco a produção de diversas culturas agrícolas do País, caso nenhuma medida mitigadora seja realizada, como já informado na Tabela 4.7. Esse estudo demonstrou que as produções potenciais das culturas analisadas poderão sofrer perdas com maiores deficiência hídrica e/ou temperaturas.

Em resumo, para o Brasil, projeta-se que a soja deverá ser a cultura mais atingida, com perdas de até 40% de suas áreas de baixo risco até 2070 no pior cenário do IPCC. O plantio de *coffea arabica* deverá perder até 33% de sua área em baixo risco climático nos estados de São Paulo e Minas Gerais, podendo ampliar sua área plantada no Sul do País, caso a falta de estação seca e o fotoperíodo não sejam limitantes.

No Nordeste brasileiro, as culturas do milho, arroz, feijão, algodão e girassol sofrerão perda significativa de produtividade devido à forte redução da área de baixo risco, uma vez que a elevação de temperatura promoverá aumento de evapotranspiração – e, conseqüentemente, de deficiência hídrica. A mandioca terá ganho geral de área de baixo risco, mas deverá sofrer grandes perdas no Nordeste, onde ela representa a base da cultura alimentar. A cana-de-açúcar será a única cultura que poderá dobrar a produção nos próximos anos, uma vez que a área de baixo risco poderá ser ampliada em 160% (Pinto *et al.*, 2008).

Compreender e prever o impacto das mudanças climáticas em culturas agrícolas requer abordagens que envolvam manipulação experimental da precipitação, temperatura, CO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>. Alguns estudos relacionados aos impactos das mudanças climáticas sobre as pragas, doenças e plantas daninhas nas principais culturas em ambiente controlado já estão sendo desenvolvidos. No Brasil, o sistema *Free Air Concentration Enrichment (FACE)*, implantado na cafeicultura em Jaguariúna, pela Embrapa Meio

Ambiente, possibilitará estudar os efeitos do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> sobre pragas, doenças e plantas daninhas, bem como, a fisiologia da espécie – Projeto Climapest: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/climapest>.

Eventos atmosféricos extremos – tais como chuvas fortes, tempestades, ondas de calor ou de frio, estiagens, geadas e *El Niño* e *La Niña* intensos –, tanto quanto o aumento das médias de concentração de CO<sub>2</sub> e de temperatura do ar, representam ameaça à segurança alimentar por afetarem a disponibilidade e o acesso a alimentos, podendo provocar quebras nas safras, comprometimento de disponibilidade e qualidade da água, degradação de solo, e, ainda, danos à infraestrutura de transporte e à distribuição dos produtos alimentícios (Rosenzweig *et al.*, 2001; Gregory *et al.*, 2005; FAO, 2008).

O entendimento dos eventos atmosféricos extremos é tarefa complexa nas condições climatológicas atuais, tornando-se ainda mais desafiadora face às mudanças climáticas. Porém, é demanda premente, pois poderá contribuir para direcionar estudos na questão dos impactos desses fenômenos sobre vários setores, em especial no tocante à vulnerabilidade da segurança alimentar no Brasil em cenários futuros.

Para se exemplificar essa complexidade, principalmente diante de um panorama de mudanças climáticas, é importante notar que a relação entre aumento de média e frequência de mudança de extremos não é linear. Dessa forma, mesmo uma pequena alteração de média poderá resultar em grande modificação na frequência de extremos (Mearns *et al.*, 1984). Em escala global, é muito provável que extremos positivos de temperatura do ar, ondas de calor e precipitações intensas se tornem mais frequentes já no século XXI, deflagrando impactos sobre sistemas de produção e de distribuição de alimentos.

No Brasil, tendências positivas de extremos de chuva vêm sendo observadas, principalmente para as regiões Sul e Sudeste (Groisman *et al.*, 2005; Haylock *et al.*, 2005). As projeções para possíveis cenários de eventos extremos no País foram feitas a partir de modelos globais – nove modelos utilizados no AR4 do IPCC – e um regional – *HdRM3P* – por Marengo *et al.* (2007). Os cenários simulados mostraram aumento na frequência de dias secos consecutivos na Região Nordeste e no Leste do bioma Amazônia, acompanhados de diminuição na redução nas chuvas intensas, o que implica maior ocorrência de veranicos. De forma geral, essas áreas poderão ter condições acentuadas de estresse hídrico, prejudicando o cultivo de diversas culturas e pastagens (Pinto *et al.*, 2008).

A região semiárida do Nordeste do Brasil é atualmente bastante vulnerável quanto à segurança alimentar e, de acordo com a FAO (2008), as áreas já vulneráveis serão as primeiras a serem afetadas em condições de mudanças climáticas. Secas severas poderão aumentar em frequência e intensidade, ampliando as zonas de alto risco para a cultura da mandioca, fundamental para a alimentação nessa Região do País (Pinto *et al.*, 2008).

Simulações para cenários considerando aumento e diminuição de chuvas e evapotranspiração potencial mostraram que o rendimento da cultura de feijão pode ser 60% menor em anos de secas severas (Magalhães *et al.*, 1988). Menor disponibilidade de água e maiores taxas de evapotranspiração implicariam necessidade de irrigação, podendo acarretar salinização, degradação de solos agricultáveis e desertificação, em algumas regiões. A qualidade da água potável se deteriorará, tornando esse recurso mais escasso e prejudicando, conseqüentemente, as culturas irrigadas. Os prejuízos econômicos e sociais associados a essas mudanças poderão levar à migração do Nordeste para outras partes do País, a exemplo do ocorrido na seca de 1982 para 1983.

Outros panoramas simulados (Marengo *et al.*, 2007) mostram a tendência de aumento na frequência de eventos extremos de precipitação no Oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, fato que poderá contribuir para ampliar a ocorrência de inundações.

O aumento de noites quentes e a redução de dias frios compuseram um padrão fundamental projetado pelos modelos sobre as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Marengo *et al.*, 2007). Essa tendência poderá beneficiar a produção agrícola na Região Sul, que teria diminuído o risco para culturas como a de cana-de-açúcar, mandioca e café, mas perderia áreas de cultivo de soja (Pinto *et al.*, 2008).

Embora análises do fenômeno *El Niño* tenham mostrado que ele tem ocorrido em eventos mais fortes e frequentes desde os anos 1980 (IPCC, 2001; Timmermann *et al.*, 1999), não houve resultados conclusivos sobre sua tendência com base nos modelos utilizados no AR4 (Marengo *et al.*, 2007). *El Niño* e *La Niña* têm grande influência na produção agrícola, em especial nas regiões Nordeste e Sul do País.

Na Região Sul, o *El Niño* está associado à ocorrência de chuvas intensas e, portanto, a maior disponibilidade hídrica no solo (Alberto *et al.*, 2006). Em estudo realizado por Berlato *et al.* (2005), foi observado que, em anos nos quais se registraram anomalias positivas de chuva – relacionados com anos de ocorrências de *El Niño* –, a produtividade do milho cresceu enquanto que, quando *La Niña* ocorreu, houve redução desse indicador, tendo sido esse mesmo comportamento observado para a soja (Berlato e Fontana, 1999).

Os anos de ocorrência de *La Niña* estão associados à estiagem no Sul, porém, são favoráveis ao rendimento de grãos na cultura do trigo (Alberto *et al.*, 2006).

No Nordeste, *El Niño* acarreta em períodos de estiagem e *La Niña*, aumento de precipitação. Rao *et al.* (1997) relacionaram *La Niña* a aumento de produtividade no milho.

#### **4.5.3 ARMAZENAMENTO, DISTRIBUIÇÃO E ACESSO A ALIMENTOS E INTERAÇÕES RESPECTIVAS COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Os últimos 20 anos foram marcados por transformações profundas na estrutura do abastecimento alimentar, com domínio crescente da lógica privada, por meio da rápida expansão do setor varejista, por um lado e, por outro, pela perda de capacidade de atuação direta ou de regulação pública pelos órgãos do estado. O País passou a ser líder na produção e exportação de alimentos agropecuários, mas, ainda, convive com a insegurança alimentar de sua população – 30,2%<sup>16</sup> – devido à falta de acesso aos alimentos. A produção sustentável convive com padrão não sustentável na agricultura, associado à apropriação e especulação de terras, ao desmatamento e a práticas que agridem e poluem solo e meio ambiente.

No período mais recente, houve grandes avanços em relação a diminuição de insegurança alimentar, desnutrição infantil e apobrezia no Brasil, ligados a políticas governamentais de transferência de renda e assistência social. Ao mesmo tempo, observou-se mudanças negativas nos padrões de consumo e no perfil nutricional da população brasileira. Dados atuais mostram que, em sua parcela adulta, 50,1% dos homens e 48% das mulheres estão com excesso de peso. Entre as crianças de cinco a nove anos, 16,6% dos meninos e 11,8% das meninas sofrem de obesidade<sup>17</sup>.

Tal padrão de consumo está associado à evolução em direção a uma dieta pouco diversificada, baseada em número reduzido de produtos alimentares e em baixo consumo de alimentos frescos, tais como frutas e hortaliças.

Se por um lado o avanço da tecnologia contribui para maior oferta e/ou variedade de alimentos no mercado, por outro, a atual complexidade de seu processo produtivo poderá colocar a sociedade brasileira diante de novos riscos à saúde. O uso intensivo de agrotóxicos nas culturas alimentares, a maior resistência bacteriana associada ao uso indiscriminado de medicamentos veterinários e o aumento

---

<sup>16</sup> Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD/IBGE 2009.

<sup>17</sup> Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2008/2009), publicada pelo IBGE em 2011



de refeições feitas fora do lar, somados ao alto grau de processamento dos alimentos industrializados – cuja composição é afetada pelo uso excessivo de açúcar, sódio e gorduras, gerando alimentos de elevada densidade energética – passam a exigir adequações no marco regulatório para produtos alimentícios.

Assim, o foco sobre grandes *commodities* de exportação e paradigmas da revolução verde poderá ter forte impacto nas questões de segurança alimentar, no que se refere a renda e a quantidades de alimentos, principalmente no fornecimento de proteína e energia para a população urbana.

Entretanto, com respeito à qualidade dos produtos, novos paradigmas de produção local, agricultura periurbana e outros atributos de qualidade alimentar exigirão adequações de aspectos nutricionais, armazenamento, distribuição e acesso aos alimentos. A agricultura familiar, por seus métodos de produção, permeabilidade e foco no consumo local, poderá contribuir com parte da solução desses aspectos, principalmente quanto a problemas de distribuição e acesso a alimentos.

No Brasil, a importância do setor de agricultura familiar pode ser dimensionada pelo seu peso na economia do País: representa em torno de 10% do PIB brasileiro e pouco mais de um terço do total do valor da produção agrícola nacional (Gotilho *et al.*, 2007)<sup>18</sup>.

O CENSO Agropecuário de 2006 apresentou informações que demonstraram seu papel relevante na dinâmica da produção alimentícia no Brasil. Ao todo, são 4,36 milhões estabelecimentos de agricultores familiares, o que corresponde a 84,4% do total de pessoas jurídicas rurais do País. Esse modo de agricultura emprega aproximadamente 74,4% da mão de obra do campo e é responsável por colocar na mesa, a parte mais expressiva – cerca de 70% – dos alimentos que são consumidos diariamente pelos brasileiros – mandioca, feijão, carne suína, leite, milho, aves e ovos, além de frutas e hortaliças.

A Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSAN), em vigor no Brasil através do Decreto nº. 7.272/2011, está alicerçada em oito diretrizes, construídas para dar conta do complexo circuito de promoção da segurança alimentar e nutricional (SAN), que abrange processos relacionados a produção, armazenamento, conservação, processamento, comercialização e consumo de alimentos. As diretrizes são as seguintes:

- promoção de acesso universal à alimentação adequada e saudável;
- promoção de abastecimento e estruturação de sistemas sustentáveis e descentralizados de base agroecológica, produção, extração, processamento e distribuição de alimentos;
- instituição de processos permanentes de educação alimentar e nutricional;
- promoção, universalização e coordenação de ações de segurança alimentar e nutricional voltadas para quilombolas e demais povos e comunidades tradicionais, povos indígenas e assentados pela reforma agrária;
- fortalecimento de ações de alimentação e nutrição em todos os níveis de atenção à saúde, de modo articulado às demais iniciativas para de segurança alimentar e nutricional;
- promoção de acesso universal a água de qualidade e em quantidade suficiente para a produção de alimentos da agricultura familiar;
- apoio a iniciativas de promoção de soberania alimentar e direito humano à alimentação adequada em âmbito internacional; e, ainda, monitoramento da realização de direito humano à alimentação adequada.

Além dessas diretrizes, outro fator bastante relevante na questão da relação entre segurança alimentar e nutricional e os efeitos de mudanças climáticas é a recente tendência de volatilidade de preços de alimentos no mundo, iniciada em 2007, com dois momentos de alta: o início dos anos de 2009 e 2011.

Entre os fatores que explicam esse fenômeno estão: mudanças climáticas, aumento de demanda por alimentos, uso de grãos para fabricar biocombustíveis e encarecimento do petróleo. A relação entre

---

<sup>18</sup> Joaquim J. M Gotilho *et al.* *PIB da Agricultura Familiar: Brasil-Estados*. Brasília, NEAD/MDA, 2007.

a alta dos preços e seu impacto sobre segurança alimentar e nutricional (SAN) da população tem preocupado sobremaneira os países, que têm buscado fortalecer e aplicar medidas de garantia a ela pertinentes em suas políticas internas e externas. Entre essas, pode-se citar aquelas sobre armazenamento e estocagem de alimentos.

Diante da necessidade de uma política nacional de abastecimento alimentar mais próxima das preocupações atuais relacionadas aos impactos causados por mudanças climáticas da volatilidade de preços de alimentos e da necessidade do aumento e regularização do acesso a alimentos, a Câmara Interministerial de Segurança Alimentar e Nutricional (CAISAN<sup>19</sup>) vem elaborando política sobre abastecimento que possa assegurar e estruturar uma rede pública de unidades armazenadoras estrategicamente localizada que considerem as necessidades específicas dos diversos tipos de alimentos enquanto suporte a operações governamentais de abastecimento, incluindo o atendimento a demandas sociais e emergenciais. O acompanhamento sistemático de preços de alimentos, da produção ao consumo nos níveis nacional e internacional, tem sido apresentado como medida necessária para se enfrentar a volatilidade em âmbito nacional.

No Brasil, os dados de armazenamento de alimentos mostram que a capacidade estática dos armazéns – está hoje em 139.537.752 toneladas, sendo que, desse total, 113.949.428 se referem a armazéns que estocam produtos a granel e 25.588.324, aos convencionais<sup>20</sup>. A produção nacional de grãos estimada para a safra de 2010 a 2011 foi de 161,54 milhões de toneladas<sup>21</sup>.

Ao analisar a capacidade de armazenagem nos principais estados produtores, um estudo da CONAB, realizado em 2005<sup>22</sup>, demonstrou a existência de regiões mais carentes de espaço armazenador. A demanda por armazenagem para 2005, representada pela produção e importação de grãos e incluindo café e cana-de-açúcar superava a oferta de 104 milhões de toneladas de capacidade estática.

O trabalho apontou ainda, que houve estagnação no crescimento da capacidade de armazenagem entre as safras de 1993 a 1994 e de 2000 a 2001, retomado pelo entusiasmo proporcionado pela produção de soja quando o setor privado demonstrou interesse em investir em armazéns. Mesmo assim, conforme sua conclusão, os investimentos em infraestrutura de armazenagem não acompanharam esse ritmo de crescimento, constatando-se um *deficit* real próximo de 7%.

Por fim, destaca-se que o comportamento dos estoques públicos é crucial para uma política de abastecimento. O poder público atua como agente regulador nos momentos em que os mercados apontam para a necessidade de intervenção. Um dos efeitos mais desejáveis da implementação da política de estoques é a redução da volatilidade de preços agrícolas, especialmente nos períodos de safra, quando eles tendem a ser mais baixos e, eventualmente, inferiores ao mínimo estabelecido. Para que a ação do governo sustente preços de fato, é necessário que seus instrumentos de apoio tenham alcance representativo e suas intervenções ocorram de maneira contínua e planejada. Essa possibilidade de gestão tem especial importância para um cenário de maior instabilidade na produção agrícola. Para tanto, uma das estratégias de adaptação mais defendidas por especialistas é o aumento da capacidade de se lidar com um ambiente mais instável por meio de instrumentos de gestão de produção e armazenamento.

---

<sup>19</sup> A Câmara Interministerial de Segurança Alimentar e Nutricional (CAISAN) é um dos componentes do Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN e foi, regulamentada pelo Decreto no. 6.273/2007,. Tem a participação de 19 ministérios e órgãos federais. Dentre suas atribuições, está a de coordenar a implementação do Plano e da Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional.

<sup>20</sup> *Mapa da Capacidade Estática dos Armazéns*. In: <http://www.conab.gov.br/detalhe.php?a=1077&t=2>. Dados de 31/08/2011.

<sup>21</sup> CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira 2010/11 - Grãos. Relatório de agosto de 2011.

<sup>22</sup> CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). *Armazenagem Agrícola no Brasil*. Dezembro, 2005. Disponível em [www.conab.gov.br/publicações](http://www.conab.gov.br/publicações).

#### 4.5.4. ANÁLISE INTEGRADA DE ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO PARA AUMENTO DE SEGURANÇA ALIMENTAR

##### 4.5.4.1 AÇÕES DE ADAPTAÇÃO NO CONTEXTO DE SEGURANÇA ALIMENTAR

Diante dos cenários expostos anteriormente, nas duas principais vertentes apresentadas, ou seja, a dos impactos causados por mudanças climáticas sobre a produção de alimentos, seu armazenamento, distribuição e acesso, este item do subcapítulo 4.5 procura fazer uma análise integrada de alternativas ou ações de adaptação. Para tanto ele enfoca a segurança alimentar e uma síntese das principais políticas para o setor que possam colaborar com sua implementação sob três aspectos: estruturação do setor agropecuário, produção e disponibilidade de alimentos e acesso à alimentação adequada.

Existem várias medidas de mitigação que os países têm adotado a fim de reduzir o aquecimento global nos próximos anos. Além disso, os pesquisadores brasileiros têm desenvolvido tecnologias que permitem a adaptação das culturas agrícolas a temperaturas mais elevadas (Silva *et al.*, 2012; Freire *et al.*, 2008). Essas iniciativas, juntamente com a capacidade comprovada do Homem para superar grandes desafios, oferecem uma visão otimista do futuro, sem reduzir a necessidade de se continuar a fortalecer os esforços em curso.

Ações de pesquisa e extensão em desenvolvimento visam fornecer alternativas para que produtores agrícolas possam se adaptar a mudanças climáticas e reduzir seus impactos. Essas iniciativas envolvem:

- o desenvolvimento de cultivares mais resistentes à seca (Silva *et al.*, 2012);
- o uso de água residual e biossólidos (Costa *et al.*, 2009);
- os sistemas de consorciação (Montezano e Peil, 2006);
- a quantificação de biomassa (Cotta *et al.*, 2008), celulose (Gouveia *et al.*, 2009), energia (Simas e Pacca, 2013) e outros possíveis subprodutos;
- o efeito da temperatura do ar sobre pragas (Henriques *et al.*, 2010), controladores biológicos e doenças (Rocha *et al.*, 2009); além do
- desenvolvimento de sistemas orgânicos de produção (Araújo e Melo, 2010).

Também existem diversas demandas não atendidas por sistemas de produção agrícola que, a partir da introdução de tecnologias alternativas, atendam a múltiplos propósitos, tais como o de se adaptar às mudanças climáticas e o de continuar produzindo alimentos de forma sustentável e, simultaneamente, contribuir para redução e sequestro de emissões de GEEs. A quantificação da fixação ou redução de emissões e a análise de possibilidades de participação no mercado internacional de carbono tornam necessário que, aliado ao atendimento daquelas demandas, se realize a avaliação dos aspectos sociais, econômicos e ambientais decorrentes.

○ desenvolvimento de novos cultivares é uma das medidas eficazes para adaptação a elevação de temperatura do ar e secas, podendo-se citar como exemplo:

- i) a variedade de soja, desenvolvida pela Embrapa Cerrados para condições de alta temperatura e menor disponibilidade de água e cultivada no Centro-Oeste, e
- ii) a espécie de cana de açúcar desenvolvida pela Embrapa Agroenergia, que demanda menor quantidade de água e está em fase de testes.

○ sistema de arborização promove a interceptação de radiação incidente que contribui para atenuar os extremos térmicos e diminuir a evapotranspiração, aumentando a umidade relativa no ambiente próximo a culturas. Essa técnica mostrou resultados eficientes na proteção contra geadas na cafeicultura (Morais *et al.*, 2007), sendo que a temperatura da folha do cafeeiro em locais plantados com sombreamento de árvores pode chegar a ser 2 °C a 4 °C mais elevada que as daquelas plantadas sem arborização (Caramori *et al.*, 1996).

Os eventos extremos podem ter efeitos positivos em alguns casos ou em áreas. Pode-se citar como exemplo, as condições derivadas do evento *El Niño* ocorrido em 1998 refletidas nos níveis abundantes de umidade no solo, ocasionando safra recorde de soja no Brasil (Rosenzweig *et al.*, 2001). Dessa forma, o sistema de monitoramento de eventos climáticos pode contribuir para o planejamento de seleção e plantio de espécies, visando aproveitar as características de determinados fenômenos.

Dado que o principal impacto de mudanças climáticas sobre o sistema de produção de alimentos é o aumento do *deficit* hídrico, para se alcançar efetivamente maior sustentabilidade no agronegócio brasileiro, é preciso reduzir os riscos de escassez de água promovendo o uso eficiente desse recurso natural e, até mesmo, diminuir a probabilidade de se desenvolver e complementar uma imagem negativa, que pode estar associada a sua má utilização.

Além de se valer de incentivos fiscais, o Brasil pode estimular programas de pesquisa que privilegiem o desenvolvimento e o uso racional de água na agricultura por meio de seus institutos de pesquisa e programas de financiamento à mesma. Pode criar, ainda, incubadoras de tecnologia a partir do *know-how* acumulado em suas universidades e institutos, criando parcerias com empresas para desenvolvimento tecnológico e incorporação de recursos tecnológicos ambientalmente limpos no processo produtivo (SMA-SP/ CPLA, 2010)

No Estado de São Paulo, existem políticas públicas importantes para uso racional de água e conservação de recursos hídricos. Atualmente, encontra-se em elaboração o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais, que visa prover incentivos a produtores rurais para que tomem medidas de conservação, tais como recuperação de nascentes e matas ciliares. Existe, também, a cobrança por uso de água, já instituída em alguns comitês de bacias hidrográficas, com exemplos semelhantes também nos estados do Paraná e de Santa Catarina (SMA-SP/ CPLA, 2010).

Outras ações importantes no contexto da SAN, que se relacionam mais de perto com o enfrentamento das mudanças climáticas, referem-se ao fortalecimento de práticas agroecológicas – como, por exemplo, os sistemas agroflorestais, a recuperação de sementes crioulas, os reflorestamentos de espécies nativas, a recuperação de nascentes e o uso de bioenergia –, bem como a investimentos em pesquisa e tecnologias alternativas. Diversas iniciativas, ainda que em pequena escala, estão sendo implementadas pelos ministérios do Desenvolvimento Agrário (MDA), MMA) e MAP).

A agroecologia tem suas raízes na revalorização dos métodos tradicionais de manejo e na gestão ambiental, que evoluíram a partir dos conhecimentos acumulados por populações locais em sua convivência íntima com os bens da natureza disponíveis e sua otimização em vários biomas e ecossistemas visando o atendimento de suas necessidades de reprodução biológica e social.

A ideia de diversidade é a dimensão central na agroecologia. Ela tem grande significado para uma alimentação adequada e saudável, diretamente relacionada com conservação, manejo e uso de agrobiodiversidade – descrita como diversidade de espécies, variedade genética e sistemas agrícolas ou cultivados. Junto com a diversidade alimentar e cultural, esses aspectos se constituem em grandes desafios para a garantia de segurança alimentar e nutricional. Essa abordagem reafirma o respeito às especificidades ambientais, econômicas, socioculturais e climáticas.

Outra forma de se valorizar a biodiversidade nas políticas públicas é o Plano Nacional da Sociobiodiversidade do governo federal, por meio do qual são direcionados recursos de crédito através da Política de Garantia de Preços Mínimos (PGPM) e da alimentação escolar para o fortalecimento de cadeias de sociobiodiversidade – como, por exemplo, as de babaçu, açaí e castanha –, associados ao extrativismo sustentável particularmente no bioma Amazônia.

Várias ações na área de SAN, – principalmente aquelas relacionadas ao fortalecimento da agricultura familiar, acesso à água, agricultura urbana e implementação de política para abastecimento alimentar – que aproximem a produção do consumo, podem ser consideradas medidas de enfrentamento dos

efeitos de mudanças climáticas, assim como formas de adaptação a elas.

No contexto atual da construção da Política Nacional de SAN, torna-se urgente a implementação de uma política nacional de abastecimento alimentar.

A questão do acesso aos alimentos ainda permanece como desafio à efetivação de SAN para a população, em especial para os mais vulneráveis ou para grupos populacionais específicos. O incremento de renda e a melhoria de qualidade de vida de boa parte da população foram ganhos incomparáveis para a segurança alimentar, uma vez que a primeira – ou a não renda – é a principal condição para o acesso a alimentos.

A aproximação entre produção e consumo é considerada uma das principais formas de garantia de SAN. Ela seria alcançada por uma atuação integrada de abastecimento em nível local, por meio da formação de redes de equipamentos públicos que atuem de forma coordenada.

Nesse sentido, a promoção de ações de fortalecimento da agricultura familiar favoreceu bastante sua participação na produção nacional. Destacam-se, aí, tanto políticas de crédito direcionado, como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) quanto aquelas, destinadas a aquisição de alimentos.

O Programa de Aquisição de Alimentos da Agricultura Familiar (PAA), através do qual o poder público os adquire desses agricultores sob dispensa de licitação e limites estabelecidos de acordo com a modalidade a ser acessada para destiná-los às pessoas em situação de insegurança alimentar e nutricional que são atendidas por rede socioassistencial, ajuda a manter a renda e promover segurança ao canalizar o poder de compra público para esse contingente de produtores agrícolas.

Em 2009, com a aprovação da Lei nº. 11.497/2009 que regulamenta o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), a determinação de que 30% de seus recursos fossem repassados pelo governo federal a estados e municípios e direcionados à compra de alimentos produzidos em regime de agricultura familiar foi uma medida de grande impacto para a SAN, tanto em relação à dimensão desse tipo produção quanto ao acesso aos alimentos. Como sintetiza Santana *et al.* (2011),  
(,,,) o Brasil enfrenta uma perspectiva positiva quanto à capacidade produtiva de seu setor agrícola. A transformação dessa perspectiva em realidade, todavia, depende de vários fatores, alguns dos quais podem ser influenciados por políticas públicas, outros não. Assim, é essencial que o governo assegure uma estabilização contínua da economia, adote políticas macroeconômicas e agrícolas sólidas e seja bem sucedido nos esforços para reduzir as taxas de juros internas pagas pelos produtores e consumidores. Ademais, é indispensável aumentar os investimentos na pesquisa agrícola e no desenvolvimento em infraestrutura, simplificar procedimentos de exportação, encontrar uma solução para o problema de endividamento de crédito rural enfrentado por um grande número de fazendeiros no Brasil e expandir a produção de fosfato e potássio para produção de fertilizantes. Acima de todos esses elementos, é fundamental que o governo mantenha uma forte vontade política para tomar as medidas oportunas requeridas para um crescimento sustentado da agricultura e da economia.

Essa síntese embute um grande desafio no campo da segurança alimentar e nutricional e sua adaptação a mudanças climáticas que é fazer com que políticas públicas atuem de forma integrada e entre os setores, levando em conta todos esses processos e fazendo com que eles não atuem de forma isolada. É a partir dessa integração que será possível enfrentar a questão de um desenvolvimento sustentável, que seja feito de forma a preservar o meio ambiente, enfrentar mudanças climáticas e assegurar justa redistribuição de recursos.

Com essa visão, apresenta-se abaixo as principais políticas públicas relacionadas ao setor agropecuário brasileiro, à segurança alimentar e sua interação com mudanças climáticas.

#### 4.5.4.2 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO

Em 2009, foi aprovada a Lei Federal no 12.187, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança no Clima com o objetivo de reduzir voluntariamente as emissões de GEEs pelo Brasil, projetadas até 2020, em 36,1% a 38,9%. Essa redução se dará principalmente por diminuição do desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado, adoção de boas práticas agropecuárias e, ainda, maiores eficiência energética e uso de energia renovável como a de biocombustível.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima tem como base duas metas principais:

- a) mitigação das emissões de GEEs nos setores de energia, agropecuária e florestal, industrial, de resíduos, transporte e saúde, principalmente no que diz respeito à redução dos gases provenientes de mudança de uso de solo e de floresta;
- b) adaptação a mudanças climáticas, principalmente por populações consideradas mais vulneráveis.

Portanto, pelo menos três grandes referências institucionais precisam ser analisadas para a construção de um caminho efetivo rumo à sustentabilidade da agropecuária no Brasil:

- (i) o Plano Agrícola e Pecuário (PAP), como documento principal de propostas para o setor agropecuário;
- (ii) as políticas de incorporação de sustentabilidade na agropecuária contempladas no PNMC (Monzoni e Biderman, 2010) e;
- (iii) o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como Plano ABC.

#### **Plano agrícola e pecuário**

A política agrícola adotada pelo governo federal visa assegurar o apoio necessário ao produtor rural. Isso é fundamental para se garantir a superação dos desafios da agricultura e da pecuária, adequando o setor às novas dinâmicas dos mercados interno e externo. Para a safra de 2011 para 2012 foram destinados R\$ 107,2 bilhões, 7,2% superior ao valor registrado para a safra anterior, em financiamento de operações de custeio, investimento, comercialização e subvenção ao prêmio do seguro rural.

Pela primeira vez, houve recursos públicos em condições mais favoráveis para retenção e compra de matrizes e reprodutores, bem como para recuperação de pastagens degradadas. Para as culturas de cana-de-açúcar e dos biocombustíveis, foram asseguradas linhas de financiamento à expansão e renovação de canaviais. Por fim (PAP/MAPA, 2011), o governo destinou verbas para garantir preços mínimos de referência aos produtores cítricos e manteve as linhas de crédito para cafeicultores via Fundo de Defesa da Economia Cafeeira (FUNCAFÉ).

Além dessas ações previstas no Plano Agrícola e Pecuário no biênio 2011/2012, o governo federal optou pelo aperfeiçoamento das ações referentes ao uso de tecnologias direcionadas à sustentabilidade da produção agropecuária, consolidando o Programa ABC lançado no ano anterior. O Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, que incorpora o Programa de Estímulo à Produção Agropecuária Sustentável (Produsa) e o Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas (Propflo-ra), dará incentivos ao produtor que adotar boas práticas agrônômicas para minimizar o impacto da emissão de gases de efeito estufa.

O Programa ABC destinou R\$ 3,15 bilhões aos produtores no biênio 2011/2012. A ideia é ampliar a competitividade do setor, aprofundando os avanços tecnológicos nas áreas de sistemas produtivos sustentáveis, microbiologia do solo e de planta e recuperação de áreas degradadas. A agricultura pode contribuir para a preservação do meio ambiente, seja por meio do sequestro de carbono, pelo desenvolvimento vegetal ou pela redução do desmatamento. Isso se dará mediante a ampliação das atividades agropecuária e florestal em áreas degradadas ou em recuperação. Um grande esforço de transferência de tecnologia será exigido para o real sucesso do plano ABC (PAP/MAPA, 2011). Essas ações ampliam a eficiência e a sustentabilidade do setor agropecuário, bem como consolidam o País nas primeiras posições no mercado mundial de alimentos.

## Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)

O PNMC (2008) define ações e medidas que visam a mitigação, bem como a adaptação à mudança do clima, sendo seus objetivos específicos, os seguintes:

- fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores produtivos na busca constante do alcance de melhores práticas, pois para que o desenvolvimento do País ocorra em bases sustentáveis, ações governamentais dirigidas à produção deverão buscar, cada vez mais, a promoção do uso mais eficiente de recursos naturais, científicos, tecnológicos e humanos;
- buscar manter elevada a participação da energia renovável na matriz elétrica, preservando a posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional;
- fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional, além de atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis;
- buscar a redução sustentada das médias quadrienais das taxas de desmatamento em todos os biomas brasileiros, até que se atinja o patamar zero de desmatamento ilegal;
- eliminar a perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil até 2015; e, ainda,
- procurar identificar os impactos ambientais decorrentes de mudanças do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize custos socioeconômicos de adaptação pelo País.

Para alcançar os objetivos do PNMC, serão criados mecanismos econômicos, técnicos, políticos e institucionais que:

- promovam um desenvolvimento científico e tecnológico do setor produtivo que inclua considerações ambientais a favor da coletividade;
- aumentem a consciência coletiva sobre os problemas ambientais da atualidade e propiciem o desenvolvimento de uma sociedade mais justa, fraterna e solidária;
- valorizem a floresta em pé e façam com que a conservação florestal seja uma atividade atrativa, que gere riqueza e bem-estar àqueles que vivem dela; e, ainda,
- incentivem e estimulem medidas regionais que sejam adequadas às condições diferenciadas, onde cada região, e mesmo, cada estado da Nação, possa identificar suas melhores oportunidades de redução de emissões e remoção de carbono.

Em escala estadual, diversas ações vêm sendo implementadas desde 2000. Até o momento, foram criados 17 fóruns estaduais abrangendo os estados do Amazonas, Pará, Tocantins, Rondônia, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Mato Grosso, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Mantidas suas características e políticas regionais, eles têm como foco e abrangência:

- mudanças climáticas e biodiversidade – São Paulo e Bahia –;
- mudanças climáticas e o uso racional da água – Espírito Santo –;
- mudanças climáticas e conservação ambiental e desenvolvimento sustentável – Amazonas –;
- mudanças climáticas e combate à pobreza – Piauí –; e, por fim,
- mudanças climáticas globais – Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Pernambuco e Mato Grosso.

Em todas as unidades federativas do País, há um interesse muito forte por estabelecer o próprio inventário de GEEs, os quais já foram feitos pelos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

## Plano ABC

Foi também em 2009, no contexto das metas da política nacional, que se desenhou o que viria a ser o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura ou Plano ABC. O setor agropecuário, responsável por cerca de 30% das emissões do Brasil, ficara de fora das ações de mitigação previstas no plano nacional. Mas, já havia em 2008, avançadas discussões sobre o tema na academia. Naquele ano, após o lançamento do estudo *A Nova Geografia da Produção Agrícola*, financiado pela Embai-

xada Britânica e executado pela Embrapa e pela UNICAMP, ficou claro que, se mantida a política de inação referente ao aquecimento global, já no ano de 2020 o Brasil poderia perder aproximadamente R\$ 7 bilhões, considerando-se somente um aumento na temperatura do ar de 1 °C. Os impactos maiores seriam sentidos pelas culturas de soja, milho e café. Havia, portanto, a necessidade de se criar um plano que tivesse como foco, em um primeiro momento, a redução das emissões de GEEs pela agricultura.

O Plano ABC é um conjunto de propostas de tecnologias limpas que, quando de sua adoção, permitirão reduzir ou evitar emissões de GEEs, com metas bem definidas e estabelecidas em Copenhague. Foi criado oficialmente pelo Decreto nº. 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Acompanha o plano, além de proposições tecnológicas fundamentadas em estudos científicos, um componente operativo que busca soluções para o seu principal entrave: o treinamento dos principais atores, ou seja, o setor financeiro, os *extensionistas* e produtores.

As tecnologias propostas pelo Plano ABC são: adoção, na agricultura, de recuperação de pastagens atualmente degradadas, promoção de integração entre a lavoura e a pecuária, ampliação de plantio direto na palha e de Fixação Biológica de Nitrogênio, ações que implicariam o corte de emissões de 133 a 166 milhões t CO<sub>2eq</sub>.

Posteriormente, nos compromissos que envolvem o componente agropecuário, foram adicionadas estratégias de integração entre lavoura, pecuária e floresta (ILPF) e os sistemas agroflorestais (SAFs), bem como, a produção de florestas plantadas e o processo de tratamento de dejetos animais.

#### **4.5.4.3 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA PRODUÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ALIMENTOS**

##### **Programa Nacional de Agricultura Familiar (Pronaf)**

Ao se analisar os últimos onze anos agrícolas de implementação do Pronaf Crédito, verifica-se que foram efetivamente aplicados R\$ 71,7 bilhões em contratos de financiamento para a agricultura familiar, partindo de um montante anual de R\$ 1,1 bilhão na safra 1998 para 1999 que aumentou gradualmente até atingir R\$ 10,8 bilhões em 2008 para 2009. Um dos principais desafios desse programa é como adequara política de crédito agrícola para agricultores familiares mais empobrecidos.

##### **Programa de Aquisição de Alimentos (PAA)**

Esse programa apresenta maior cobertura nas regiões Nordeste, Sudeste – o semiárido mineiro – e Sul. O Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) é o responsável pelo maior aporte de recursos. . Dois terços deles se voltam para a produção de leite e seus derivados, bem como para a de grãos e cereais. O terço restante é aplicado em uma diversidade significativa de alimentos.

No que se refere aos produtores, a participação de agricultores familiares mais pobres é maior, principalmente no Nordeste – sobretudo nos estados de Ceará, Bahia, Pernambuco e Paraíba. Considerado em sua globalidade, o PAA avançou substancialmente em curto espaço de tempo. Esse progresso sinaliza a necessidade de se fortalecer políticas de produção voltadas à agricultura familiar que sejam alternativas à tradicional política de crédito desempenhada pelo PRONAF. Ademais, a demanda crescente pelos recursos do programa demonstra que a garantia de renda sem risco de endividamento, oferecida pelo mesmo, contribui para elevar a capacidade produtiva e o padrão de vida dos participantes.

##### **Política de Garantia de Preços Mínimos/Formação de Estoques Públicos (PGPM)**

Recentemente, entre as medidas importantes para se reerguer a PGPM como instrumento público de intervenção no mercado agrícola, além de assegurar os recursos orçamentários e financeiros necessários às mesmas, foi a promoção de uma significativa recomposição dos preços mínimos.

Na safra 2008 para 2009, diante da crise mundial de alimentos, o Estado utilizou os preços mínimos como estímulo à produção de alimentos. Tais medidas causaram impactos diretos na regulação de



preços e valorizaram produtos como o arroz, o milho e o trigo.

### **Reforma agrária**

Os assentamentos rurais compõem parcela importante da agricultura familiar. Ao final de 2009, estavam em execução quase 8,6 mil projetos que abrigavam quase um milhão de famílias em todo o País, direcionados ao fortalecimento da agricultura familiar e à promoção da agrobiodiversidade. Pouco mais de 3/4 dos assentados estavam nas regiões Norte – 43% – e Nordeste – 33%.

Mas apesar dos avanços, a concentração fundiária e a morosidade na implantação da reforma agrária persistem como obstáculos ao desenvolvimento e à consolidação dos sistemas familiares de produção rural no Brasil. Uma política articulada do Estado, que vise promover a segurança e a soberania alimentar e nutricional, deve ter, como componentes estratégicos, o fortalecimento da agricultura familiar e a efetivação dos reordenamentos fundiário e agrário – igualmente importantes no meio rural, para se enfrentar pobreza e desigualdade de raça e gênero.

#### **4.5.4.4 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ACESSO A ALIMENTAÇÃO ADEQUADA**

##### **Programa Nacional de Alimentação Escolar - PNAE**

Recentemente reformulado por meio da Lei nº 11.947/2009, que o estendeu para toda a rede pública de educação – básica, incluindo o ensino médio, de jovens e adultos –, esse programa alcançou um total de 47 milhões de escolares em 2010. Sua lei instituiu o investimento de ao menos 30% dos recursos destinados ao PNAE, na compra de produtos gerados pela agricultura familiar, sem necessidade de licitação e priorizando alimentos orgânicos e/ou agroecológicos, de forma a facilitar a oferta de alimentação mais saudável e mais próxima dos hábitos alimentares locais. A iniciativa também inclui repasses financeiros ampliados a alunos indígenas e quilombolas.

Como desafio, é importante que o PNAE consolide e dissemine seu sistema de monitoramento e avaliação, assim como a sistemática ampliação e qualificação de ações de educação alimentar e nutricional, de modo a fazer do programa um espaço efetivo para a promoção de uma alimentação saudável e a formação de sujeitos de direitos.

##### **Rede de equipamentos públicos de SAN**

Criada a partir de 2003, tem mais de 500 unidades em funcionamento atualmente. São equipamentos públicos voltados para municípios grandes e médios e estão mais presentes nas regiões Sul e Sudeste. Ela conta com uma estrutura operacional composta pelos equipamentos de oferta de alimentação adequada e saudável: restaurantes populares e cozinhas comunitárias; e pelos equipamentos de abastecimento e combate ao desperdício de alimentos: unidades de apoio à distribuição de alimentos da agricultura familiar, bancos de alimentos e mercados populares. O desafio principal é a ampliação da capilaridade dessa rede para todo o território nacional. Além disso, há necessidade de institucionalização, definição dos compromissos e responsabilidades dos entes federados, padronização dos serviços, sustentabilidade dos equipamentos pela ação direta do Estado e integração desses com o PAA, a fim de fortalecer a estruturação de redes descentralizadas de SAN.

##### **Distribuição de alimentos a grupos específicos**

Tendo como foco a distribuição de alimentos a populações extremamente vulneráveis, foram entregues mais de 220 mil toneladas de alimentos entre 2003 e 2008 por meio de cestas de alimentos para famílias acampadas que aguardavam o programa de reforma agrária, comunidades de terreiros – pela capilaridade que possuem junto à população negra e de menor poder aquisitivo –, indígenas, quilombolas, atingidos por barragens e populações residentes em municípios vítimas de calamidade pública.

## **Carteira Indígena**

Os projetos da Carteira Indígena apoiam a produção de alimentos para a autossustentação, tais como, os destinados a criações de hortas comunitárias, animais e agroflorestas, ao artesanato, agroextrativismo, recuperação de áreas degradadas e acesso a água e, ainda, à construção de equipamentos para alimentação. Já apoiou quase 300 projetos, atendendo a 22 mil famílias indígenas. A instabilidade institucional é seu principal desafio, por fazer parte de um projeto que encerra em 2011.

## **Acesso a água para consumo e produção**

Foram analisados dois programas voltados para a região semiárida nordestina: o Programa de Cisternas – primeira água –, que construiu 273 mil cisternas entre 2003 e 2009 e atende 1,4 milhão de pessoas; e o Programa Segunda Água – água para produção –, que fez 2.892 implantações entre 2007 e 2009. Um desafio dessas ações é o monitoramento de qualidade da água disponível às famílias. Esses programas possuem metas relevantes estabelecidas no Plano Brasil Sem Miséria, a partir do Programa Água Para Todos, o que resulta na ampliação dos parceiros envolvidos na implementação de cisternas para universalização do acesso a água por famílias de baixa renda habitantes da zona rural.

## **Programa de Alimentação do Trabalhador - PAT**

Atendia 131 mil empresas em agosto de 2010, contemplando treze milhões de trabalhadores. É um programa concentrado no Sudeste e atende mais de 70% dos trabalhadores com menos de cinco salários mínimos. Na agenda do PAT, tornam-se necessárias revisões importantes de seu marco legal que permitam ampliar o acesso por trabalhadores a benefícios, acompanhando as mudanças que vêm ocorrendo no mercado de trabalho e que possibilite também, levar a mão de obra para regiões onde o desenvolvimento industrial ainda está sendo construído. Como em outros programas, o componente de educação alimentar e nutricional necessita ser fortalecido.

### **4.5.4.5 DIRECIONAMENTO DE NOVAS MEDIDAS ADAPTATIVAS QUE BUSQUEM EXPANDIR A SEGURANÇA ALIMENTAR**

Conclusivamente, depreende-se dos subitens acima que diversas ações e políticas colaboram efetivamente para adaptaro sistema de segurança alimentar em diversos níveis de atuação. De qualquer forma, um direcionamento mais integrado de novas medidas adaptativas poderia promover avanços na incorporação de novos modelos e paradigmas de produção agropecuária.

De um lado, poder-se-ia focar em descentralização da produção, busca de soluções mais adaptadas às condições locais, diversificação da oferta interna de alimentos e qualidade nutricional, e de outro, na capacidade de se lidar com instrumentos de gestão de produção e armazenamento – principalmente diante de novas instabilidades trazidas por mudança climática – e, também, na adoção de medidas que permitam reestruturar os sistemas de produção agrícola. Tais iniciativas devem atender a múltiplos propósitos e, mesmo ao se adaptarem a mudanças climáticas, devem continuar produzindo alimentos de forma sustentável e contribuindo para a redução e sequestro de emissões de GEEs, além de, simultaneamente, respeitar e trazer melhorias a aspectos sociais, econômicos e ambientais delas decorrentes.

O meio para se alcançar tais avanços deve incluir, em conjunto com programas de garantia e transferência de renda, de crédito e de pesquisas para adaptação, um esforço de inovação no campo, baseado na criação de um ambiente institucional adequado.

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, especial atenção deve ser dada para:

- a rearticulação e capacitação continuada da rede de extensão rural, pública e privada;

- a transferência de conhecimentos e tecnologias adaptadas às condições locais;
- a promoção do desenvolvimento regional;
- ações de formação de capital humano paracadeias produtivas ligadas à agricultura; e, ainda,
- a organização de produtores e agrupamentos regionais de produção.

Objetivamente, mesmo diante dos novos desafios trazidos por mudanças climáticas, esse direcionamento deve levar à sustentabilidade em sua concepção mais plural ou multisetorial. A agricultura familiar parece dar alguns indícios de que há caminhos possíveis para atingi-la, desde que se esteja apto a adotar alterações significativas de modelos e paradigmas atuais de produção, distribuição e acesso aos alimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Saber, A.N., 2000: Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1(1), 27-43.

Abell, R. *et al.*, 2008: Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Bioscience*, 58(5), 403-414.

Abiove, 2010: *Moratória da soja*. 3º Ano do Mapeamento e Monitoramento do Plantio de Soja no Bioma Amazônia. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) Disponível em [http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/soja\\_monitoramento03.pdf](http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/soja_monitoramento03.pdf):

Abraf, 2010: *Anuário estatístico da Abraf 2010 ano base 2009*. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf), Brasília, DF. 140 pp.

Abrahams, C., 2008: Climate change and lakeshore conservation: a model and review of management techniques. *Hydrobiologia*, 613(1): 33-43.

Abson, D.J. e M. Termansen, 2010: Valuing ecosystem services in terms of ecological risks and returns. *Conservation Biology*, 25(2), 250-258.

Adger, W.N., 2006: Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281.

Adrian, R. *et al.*, 2009: Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6, part 2): 2283-2297.

Agostinho, A.A. *et al.*, 2005: Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. *Megadiversidade*, 1(1), 70-78.

Alberto, C.M. *et al.*, 2006: Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao *El Niño* Oscilação Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(7), 1067-1075.

Alexandre, G.R. *et al.*, 2009: Estudo para a identificação da altura anual de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de modelos climáticos. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22-26 de novembro, Campo Grande, MS. Disponível em [http://www.pimentadeavila.com.br/attachments/article/241/Gladstone\\_01.pdf](http://www.pimentadeavila.com.br/attachments/article/241/Gladstone_01.pdf)

Alexandre, G.R. *et al.*, 2010: Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 15(2), 115-126.

Almeida, L.G. *et al.*, 2007: Análise multitemporal da Baía de Vitória (ES) utilizando sENSORiamento remoto. pp. 4557-4564. In Anais do SBSR 13. Simpósio Brasileiro de SENSORiamento Remoto (SBSR), 13, 21-15 de abril, Florianópolis, SC. Disponível em <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.01.22.12/doc/4557-4564.pdf>. Acessado em: 17/08/2008.

Almeida, P.M.M., 2007: *Utilização de imagens de satélite para análise multi-temporal do manguezal de Guaratiba, RJ*. Monografia de Bacharelado, Departamento de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJU). 91 pp.

Almeida, P.M.M., 2010: *Análise espaço-temporal da área ocupada por florestas de mangue em Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ) de 1985 até 2006 e sua relação com as variações climáticas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 143 p.

Alongi, D.M., 2008: Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1-13.

Alves, J.M.B. *et al.*, 1995: Variações pluviométricas no Nordeste brasileiro: comparações com mudanças climáticas globais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 10(1-2), 42-47.

Alves, J.M.B. *et al.*, 2005: Uma avaliação preliminar de simulações climáticas de um modelo regional espectral aninhado em um modelo global (ECHAM4.5) sobre o setor norte da região Nordeste do Brasil (1971-2000) . *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(2), 191-206.

Alves, J.M.B. *et al.*, 2006: Mecanismos atmosféricos associados a ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro 2004. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Brasil, 21(1), 56-76.

Ambrizzi, T. *et al.*, 2007: Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais: Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF. 108 pp.

Ambrosetti, W. *et al.* 2003: Residence time and physical processes in lakes, *J. Limnol.*, 62(Suppl. 1), 1-15.

Amis, M.A. *et al.*, 2009: Integrating freshwater and terrestrial priorities in conservation planning. *Biological Conservation*, 142(10), 2217-2226.

Amorim, A.F. e C.A. Arfelli, 1979: Reproduccion del pez espada (*Xiphias gladius*, L. 1758) en el sudeste y sur del Brasil. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 9(3.), 624-626.

ANA, 2005a: Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Estudo técnico. Agência Nacional de Água (ANA), Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, DF.

- ANA, 2005b: Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Estudo técnico. Agência Nacional de Água (ANA), Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, DF.
- ANA, 2006: Plano de Ações e Gestão Integrada do Complexo Estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM). Resumo Executivo. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, DF. Disponível em [http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/Celmm\\_Inicial.aspx](http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/Celmm_Inicial.aspx).
- ANA, 2009: Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF.
- ANA, 2010: Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2010. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF.
- ANA, 2011: Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Informe 2011. Agência Nacional das Águas (ANA), Brasília, DF. 112 pp. Disponível em <http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/>.
- Anciães, M. e A.T. Peterson, 2006: Climate change effects on neotropical manakin diversity based on ecological niche modeling. *The Condor*, 108(4), 778-791.
- Angulo, R.J. et al., 2006: Paraná. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Araújo, A.S.F. de e W.J. de Melo, 2010: Soil microbial biomass in organic farming system. *Cienc. Rural*, 40(11). Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782010001100029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010001100029&lng=en&nrm=iso).
- Araújo, J.A et al, 2003: Sedimentação de reservatórios no semiárido do Brasil". In: *Global Change And Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society*, [Gaiser; T (Orgs.)]. Berlin, Germany: Springer Verlag.
- Arfelli, C.A. et al., 1997: Standardized CPUE for swordfish caught by Santos longliners off Southern Brazil (1986-95). International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 46(3), 386-389.
- Aronson, J., 2011: What role should government regulation play in ecological restoration? Ongoing debate in São Paulo State, Brazil. *Restoration Ecology*, 19(6), 690-695.
- Assad, E.D. et al., 2007: Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. *Ciência & Ambiente*, 34, 169-182.
- Assad E.D. et al., 2008: Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. *Plenarium*, 5(5), 96-117.

Assad, E.D. e H.S. Pinto; 2008: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira, Cepagri/Unicamp e Embrapa Informática Agropecuária, 84 pp. Disponível em [http://www.greenepeace.org/brasil/PageFiles/3580/Eduardo\\_Assadi\\_EMBRAPA.pdf](http://www.greenepeace.org/brasil/PageFiles/3580/Eduardo_Assadi_EMBRAPA.pdf)

Astolpho, S.M. e P.P. Gusmão, 2008: Potential social risk, pp. 121-148. In: *Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil (Macrodiagnosis of the Coastal and Marine Zone of Brazil)*, [Zamboni, A. e J.L. Nicolodi (Orgs.)], Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Brasília, DF, 242 pp.

Augustin, N.H. *et al.*, 2008: Predicting river flows for future climates using an autoregressive multinomial logit model, *Water Resour. Res.*, 44(7), W07403, doi:10.1029/2006WR005127.

Baillie, J.E.M. *et al.* (Eds.), 2004: *2004 IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment*. International Union for Conservation of Nature (IUCN), Gland, Switzerland. Disponível em [http://www.ib.usp.br/limnologia/textos/Red\\_List\\_2004\\_book.pdf](http://www.ib.usp.br/limnologia/textos/Red_List_2004_book.pdf).

Bakun, A., 1990: Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, New Series, 247(4939), 198-201.

Banco Mundial, 2010: Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial 2010: Desenvolvimento e Mudança climática. São Paulo, SP: Editora da Unesp, 440 pp. Disponível em [http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/WDR10\\_AdOverview\\_BP\\_Web.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/WDR10_AdOverview_BP_Web.pdf)

Bard, F.X., 1988: *Le thon germon Thunnus alalunga (Bonnaterre, 1788) de l'océan Atlantique – de la dynamique des populations à la stratégie démographique*. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 330 pp.

Barnett, J. *et al.*, 2008: The hazards of indicators: insights from the environmental vulnerability index. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 102-119

Barros, V. *et al.*, 1999: Recent precipitation trends in South America to the east of the Andes. An introduction of climatic variability. In: *Southern Hemisphere paleo and neo climates*. [Volheimer, W. e P. Smolka, (Eds.)]. Berlin and Heidelberg, Germany: Springer Verlag.

Barth, F.T. e C.T. Pompeu 1987: Fundamentos para a gestão dos recursos hídricos. In *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo, SP: Editora Nobel.

Bates, B. *et al.*, 2008: Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat, Geneva, Switzerland, 210 pp.

Beddington, J., 2010: Food security: contributions from science to a new and greener revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365(1537), 61-71.

Behrenfeld, M.J. *et al.*, 2006: Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444, 752-755, doi:10.1038/nature0531.

Behrenfeld, M.J., 2011: Biology: Uncertain future for ocean algae. *Nature Climate Change*, 1, 33-34, doi:10.1038/nclimate1069.

Benayas, J.M.R. *et al.*, 2009: Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325(5944), 1121-1124, doi:10.1126/science.1172460.

Benincà, E. *et al.* 2008: Chaos in a long-term experiment with a plankton community. *Nature*, 451, 822-825.

Berkes, F. *et al.*, 2003: *Navigating Social Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. New York, NY: Cambridge University Press, 416 pp.

Berlato, M.A. e D.C. Fontana, 1999: Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7(1), 119-125.

Berlato, M.A. *et al.*, 2005: Associação entre *El Niño* Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(5), 423-432.

Bernard, E. *et al.*, 2011: Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Atlantic Forest in face of bioethanol expansion. *Tropical Conservation Science*, 4(3), 267-275.

Bettencourt, L.M.A. e J. Kaur, 2011: Evolution and structure of sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19540-19545, doi:10.1073/pnas.1102712108.

Biemans, H. *et al.*, 2006: Water and climate risks: a plea for climate proofing of water development strategies and measures. 4th World Water Forum, México, March 2006. Disponível em [http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/cpwc/Water\\_and\\_climate\\_risks.pdf](http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/cpwc/Water_and_climate_risks.pdf).

Bierwagen, B.G. *et al.*, 2008: Capacity of management plans for aquatic invasive species to integrate climate change. *Conservation Biology* 22(3), 568-574.

Bindoff, N.L. *et al.*, 2007: Observations: oceanic climate change and sea level. Chapter 5, pp. 385-432. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press. Disponível em <http://www.IPCC.ch/pdf/assessment-report/AR4/wg1/AR4-wg1-chapter5.pdf>.

Binford, M.W. *et al.*, 1983: Paleolimnology: an historical perspective on lacustrine ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 14, 255-286.

Bird, E.C.F., 1994: Physical setting and geomorphology of coastal lagoons, pp. 9-39 In: *Coastal Lagoon Processes*, [B. Kjerfve]. New York, NY: Elsevier, Elsevier Oceanography Series, vol. 60, 577 pp.

Bittencourt, A.C.S. *et al.*, 2006: Sergipe In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp..

- Block, B. e E. Stevens (Eds.), 2001: *Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution*. San Diego, CA, USA: Academic Press, 468 pp.
- Block, P.J. *et al.*, 2009: A streamflow forecasting framework using multiple climate and hydrological models. *Journal of the American Water Resources Association*, 45(4), 828-843.
- Boyce, D.G. *et al.*, 2008: Effects of temperature on global patterns of tuna and billfish richness. *Marine Ecology Progress Series*, 355, 267–276, doi:10.3354/meps07237.
- Boyce, D.G. *et al.*, 2010: Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466, 591-596.
- Bozelli, R.L. *et al.*, 1992: Padrões de funcionamento das lagoas do Baixo Rio Doce: variáveis abióticas e clorofila-a (Espírito Santo, Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 4, 13-31.
- Bradley, R.S., 1999: *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. San Diego, CA, USA: Academic Press, 610pp.
- Braga, C.F. *et al.*, 2011: Benthic macroinfaunal assemblages associated with Amazonian saltmarshes. *Wetlands Ecol Manage.* 19(3), 257-271.
- Brasil, 2006a: Plano Nacional de Recursos Hídricos, Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil, vol. 1. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), Brasília, DF.
- Brasil, 2006b Plano Nacional de Recursos Hídricos, Águas para o futuro: cenários para 2020, vol 2. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), Brasília, DF.
- Brasil, 2007: Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007, institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima e orienta sobre o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Presidência da República, Brasília, DF.
- Brasil, 2008: Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Presidência da República, Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima, Brasília, DF. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq\\_climaticas/\\_arquivos/plano\\_nacional\\_mudanca\\_clima.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf)
- Brasil, 2010: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2008, Tabelas de informações e indicadores. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Brasília, DF, 408 pp.
- Brasil, 2011: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Acessado em 23/12/2011.
- Broad, K. *et al.*, 2007: Climate, stream flow prediction and water management in northeast Brazil: societal trends and forecast value. *Climatic Change*, 84(2), 217-239.



Brook, B.W. *et al.*, 2008: Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(8), 453-460.

Brookes, J.D. e C.C. Carey, 2011: Resilience to blooms. *Science*, 334(6052), 46-47.

Browning, K.A., 1985: Conceptual models of precipitation systems. *Meteorological Magazine*, 114(1359), 293-319.

Bruce, J.P., 1997: Impact of climate change on lakes and reservoirs. Chapter 1, pp. 1-22. In: *The world's lakes in crisis*. [Jørgensen, S.E. *et al.*]. Internacional Lake Environment Comitee Foundation (ILEC), United States environmental Programme (Unep). UNEP/ILEC Guidelines of Lake Management series, vol. 6.

Buckeridge, M.S. *et al.*, 2010: Routes for cellulosic ethanol in Brazil. In: *Sugarcane Bioethanol: R&D for Productivity and Sustainability* [Cortez, L.A.B. (Ed.)], pp. 365-380. São Paulo, SP: Edgard Blucher.

Burlandy, L., 2009: A construção da política de segurança alimentar e nutricional no Brasil: estratégias e desafios para a promoção da intersectorialidade no âmbito federal de governo. *Ciência e Saúde Coletiva*, 14(3), 851-860.

Butterfield, R.E. e J.I.L. Morison, 1992: Modeling the impact of climatic warming on winter cereal development. *Agricultural and Forest Meteorology*, 62(3-4), 241-261.

Cabanes, C. *et al.*, 2001: Sea level rise during past 40 years determined from satellite and *in situ* observations. *Science*, 294(5543), 840-842.

Caldeira, K. e M.E. Wickett, 2003: Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, 425, 365.

Calliari, L.J. *et al.*, 1998: Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. *Proc. International Coastal Symposium.*, Florida, Suppl., SI 26, 19-23.

Calmon, M. *et al.*, 2011: Emerging threats and opportunities for biodiversity conservation and ecological restoration in the Atlantic Forest of Brazil. *Restoration Ecology*, 19(2), 154-158.

Campos, J.N.B. e L.F.A. Nêris, 2009: Mudanças climáticas e disponibilidades hídricas no semiárido: resultados preliminares. In: *Clima do Atlântico Tropical e Impactos Sobre o Nordeste (CATIN)* [Servain, J. *et al.* (Coords.)], Fortaleza, CE, Projeto CNPq-IRD, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) e Institut de Recherche pour le Developpement (IRD).

Campos, J.N.B. *et al.*, 2003: Vulnerabilidade no rendimento de reservatórios em mudanças climáticas. In: *Global change and regional impacts: water availability and vulnerability of ecosystems and society*. [Gaiser, T. *et al.* (Orgs.)] Berlin, Germany: Springer Verlag.

Cane, M., 2010: Decadal predictions in demand. *Nature Geoscience*, 3, 231-232.

Canedo, P. *et al.*, 2011: Chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Sugestões para Ações de Engenharia e Planejamento. Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em [http://www.coppe.ufrj.br/pdf\\_revista/relatoriochuvas.pdf](http://www.coppe.ufrj.br/pdf_revista/relatoriochuvas.pdf)

Caramori, P.H. *et al.*, 1996: Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems*. Amsterdam. 33(3), 205-214.

Cardoso, G.B.B. *et al.*, 2007: Uso de otimização/simulação e previsão de aflúncias na operação tática dos reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitana, CE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11(4), 175-186.

Cardoso, G.B.B. *et al.*, 2009: Uso de otimização/simulação e previsão de aflúncias na operação tática de reservatórios, pp. 13-28. In: *Informações climáticas em recursos hídricos*. [Reis Junior, D.S. e E.S.P.R. Martins (Orgs.)]. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica.

Carvalho, J.L.N. *et al.*, 2010: Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(2), 277-289.

Castro, A.L.C., 2007: Manual de Planejamento da Defesa Civil, volume 1. Ministério da Integração Nacional, Secretária da Defesa Civil.

Castro, C.M. *et al.*, 2005: Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. (Environmental risks and geography: concepts, approaches and scales). In: *Anuário do Instituto de Geociências*, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 28(2), 11-30.

Cayré, P., 1990: Les migrations: un comportement déclenché et guidé par l'environnement. *Collective Volume of Scientific Papers*, 32, 158-168.

Cayré, P. e C. Brown, 1986: Variabilité des rendements en albacore (*Thunnus albacares*) et listao (*Katsuwonus pelamis*) en relation avec les anomalies interannuelles de la température de surface. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 25, 67-76.

Cedeplar/ Fiocruz, 2008. Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste Brasileiro 2000-2050. Centro de desenvolvimento e Planejamento Regional (CedePlar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Fundação Oswaldo Cruz (FioCruz), 46 pp.

Cepea/ USP, 2011: Indicadores de preços. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/> Acesso em dezembro de 2011.

CGEE, 2007. Mar e ambientes costeiros. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, 324 pp.

Charles, S.P. *et al.*, 2004: Statistical downscaling of daily precipitation from observed and modelled atmospheric fields, *Hydrol. Processes*, 18(8), 1373-1394, doi:10.1002/hyp.1418.

- Brook, B.W. *et al.*, 2008: Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(8), 453-460.
- Brookes, J.D. e C.C. Carey, 2011: Resilience to blooms. *Science*, 334(6052), 46-47.
- Browning, K.A., 1985: Conceptual models of precipitation systems. *Meteorological Magazine*, 114(1359), 293-319.
- Bruce, J.P., 1997: Impact of climate change on lakes and reservoirs. Chapter 1, pp. 1-22. In: *The world's lakes in crisis*. [Jørgensen, S.E. *et al.*]. Internacional Lake Environment Comitee Foundation (ILEC), United States environmental Programme (Unep). UNEP/ILEC Guidelines of Lake Management series, vol. 6.
- Buckeridge, M.S. *et al.*, 2010: Routes for cellulosic ethanol in Brazil. In: *Sugarcane Bioethanol: R&D for Productivity and Sustainability* [Cortez, L.A.B. (Ed.)], pp. 365-380. São Paulo, SP: Edgard Blucher.
- Burlandy, L., 2009: A construção da política de segurança alimentar e nutricional no Brasil: estratégias e desafios para a promoção da intersetorialidade no âmbito federal de governo. *Ciência e Saúde Coletiva*, 14(3), 851-860.
- Butterfield, R.E. e J.I.L. Morison, 1992: Modeling the impact of climatic warming on winter cereal development. *Agricultural and Forest Meteorology*, 62(3-4), 241-261.
- Cabanes, C. *et al.*, 2001: Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations. *Science*, 294(5543), 840-842.
- Caldeira, K. e M.E. Wickett, 2003: Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, 425, 365.
- Calliari, L.J. *et al.*, 1998: Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. *Proc. International. Coastal Symposium.*, Florida, Suppl., SI 26, 19-23.
- Calmon, M. *et al.*, 2011: Emerging threats and opportunities for biodiversity conservation and ecological restoration in the Atlantic Forest of Brazil. *Restoration Ecology*, 19(2), 154-158.
- Campos, J.N.B. e L.F.A. Nêris, 2009: Mudanças climáticas e disponibilidades hídricas no semiárido: resultados preliminares. In: *Clima do Atlântico Tropical e Impactos Sobre o Nordeste (CATIN)* [Servain, J. *et al.* (Coords.)], Fortaleza, CE, Projeto CNPq-IRD, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) e Institut de Recherche pour le Developpement (IRD).
- Campos, J.N.B. *et al.*, 2003: Vulnerabilidade no rendimento de reservatórios em mudanças climáticas. In: *Global change and regional impacts: water availability and vulnerability of ecosystems and society*. [Gaiser, T. *et al.* (Orgs.)] Berlin, Germany: Springer Verlag.
- Cane, M., 2010: Decadal predictions in demand. *Nature Geoscience*, 3, 231-232.

Canedo, P. *et al.*, 2011: Chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Sugestões para Ações de Engenharia e Planejamento. Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em [http://www.coppe.ufrj.br/pdf\\_revista/relatoriochuvas.pdf](http://www.coppe.ufrj.br/pdf_revista/relatoriochuvas.pdf)

Caramori, P.H. *et al.*, 1996: Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems*. Amsterdam. 33(3), 205-214.

Cardoso, G.B.B. *et al.*, 2007: Uso de otimização/simulação e previsão de aflúncias na operação tática dos reservatórios do sistema Jaguaribe-Metropolitana, CE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11(4), 175-186.

Cardoso, G.B.B. *et al.*, 2009: Uso de otimização/simulação e previsão de aflúncias na operação tática de reservatórios, pp. 13-28. In: *Informações climáticas em recursos hídricos*. [Reis Junior, D.S. e E.S.P.R. Martins (Orgs.)]. Fortaleza, CE: Expressão Gráfica.

Carvalho, J.L.N. *et al.*, 2010: Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(2), 277-289.

Castro, A.L.C., 2007: Manual de Planejamento da Defesa Civil, volume 1. Ministério da Integração Nacional, Secretária da Defesa Civil.

Castro, C.M. *et al.*, 2005: Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. (Environmental risks and geography: concepts, approaches and scales). In: *Anuário do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*, 28(2), 11-30.

Cayré, P., 1990: Les migrations: un comportement déclenché et guidé par l'environnement. *Collective Volume of Scientific Papers*, 32, 158-168.

Cayré, P. e C. Brown, 1986: Variabilité des rendements en albacore (*Thunnus albacares*) et listao (*Katsuwonus pelamis*) en relation avec les anomalies interannuelles de la température de surface. *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), Collective Volume of Scientific Papers*, 25, 67-76.

Cedeplar/ Fiocruz, 2008. Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste Brasileiro 2000-2050. Centro de desenvolvimento e Planejamento Regional (CedePlar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Fundação Oswaldo Cruz (FioCruz), 46 pp.

Cepea/ USP, 2011: Indicadores de preços. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/> Acesso em dezembro de 2011.

CGEE, 2007. Mar e ambientes costeiros. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, 324 pp.

Charles, S.P. *et al.*, 2004: Statistical downscaling of daily precipitation from observed and modelled atmospheric fields, *Hydrol. Processes*, 18(8), 1373-1394, doi:10.1002/hyp.1418.

Chazdon, R.L., 2008: Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands, *Science*, 320, 1458-1460.

Chazdon R.L. *et al.*, 2009: Beyond reserves: a research agenda for conserving biodiversity in human-modified tropical landscapes, *Biotropica*, 41(2), 142-153.

Cheung, W.L. *et al.*, 2009: Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16, 24-35.

Chiew, F.H. S., e T.A. McMahon, 2002: Modelling the impacts of climate change on Australian streamflow, *Hydrol. Processes*, 16(6), 1235-1245, doi:10.1002/hyp.1059.

Chiew, F. H. S. *et al.*, 2009: Estimating climate change impact on runoff across southeast Australia: method, results, and implications of the modeling method, *Water Resour. Res.*, 45(10), W10414, doi:10.1029/2008WR007338.

Christofidis, D., 2002: Irrigação: a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Revista Item*, n° 54, 2° Trim. Brasília, DF.

Christofidis, D., 2005: Água na produção de alimentos. O papel da Academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável (Water in food production: university and industry work on sustainable development) REACH, 1° Congresso Internacional de Cooperação Universidade – Empresa (Unindu), Ubatuba, SP, Brasil, *Revista Ciências Exatas*, 12(1), 37-46, 2006.

Christofidis, D. e G. Goretti, 2009: Os dez mais da irrigação. In: Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, *Item*, n° 83-84, 3° e 4° Trim. 2009. pp. 50-54.

Clarke, R.T.e P.L.S Dias, 2003: As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos. Publicação de apoio à prospecção CT-HIDRO 05. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Disponível em [http://www.finep.gov.br/fundos\\_setoriais/ct\\_hidro/documentos/ct-hidro01obs\\_e\\_monit\\_amb\\_rh.pdf](http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/ct_hidro/documentos/ct-hidro01obs_e_monit_amb_rh.pdf)

Cleugh, H. *et al.* (Eds.), 2011: Climate change: science and solutions for Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Publishing, Australia, 168 pp.

Codd, G. A., 2000: Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control, *Ecological Engineering*, 16(1), 51-60.

Cohen, M.C.L. e R. L. Lara, 2003: Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazônia: application of GIS and remote sensing techniques, *Wetlands Ecology and Management*, 11(4), 223-231.

Cole, J.J. e M.L. Pace, 2000: Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations, *Limnology and Oceanography*, 45(8), 1718-1730.

- Collischonn, W. e C.E.M. Tucci, 2005: Previsão sazonal de vazão na Bacia do Rio Uruguai ajuste e verificação do modelo hidrológico distribuído. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(4), 43-59.
- Conde, D. et al., 2002: Marine intrusions in a coastal lagoon enhance the negative effect of solar UV radiation on phytoplankton photosynthetic rates. *Marine Ecology Progress Series*, 240, 57-70.
- Conrad, R. et al., 2011: Stable carbon isotope discrimination and microbiology of methane formation in tropical anoxic lake sediments. *Biogeosciences*, 8(3), 795-814.
- Consea, 2010: *A segurança alimentar e nutricional e o direito humano à alimentação adequada no Brasil*. Indicadores e Monitoramento da Constituição de 1988 aos dias atuais. Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (Consea), Brasília, DF, 35 pp.
- Costa dos Santos, C.A. et al., 2009: Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(1), 39-47.
- Costa, C.S.B. e A.J. Davy, 1992: Coastal plant communities of Latin America, pp. 179-199. In: *Coastal saltmarsh communities of Latin America* [Seeliger, U. (Ed.)]. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Costa, C.S.B., 1998a: Plantas de marismas e terras alagáveis, pp. 25-28. In: *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil* [Seeliger, U. et al. (Eds.)]. Rio Grande, RS: Editora Ecoscientia, 342 pp.
- Costa, C.S.B., 1998b: A função das marismas na qualidade ambiental costeira, pp. 162-172. In: *Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros*, vol. 5. Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP), no 104. Águas de Lindóia, SP, 2-7 abril.
- Costa, C.S.B. e J.C. Marangoni, 2000: Impacto ambiental do asfaltamento da BR 101 sobre as marismas de São José do Norte (RS, Brasil): estado atual e efeitos potenciais, pp. 268-291. *Anais do V Simpósio de Ecossistemas Brasileiros*, vol. 1. Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP), no 109. São Paulo, 10-15 outubro.
- Costa, C.S.B. et al., 1997: Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil).. *Atlântica*, 19, 65-83, 1997.
- Costa, C.S.B. et al., 2003: Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology*, 91(6), 951-965.
- Costa, F.X. et al, 2009: Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residual no crescimento do milho. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, 13(6).
- Costa, M. e J. Foley, 1999: Trends in the hydrologic cycles of the Amazon Basin. *J. Geophys. Res*, 104(D12), 14189-. 14198.

- Cotta, M.K. et al. 2008: Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. *Rev. Árvore*, 32(6), 969-978. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n6/a02v32n6.pdf>.
- Craft, C., 2007: Freshwater input structures soil properties, vertical accretion, and nutrient accumulation of Georgia and US tidal marshes. *Limnol Oceanogr*, 52(3), 1220-1230.
- Cunha, S.R. et al., 2005: Production dynamics of *Spartina alterniflora* salt marshes in the estuary of Patos Lagoon (RS, Brazil): A simulation model approach. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 9(2), 75-85.
- Curtis, S. e S. Hastenrath, 1999: Trend of upper-air circulation and water vapor over equatorial South America and adjacent oceans. *Int. J. Climatology*, 19(8), 863-876.
- Cury, P., 1994: Obstinate nature: an ecology of individuals. Thoughts on reproductive behavior and biodiversity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(7), 1664-1673.
- Datsenko, N.M. et al., 1995: Variações pluviométricas no Nordeste brasileiro: comparações com mudanças climáticas globais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 10(1-2), 42-47.
- Davy, A.J. e C.S.B. Costa, 1992: Development and organization of saltmarsh communities, pp. 157-178. In: *Coastal Plant Communities of Latin America* [Seeliger, U (Ed.). San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Day, J.W. et al., 2008: Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts* 31:477-91.
- DeKoning, F., 2011: Bridging the gap between forest conservation and poverty alleviation: the Ecuadorian Socio Bosque program. *Environmental Science and Policy*, 14(5) 531-542.
- Dettinger, M.D. et al., 1995: Interannual and interdecadal variability in United-States surface-air temperatures, 1910-1987, *Clim. Change*, 31, 35-66.
- Dias, A.T.C. et al., 2012: Rehabilitation of a bauxite tailing substrate in Central Amazonia: the effect of litter and seed addition on flood-prone forest restoration. *Restoration Ecology* 20(4), 483-489.
- Dias de Paiva, E.M.C. e R. Clake, 1995a: Análise da tendência de precipitação da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 10(1-2), 37-41.
- Dias de Paiva, E.M.C. e R. Clarke, 1995b : Time trends in rainfall records in Amazonia. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 75(11), 2203-2209.
- Diaz, R.J. e R. Rosenberg, 2008: Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926-929.
- Dobrovolski, R. et al., 2011: Agricultural expansion and the fate of global conservation priorities. *Biodiversity Conservation*, 20(11), 2445-2459.

- Döll, P. e M. Flörke, 2005: Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge. *Frankfurt Hydrology Paper 3*, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt am Main, Germany.
- Dominguez, J.M.L. et al., 2006: Bahia. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)]. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Dominguez, J.M.L. 2009: The coastal zone of Brazil, pp. 17-51. In: *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences Series. [Dillenburg, S.R. e P.A. Hesp (Eds.)]. Berlin e Heidelberg, Germany: Springer.
- Dulvy, N.K. et al., 2008: Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1029-1039.
- Egler, C.A.G. 1996. Risco ambiental como critério de gestão do território. (Environmental risk as a territory management standard) *Territory*, 1(1), 31-41.
- Egler, C., 2008: Potencial de risco tecnológico. (Potential technological risk), pp. 149-172. In: *Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil* [Zamboni, A. et al. (Orgs.)]. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 242 pp.
- El Robrini, M. et al., 2006: Pará. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Escarião, R.D., 2009: *Influência do modelo na resposta hidrológica a cenários de mudanças climáticas*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 212 pp.
- Esteves, F.A. et al., 1988: Variação diária (24 horas) de temperatura, O<sub>2</sub> dissolvido, pH e alcalinidade em duas lagoas costeiras do Estado do Rio de Janeiro e suas implicações no metabolismo destes ecossistemas. *Acta Limnologica Brasiliensia* 2, 99-128.
- FAO, 2008: Climate Change and Food Security: A Framework Document. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 110 pp.
- FAO, 2011: The State of food insecurity in the world 2011. How does international price volatility affect domestic economies and food security? Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy, 55p. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/014/i2330e/i2330e.pdf>.
- Faraco, L.F.D. et al., 2010: A methodology for assessing the vulnerability of mangroves and fisherfolk to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2), 205-223.
- Feeley, K.J. e M.R. Silman., 2009: Extinction risks of Amazonian plant species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12382-12387.



- Fernandes, R.O. *et al.*, 2010: Impacto das mudanças climáticas globais na evaporação em um reservatório no semi-árido. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 25 e 28 de novembro, Salvador, Bahia.
- Foley, J.A. *et al.*, 2005: Global consequences of land use. *Science* 309(5734), 570-574.
- Fonseca, M. *et al.*, 2010: O papel das unidades de conservação. *Scientific American Brasil*, 39 (Edição Especial), 18-23.
- Fonteneau, A. e C. Roy, 1987: Pêche thonière et anomalies climatiques de l'environnement dans l'Atlantique tropical centre est en 1984. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 26(1), 228-236.
- Fonteneau, A., 1998a: *Atlas des pêcheries thonières tropicales. Captures mondiales et environnement*. Paris, France: Orstom Editions, 191 pp.
- Fonteneau, A., 1998b: Introduction aux problèmes des relations thons et environnement dans l'Atlantique. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 50(1), 275-318.
- Francis, R.C., 1990: Climate change and marine fisheries. *Fisheries*, (Bull. Amer. Fish. Soc.), 15(6), 7-10.
- Francisco, C.P.F. e I.C.S. Silveira, 2004: Estudo teórico da dinâmica da confluência Brasil-Malvinas. *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(2), 163-180.
- Freire, E.C. *et al.*, 2008: Objetivos e métodos usados nos programas de melhoramento do algodão, pp. 299-323. In: *O agronegócio do algodão no Brasil* [Beltrão, N.E. de M. e Azevedo, D.M.P. (Eds.), vol. 1, segunda ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- Freitas, M.A.V. (Ed.), 2003: Estado das águas no Brasil, 2001-2002. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 494 pp.
- Freitas, M., 2005: *Cadernos NAE n° 3. Vulnerabilidade e impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos*. Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE) da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Brasília, DF.
- Freitas, M.A. e J.L.S. Soito, 2008: Energia e recursos hídricos: vulnerabilidade, impactos e possibilidades de adaptação da energia hidroelétrica no Brasil às mudanças climáticas globais. pp. 177-216. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). *Parcerias Estratégicas*, 27, 360 pp.
- Fu, G. *et al.*, 2007: A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow, *Water Resour. Res.*, 43(11), doi: 10.1029/2007WR005890 G.R.C.
- Galindo-Leal, C., I.G. Câmara, 2003: Atlantic Forest hotspot status: an overview. In: *The Atlantic forest of South America* (Galindo-Leal C, Câmara IG, eds.). Washington: Island Press, p. 3-11

- Gallopin, G.C., 2006: Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16, 293-303.
- Garcia, N., W. Vargas, 1998: The temporal climatic variability in the Rio de La Plata basin displayed by the river discharges. *Clim. Change*, 38, p.359-79.
- Gedan, K.B. et al., 2009: Small-mammal herbivore control of secondary succession in New England tidal marshes. *Ecology*, 90(2), 430-440
- Geist, H.J., E.F. Lambin, 2002: Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience* 52, 143–150.
- Ghil, M., e R. Vautard, 1991: Interdecadal oscillations and the warming trend in global temperature time-series, *Nature*, 350, 324–327.
- Ghini, R.; E. Hamada; M.J. Pedro Júnior; J.A. Marengo; R.R.V. Gonçalves, 2008: Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.187-194.
- Gibbs, H.K. et al., 2007: Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2: 045023 (13pp.).
- Gibson, L. et al., 2011: Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature* 478, 378-381.
- Gilman, E. et al., 2008: Review: Threats to mangroves from climate change and adaptation options. *Aquatic Botany*, 89, 237-250.
- Giulietti, A.M. et al., 2009: Plantas raras do Brasil. Belo Horizonte: Conservação Internacional/ Universidade Estadual de Feira de Santana.
- Gleick, P.H., 2002: "Soft Water Paths". *Nature*, V. 418.
- Godet, M.A., 2000: "caixa de ferramentas" da prospectiva estratégica. CEPES – Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia. P.97 , Lisboa Portugal.
- Goldemberg, J. e O. Lucon, 2007: Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados* 21: 7-20.
- Gomes, A.M.A. et al., 2009: Florações de cianobactérias tóxicas em uma lagoa costeira hipereutrófica do Rio de Janeiro/RJ (Brasil) e suas consequências para saúde humana. *Oecologia Brasiliensis* 13(2): 329-345.
- Gondim, R.S. et al., 2011: "Impactos das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.15, n.6, p.594–600.

- Gonzales, A.M. *et al.*, 2006: Heterotrophic bacteria abundances in Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil). *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(4), 428-433.
- Gordon, H. B. e S. P. O'Farrell, 1997: Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice, *Mon. Weather Rev.*, 125, 875– 907, doi:10.1175/1520-0493(1997)125<0875:-TCCITC>2.0.CO;2.
- Gordon, L.J. *et al.*, 2005: Human modification of global water vapor flows from the land surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(21).
- Gouveia, E. R. *et al.*, 2009: Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. *Química Nova*, 32(6). Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422009000600026&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000600026&lng=en&nrm=iso).
- Graham, J.B. e K.A. Dickson, 1981: Physiological thermoregulation in the albacore *Thunnus alalunga*. *Physiological Zoology*, 54(4), 470-486.
- Graham, J.B e K.A. Dickson, 2001: Anatomical and physiological specializations for endothermy. In: Block, B.; Stevens, E. (eds). *Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution*. San Diego, CA, USA: Academic Press, Chapter 4, 121-166 p.
- Gray, S.T. e G.J. McCabe, 2010: A combined water balance and tree ring approach to understanding the potential hydrologic effects of climate change in the central Rocky Mountain region, *Water Resour. Res.*, 46, W05513, doi:10.1029/2008WR007650.
- Green, R.E. *et al.*, 2005: Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307, 550–557.
- Gregory, P.J. *et al.*, 2005: Climate change and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 360, 2139-2148.
- Groisman, P. *et al.*, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*. v.18, p. 1326-1350.
- Guedes, R. L. *et al.*, 1994: Trajetórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano. In; *Anais do VIII CBMet*, vol. 2, pp. 77-80. VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMet), Belo Horizonte, MG.
- Guedes, R.G. *et al.*, 2006: modulação do ciclo anual de variáveis de superfície em São Luís (Maranhão) por oscilações de baixa frequência. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(2), 245-255.
- Guetter, A. e J. Prates, 2002: Degrau climático nas séries de vazões das bacias brasileiras. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR.
- Guilhoto, J.J.M *et al.*, 2007: PIB da Agricultura Familiar: Brasil-Estados. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural (NEAD), Estudos NEAD 19. Brasília, DF, 172 pp.

- Gullison, R.E. *et al.*, 2007: Tropical forests and climate policy. *Science* 316: 985–986.
- Häder, D.P. *et al.*, 2011: Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 10(2), 242-260.
- Hamada, E. *et al.*, 2008: Cenários climáticos futuros para o Brasil, pp. 25-73. In: *Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil* [Ghini, R. e E. Hamada (Eds.)]. Brasília: Embrapa/SCT.
- Hannah, L. *et al.*, 2002: Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 11(6), 485-495.
- Harris, M.B. *et al.*, 2005: Safeguarding the Pantanal wetlands: threats and conservation initiatives. *Conservation Biology* 19: 714-720.
- Harzallah, A. e A. Chapelle, 2002: Contribution of climate variability to occurrences of anoxic crises 'malaïgues' in the Thau lagoon (southern France). *Oceanologica Acta*, 25, 79-86.
- Hastenrath, S., 1990. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, 3(8), 893-904.
- Hastenrath, S. e L. Greischar, 1993: Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, 6(4), 743-758.
- Hastenrath, S. e A.D. Moura, 2002: Explorando os Problemas Climáticos do Nordeste. In: *Memórias do Fórum Natureza e Sociedade do Nordeste do Brasil* [Souza Filho, F.A e A.D. Moura (Eds.)]. Banco do Nordeste e Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, CE.
- Haylock, M. R. *et al.*, 2005: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, n.19, 1490-1512.
- Hazin, H.G., 2006: . *Influência das variáveis oceanográficas na dinâmica populacional e pesca do espadarte, Xiphias gladius Linnaeus 1758, capturados pela frota brasileira*. Doutorado em Oceanografia, Universidade do Algarve, Portugal. 276 pp.
- Hazin, H.G. e K. Erzini, 2008: Assessing swordfish distribution in the South Atlantic from spatial predictions. *Fisheries Research*, 90, 45-55.
- Heller, N.E. e E.S. Zavaleta., 2009: Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142: 14-32.
- Henriques, I. da C. *et al.*, 2010: Comportamento de cultívars de milho quanto ao rendimento e susceptibilidade a pragas e doenças na província do Huambo (Angola). *Rev. de Ciências Agrárias*, 33(2).
- Herr, D. e G.R. Galland, 2009: *The Ocean and Climate Change. Tools and Guidelines for Action*. IUCN, Gland, Switzerland. 72pp.

Hisard, P. et al., 1986: Oceanic conditions in the tropical Atlantic during 1983 and 1984, *Nature*, 322, 243-244.

Hobday, A. et al., 2012: Defining climate change hotspots to focus adaptation development and learning. *Book of Abstracts*, 6th World Fisheries Congress "Sustainable Fisheries in a Changing World", Edinburgh, Scotland.

Hoekstra, A.Y. e A.K.Chapagain, 2007: Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, 21, 35-48.

Hoover, T.E. e D.C. Berkshire, 1969: Effects of hydration in carbon dioxide exchange across an air-water interface, *J. Geophys. Res.*, 74, 456-464

Horn, N., 2006: Ilha de Santa Catarina. In: *Erosão e degradação do litoral brasileiro* [Muehe, D. (Org.)]. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF, 476 pp.

Hostetler, S.W., 2009: Use of models and observations to assess trends in the 1950–2005 water balance and climate of Upper Klamath Lake, Oregon, *Water Resour. Res.*, 45(W12409), doi:10.1029/2008WR007295.

Huisman, J. et al., 2004: Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology*, 85, 2960-2970.

Hulme, M. e T.R. Carter, 1999: Representing uncertainty in climate change scenarios and impact studies. pp. 11-37. In: *Representing uncertainty in climate change scenarios and impact studies* (Proc. ECLAT-2 Helsinki Workshop, 14-16 April, 1999) [Carter, T. et al. (Eds.)]. Climatic Research Unit, Norwich, UK, 128 pp.

Hulme, M. e N. Sheard, 2006: Cenários de alterações climáticas para o Brasil. Norwich: Climate Research Unit, 1999. 6 p. Disponível em: <[www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf](http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf)>. Acessado em: 6/11/2012.

IBGE, 2002: Pesquisa de informações básicas municipais. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ.

IBGE, 2006: *CENSO Agropecuário 2006*. Brasil, grande regiões e unidades da federação. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ, 777 pp.

IBGE, 2007: *CENSO Agropecuário*, IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ.

Inpe, 2010: Acesso as informações de remanescentes florestasi Disponível em: <<http://www.inpe.br/http://mapas.sosma.org.br/>> . Acessado em 23/07/2014

Instituto Trata Brasil, 2010: Benefícios econômicos da expansão do saneamento básico brasileiro. Instituto Trata Brasil, Fundação Getúlio Vargas (FGV), Instituto Brasileiro de Economia (Ibre). Disponível em [http://www.tratabrasil.org.br/novo\\_site/cms/files/trata\\_fgv.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/novo_site/cms/files/trata_fgv.pdf).

IOC, 2009. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco). Paris, France, 143 pp.

IPCC, 2001a: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: *Climate change 2001*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), [McCarthy, J.J. et al. (Eds.)] Cambridge, UK, NY, USA: Cambridge University Press, 1032 pp.

IPCC, 2007a: Impacts, adaptation and vulnerability. In: *Climate Change 2007*: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Parry, M.L. et al. (Eds.)], Cambridge, UK, e New York, NY: Cambridge University Press, 976pp.

IPCC, 2007b: The Physical Science Basis. Disponível em: <<http://www.IPCC.ch/IPCCreports/AR4-wg1.htm>>. Acessado em 13/01/2013.

IPCC, 2007c: Summary for Policymakers. Impacts, adaptation and vulnerability. In: *Climate Change 2007*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.

IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B. et al. (Eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Ipea, 1993: *Eventos Generalizados e Securidade Agrícola*. Relatório de Pesquisas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Universidade de Brasília, 26 pp.

Isacch, J.P. et al., 2006: Distribution of saltmarsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the south-west Atlantic coast. *Journal of Biogeography*, 33, 888-900.

Izaguirre, G. e W.D. Taylor, 2004: A guide to geosmin- and MIB-producing cyanobacteria in the United States. *Wat. Sci. Tech.*, 49(9), 19-24

Jackson, R. B. et al., 2001: Water in a changing world, *Ecol. Appl.*, 11, 1027-1045, doi:10.1890/1051-0761(2001)011 [1027:WIACW]2.0.CO;2.

Jackson, R.B. et al., 2005: Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, 310(5756), 1944-1947.

- Jeppesen, E. *et al.*, 2010: Interaction of climate change and eutrophication, pp. 119-151. In: *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems* [Kernan, M. *et al.* (Eds.)]. Hoboken, NJ, USA/Oxford, UK: Wiley Blackwell Publishing.
- Jorgensen, S.E. e H. Löffler, 1990: La gestión de la costa del lago (Lake Shore Management). Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos (Guidelines of Lake Management). International Lake Environmental Committee Foundation (Ilec), United Nations Environment Programme (Unep). Shiga, Japan: ILEC/UNEP, 174 pp.
- Jurado-Molina, J. e P. Livingston, 2002: Climate-forcing effects on tropically linked groundfish populations: implications for fisheries management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 1941–1951.
- Kabat, P. *et al.* (Eds.), 2002: *Coping with Climate Variability and Climate Change in Water Resources: a Scoping Paper* [Kabat, P. *et al.* (Eds.)]. Dialogue on Water and Climate (DWC), DWC-Report no DWCSSO-01, International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen, Netherlands.
- Kayano, M.T. *et al.*, 1988: Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. *J. Climatol.*, 8(5), 477-488.
- Keppenne, C.L. e M. Ghil, 1992: Adaptive filtering and prediction of the Southern Oscillation Index, *J. Geophys. Res.*, 97(D18), 20449-20454.
- Keppenne, C.L. e U. Lall, 1996: Complex singular spectrum analysis and multivariate adaptive regression splines applied to forecasting the Southern Oscillation, *Exp. Long Lead Forecast Bull.*, 5, 54-56.
- Kieffer, S., 2009: Celebrating the Earth: its past, our present, a future?. Paper presented at AAAS Congress, Am. Assoc. for the Adv. of Sci., Chicago, Ill, USA.
- Kim, H. *et al.*, 2009: Biofuels, land use change, and greenhouse gas emissions: Some unexplored variables. *Environmental Science Technology* 43: 91–967.
- Kim, I.S. e N.L. Dias, 2003: Variabilidade e previsão de vazões na margem esquerda da Bacia do Alto Paraná (Brasil), *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 193-183.
- King, C.W. *et al.*, 2008: Thirst for energy, *Nat. Geosci.*, 1(5), 283–286, doi:10.1038/ngeo195.
- Klein, A.H.F. *et al.*, 2006. Santa Catarina. Litoral Centro-Norte. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro* [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Klink, C.A. e R.B. Machado, 2005: Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19(3): 707-713.

- Kobiyama, M. *et al.*, 2006: *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba, PR: Editora Organic Trading.
- Koh, L.P. e J. Ghazoul, 2008: Biofuels, biodiversity, and people: understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological Conservation*, 141, 2450-2460.
- Kosten, S. *et al.*, 2009: Lake and watershed characteristics rather than climate influence nutrient limitation in shallow lakes. *Ecological Applications*, 19(7): 1791-1804.
- Kosten, S. *et al.* 2012: Warmer climates boost cyanobacterial dominance in shallow lakes. First published online 25/07/2011. *Global Change Biology*, 18(1), 118-126, . doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x.
- Kousky, V.E.; *et al.*, 1984: A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.
- Kousky, V.E. e I.F.A. Cavalcanti, 1984: Eventos Oscilação do Sul-El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciência e Cultura*, 36(11), 1888-1889.
- Krause, G. e C. Soares, 2004: Analysis of beach morphodynamics on the Bragantian mangrove peninsula (Pará, North Brazil) as prerequisite for coastal zone and management recommendations. *Geomorphology*, 60, 225-239
- Krol, M. *et al.*, 2006: Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: a general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil. *Journal of Hydrology*, 328(3-4), p.417-431.
- Krol, M.S. e A. Bronstert, 2007: Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*, 22(2), 259-268.
- Kundzewicz, Z.W. *et al.*, 2007: Freshwater resources and their management, pp. 173-210.. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Parry, M.L. (Eds.)], Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press.
- Lacerda, L.D. *et al.*, 2007: Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. *Biota Neotropica*, 7(3): 67-72.
- Lacerda, F.F *et al.*, 2009: Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú, PE: mudanças climáticas ou variabilidade? *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 25-29 novembro, São Paulo, SP.
- Lall, U. e M. Mann, 1995: The Great Salt Lake: a barometer of low frequency climatic variability, *Water. Resour. Res.*, 31(1), 2503-2515.



- Lana, P.C., 2003: Manguezais, legislação e gestão de áreas costeiras: o caso da Baía de Paranaguá, pp. 313-331. In: *Conservação da diversidade biológica e cultural em zonas costeiras* [Vieira, P.F. (Ed.)]. Florianópolis, SC: Editora Aped, 527 pp.
- Lana, P.C. e C. Guiss, 1991: Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic association in a tidal flat of Paranaguá Bay (Southern Brazil). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 73, 231-244.
- Lapola, D.M. et al., 2010: Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 3388-3393.
- Lara, R. et al., 2002: Implications of mangrove dynamics for private land use in Bragança, North Brazil: a case study, *Journal of Coastal Conservation*, 8, 97-102.
- Laurance, W.F. et al., 2011. Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation*, 144(1), 548-557.
- Lours, M.R. et al., 1980: Observations on swimming depth and ocean temperature telemetered from free-swimming albacore. In *Proceeding of 31st Tuna Conference*, InterAmerican Tropical Tuna Commission, 33-34 p.
- Lavergne, S. et al., 2010: Biodiversity and climate change: integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 41, 321-350.
- Le Quéré, C. et al., 2007: Saturation of the Southern Ocean CO<sub>2</sub> sink due to recent climate change. *Science*, 316(5832), 1735-1738.
- Leal, I.R. et al., 2005: Changing the course of biodiversity conservation in the caatinga of northeastern Brazil. *Conservation Biology*, 19, 701-706.
- Lehodey, P. et al., 1997: El Niño Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*. 389, 715-718.
- Levitus, S. et al., 2005: Warming of the world ocean, 1955-2003. *Geophysical Research Letter*. 32, 4 pp.
- Lovelock, C.E. e J. C. Ellison, 2007: Vulnerability of mangroves and tidal wetlands of the Great Barrier Reef to climate change, pp. 237-269. In: *Climate Change and the Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment* [Johnson, J.E. e P.A. Marshall (Eds.)]. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Australian Greenhouse Office, Australia.
- Lucena, A.F.P. et al., 2009: The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. *Energy Policy*, 37, 879-889.

- Ludovisi, A. e E. Gaino; 2010: Meteorological and water quality changes in Lake Trasimeno (Umbria, Italy) during the last fifty years. *J. Limnol.*, 69(1): 174-188. doi:10.3274/JL10-69-1-16
- Luzar, J.B. *et al.*, 2011: Large-scale environmental monitoring by indigenous peoples. *BioScience*, 61,771-781.
- Macedo Junior, C. *et al.*, 2009: Avaliação do desempenho de modelos globais na simulação de cenários de impactos das mudanças climáticas na agricultura. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22-25 de setembro, Belo Horizonte, MG, 5 pp.
- Machado, J., 2006: A ANA e a agricultura sustentável. In: *Anais, Seminário "Desafios á Expansão da Agropecuária Brasileira"*. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, DF.
- Machado, J.P. e F.B. Justino, 2011: Resposta do enfraquecimento da circulação termohalina global nos transportes de calor oceânico e atmosférico. VII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). *Ciência e Natura*, Edição Suplementar, 33, 391-394.
- Madox, R.A., 1983: Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. *Mon. Weather Rev.*, 111, 1475-1493.
- Magalhães, A.R. *et al.*, 1988: The effects of climatic variations on agriculture in northeast Brazil, pp. 271-380. In: *The impact of climatic variations on agriculture* [Parry, M. L. ry sl. (Eds.)] vol. 2: Assessments in semi-arid regions. Dordrecht, Netherlands: Kluwer, 774 pp.
- Malhi, Y. *et al.*, 2008: Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319, 169-172.
- Mann, M. E. e J. Park, 1993: Spatial correlations of interdecadal variation in global surface temperatures, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 1055-1058.
- Mann, M. E. e J. Park, 1994: Global-scale modes of surface-temperature variability on interannual to century timescales, *J. Geophys. Res.*, 99(25), 819-25833.
- Mann, M. E. e J. Park, 1996: Joint spatiotemporal modes of s surface temperature and sea level pressure variability in the Northern Hemisphere during the last century, *J. Clim.*, 9, 2137-2162.
- Manning, L.J. *et al.*, 2009: Using probabilistic climate change information from a multimodel ensemble for water resources assessment, *Water Resour. Res.*, 45(11), doi:10.1029/2007WR006674.
- Manso, V.A.V. *et al.*, 2006: Pernambuco. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Marangoni J.C. e C.S.B. Costa, 2009a: Natural and anthropogenic effects on salt marsh over five decades in the Patos Lagoon (Southern Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(4), 345-350.

Marangoni, J.C. e C.S.B. Costa, 2009b: Diagnóstico ambiental das marismas no estuário da Lagoa dos Patos, RS. *Atlântica*, 31(1), 85-98

Marangoni, J.C. e C.S.B. Costa, 2010: Caracterização das atividades econômicas tradicionais no entorno das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 21, 129-142,

Marengo, J.A. ,2001: Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 16(1), 1-18.

Marengo, J.A., 2003: Condições climáticas e clima no Norte do Brasil, pp. 1-30. In: *Clima e recursos hídricos* [Tucci, C.E.M e B. Braga (Eds.). Coleção ABRH, Porto Alegre, RS: ABRH.

Marengo, J.A., 2006: Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Biodiversidade*, 26.

Marengo, J.A., 2008: Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, 22, 83-96.

Marengo, J.A e M.C. Valverde, 2007: Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência* 8, 5-28.

Marengo, J.A. et al., 1998: Longterm streamflow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwest Peru. *J. Geophys. Res.*, 103, 1775-1783.

Marengo, J.A. et al.: 2007: Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XX: projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio), Brasília, DF.

Marengo, J. A.; et al.,. 2009 Future change of climate in South America in the late twenty-first Climate Dynamics, Volume 35, Issue 6, pp.1089-1113 2009.

Marengo J.A. et al., 2011: Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná river basins. *Climate Dynamics*, 38, 9-10.

Marini M.A. et al., 2009: Predicted climate-driven bird distribution changes and forecasted conservation conflicts in a neotropical savanna. *Conservation Biology*, 23(6), 1558-1567.

Marotta, H. et al., 2010: Rainfall leads to increased pCO<sub>2</sub> in Brazilian coastal lakes. *Biogeosciences*, 7, 1607-1614.

Marsac, F., 1992: *Étude des relations entre l'hydroclimat et la pêche thonière hauturière tropicale dans l'océan Indien occidental*. Tese de Doutorado, Université de Bretagne Occidentale, Brest, França, 353 pp.

Martin, L. e J.M.L. Dominguez, 1994: Geological history of coastal lagoons. In: *Coastal Lagoon Processes* [Kjerfve, B. (Org.)]. Elsevier Oceanography Series, vol. 60, pp. 41-68, 1st ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publishers.

Martin, L. *et al.*, 1996a: Coastal quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(3): 389-404.

Martin, L. *et al.*, 1996b: Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the central Brazilian coast: consequences on coastal plain construction. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(3): 303-452.

Martin, L. *et al.*, 1997: *Geologia do Quaternário costeiro do litoral do norte do estado do Rio de Janeiro e do estado do Espírito Santo*. Belo Horizonte, CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e Fapesp.

McLeod, E. e R.V. Salm, 2006: *Managing mangroves for resilience to climate change*. The International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), IUCN Resilience Science Group Working Paper Series no 2. Gland, Switzerland: IUCN.

Mearns, L.O. *et al.*, 1984: Extreme high-temperature events: changes in their probabilities with changes in mean temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 23, 1601-1613.

Medeiros, Y.D.P, 2003: Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semiárida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 127-136.

Mehrotra, R. e A. Sharma, 2010: Development and application of a multisite rainfall stochastic downscaling framework for climate change impact assessment, *Water Resour. Res.*, 46, W07526, doi:10.1029/2009WR008423.

Mello, E. *et al.*, 2008: Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu (médio São Francisco), *Engenharia Agrícola*, 28(4), 635-644.

Miller, D. e J.M. Fritsch, 1991: Mesoscale convective complexes in the Western Pacific region. *Mon. Weather Rev.*, 119, 2978-2992.

Milly, P.C.D. *et al.*, 2005: Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, doi:10.1038/nature 04312.

Milly, P.C.D. *et al.*, 2008: Stationarity is dead: whither water management? *Science*, 319(5863), 573-574.

Ministério da Integração Nacional, 2007: Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e privadas e líderes comunitários, Ministério da Integração Nacional (MI). Secretaria Nacional de Defesa Civil, Brasília, DF.

Mitchell, T.D. *et al.*, 2002: Brief overview of the science on water and climate. Chapter 1, pp. 2-28. In *Coping with Climate Variability and Climate Change in Water Resources: A Scoping Paper* [Kabat, P. *et al.* (Eds.)]. Dialogue on Water and Climate (DWC), DWC-Report no DWCSSO-01, International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen, Netherlands.

Mittermeier, R.A. *et al.*, 1997: *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. Conservation International, Cemex, 502 pp. nonono

MMA, 2002: Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.

MMA, 2003: Lista das espécies da fauna brasileira ameaçada de extinção. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instrução Normativa no 3 de 27/05/2003. Brasília, DF.

MMA, 2006a: Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, DF.

MMA, 2006b: Caderno setorial de recursos hídricos: geração de energia hidrelétrica. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, DF.

MMA, 2006c: Caderno setorial de recursos hídricos: indústria e turismo. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 80 pp.

MMA, 2006d: Atualização das áreas prioritárias 2006. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br). Acessado em 22/05/2007.

MMA, 2009: Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, 16 pp. Disponível em <http://www.mma.gov.br>.

MMA, 2010: Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros (GBA). Brasília, DF, 148 pp.

MME, 2005: Balanço Energético Nacional 2005, ano base 2004. Ministério das Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ.

Moncunill, D.F., 2006: The rainfall trend over Ceará and its implications. *ICSHMO Proceedings, International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO)*, 8, Foz do Iguaçu, São José dos Campos: Inpe.

Montagnini, F. e C. Finney, 2011: Payments for environmental services in Latin America as a tool for restoration and rural development, *Ambio*, 40(3), 285-297.

- Montezano, E.M. e R.M.N. Peil, 2006: Sistemas de consórcio na produção de hortaliças. *R. Bras. Agrociência*, 12(2), 129-132.
- Morais, H. et al., 2007: Caracterização microclimática de cafeeiros cultivados sob malha de sombreamento e a pleno sol. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15(2), 133-142.
- Moreira-Turq, P.F., 2000: Impact of a low salinity year on the metabolism of a hypersaline coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 429(1-3), 133-140.
- Motta, R.S., 2006: *Economia ambiental*. Rio de Janeiro, RJ: Editora FGV, 228 pp.
- Moulton, T.P. et al., 2007: Conservation of catchments: some theoretical considerations and case histories from Rio de Janeiro. *Neotropical Biology and Conservation*, 2(1), 28-35.
- Moura, A.D. e J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38(12), 2653-2675.
- Muehe, D. (Org.), 2006: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Muehe, D. e C. F. Neves, 2008: Vulnerabilidades físicas da orla, pp. 59-79. In: *Rio próximos 100 anos. O aquecimento global e a cidade*. [Gusmão, P.P. et al. (Eds.)]. Instituto Municipal Pereira Passos (IPP), Rio de Janeiro, RJ, 229 pp.
- Muehe, D., 2010: Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2), 173-183.
- Muler, M., 2012: *Avaliação da vulnerabilidade de praias da ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério*. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
- Myers, N. et al., 2000: Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nabout, J.C. et al., 2011: Global climate change and the production of "pequi" fruits (*Caryocar brasiliense*) in the Brazilian Cerrado. *Natureza e Conservação*, 9(1), 55-60
- Nass, L.L. et al., 2007: Biofuels in Brazil: an overview. *Crop Science*, 47(6), 2228-2237.
- Nielsen, E.T. et al., 2004: Commodities and conservation: the need for greater habitat protection in the tropics. Center for Applied Biodiversity Science, Washington, DC, USA. Disponível em <http://www.hg-llc.com/HGA%20-%20Strategic%20assessment%20of%20tropical%20land%20use%20dynamics.pdf>
- Nelson A. e K.M. Chomitz, 2011: Effectiveness of strict vs. multiple use protected areas in reducing tropical forest fires: a global analysis using matching methods. *Public Library of Science One* 6(8), e22722, doi:10.1371/journal.pone.0022722

Nepstad D. *et al.*, 2009: The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, 326, 1350-1351.

Neves, C.F. e D. Muehe, 1995: Potential impact of sea-level rise on the metropolitan region of Recife, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 14(Special issue), 116-131.

Neves, C.F. e D. Muehe, 2008: Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. (Vulnerability, Impacts, and Adaptation to Climate Change: The Coastal Zone) CGEE *Strategic partnerships*. 27, 217-296.

Neves, S.M. *et al.*, 2006: Paraíba. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.

Nicholson, S.E., 1997: An analysis of the ENSO signal in the Tropical Atlantic and Western Indian oceans. *International Journal of Climatology*, 17, 345-375.

Nickus, U. *et al.*, 2010: Direct impacts of climate change on freshwater ecosystems, pp. 38-64. In: *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems* [Kernan, M. *et al.* (Eds.)], Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell.

Nicolodi, J.L. e R.M. Petermann, 2010: Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social, and technological aspects. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2), 184-204.

NOAA, 1999. Vulnerability assessment. National Ocean and Atmospheric Administration. (NOAA). Disponível em <http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/htm/tut.htm>. Acessado em: 23/01/2013.

Nobre, C.A. *et al.*, 2005: O impacto do aquecimento global nos ecossistemas brasileiros e na agricultura. *Scientific American Brasil*, 12, 70-75.

Nobre, C.A. *et al.*, 2007: Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio), *Relatório no 6*, 25 pp.

Nóbrega, M.T. *et al.*, 2011: Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 585-595.

Nogueira, C *et al.*, 2010: Restricted-range fishes and the conservation of Brazilian freshwaters. *Public Library of Science One*, 5, e11390.

Nunez, M. e J.L. McGregor, 2007: Modelling future water environments of Tasmania, Australia, *Clim. Res.*, 34, 25-37, doi:10.3354/ cr034025.

Oki, T., 2005: The hydrologic cycles and global circulation. In: *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*, [Anderson, M.G. (Ed.)], JohnWiley e Sons: Chichester.

- Oki, T. e S. Kanae, 2006: Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790), 1068-1072.
- Oliveira, A.S., 1986: *Interações entre sistemas na América do Sul e convecção na Amazônia. Dissertação de Mestrado em meteorologia*, (INPE-4008-TDL/239), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP.
- Olson, D.B. et al., 1994: Life on the edge: marine life and fronts. *Oceanography*, 7(2), 52-60.
- O'Sullivan, P., 2005: On the value of lakes, pp. 3-24. In: *The lakes Handbook: Lake Restoration and Rehabilitation*, vol. II, [O'Sullivan, P. e C.S. Reynolds (Eds.)]. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Overbeck, G.E. et al., 2007: Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9, 101-116.
- Pachauri, R.K. e A. Reisinger, 2007: Synthesis Report, Fourth Assessment Report. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Paerl, H. W. 1974: Bacterial uptake of dissolved organic matter in relation to detrital aggregation in marine and freshwater systems. *Limnol. Oceanogr.* 19, 966-972.
- Paerl, H. W., 2008: CyanoHABs and climate change. *LakeLine*, 28(2), 29-33.
- Paerl, H. W., 2009: Controlling eutrophication along the freshwater-marine continuum: dual nutrient (N and P) reductions are essential. *Estuaries and Coasts*, 32(4): 593-601.
- Paerl, H. W. e J. Huisman, 2008: Blooms like it hot. *Science*, 320(57): 57-58.
- Paglia A.P. et al., 2008: A fauna brasileira ameaçada de extinção: síntese taxonômica e geográfica, pp. 63-70. In: *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção* [Monteiro, A.B.M. et al. (Eds.)], vol. 1, Biodiversidade 19. Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Fundação Biodiversitas. Brasília, DF, e Belo Horizonte, MG.
- PAP/ Mapa, 2011: Plano Agrícola e Pecuário (PAP) 2011-2012. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Secretaria de Política Agrícola. Brasília, DF, 96 pp.
- Peixoto, A.R. e C.S.B Costa, 2004: Produção primária líquida aérea de *Spartina densiflora* Brong. (*Poaceae*) no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Ser. Bot.*, 59(1), 27-34.
- Perry, A.L. et al., 2005: Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308, 1912-1915.
- Peterson A.T. e J. Shaw, 2003: Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal for Parasitology*, 33(9),: 919-931.



Philander, S.G.H, 1986: Unusual conditions in the Tropical Atlantic Ocean in 1984. *Nature*, 322, 236-238.

Pinto, E. J.A. *et al.*, 2006a : Metodologia para previsão sazonal de vazões na Bacia do Alto Rio São Francisco, incorporando as estimativas das prováveis trajetórias temporais de precipitação associadas às condições de indicadores climáticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, 4(11), 121-135.

Pinto, E.J.A. *et al.*, 2006b: Utilização de indicadores climáticos na previsão probabilística de precipitações e vazões na Bacia do Alto São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, (RBRH), 4(11), 137-151.

Pinto, H.S. *et al.*, 2007: O aquecimento global e a cafeicultura brasileira. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, 31, 65-72.

Pinto, H.S. *et al.*, 2008: Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa/Unicamp, 81 pp.

Piton, B., 1985: Anomalie thermique dans la partie orientale du Golfe de Guinée durant l'été 1984 et pluviosité excédentaire à Sao Tomé. *Veille Climatique Satellitaire*, 5, 22-25.

Poff, N.L. *et al.*, 2007: Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104, 5732–5737, doi:10.1073/pnas.0609812104.

Porter-Bolland, L *et al.*, 2012: Community managed forests and forest protected areas: an assessment of their conservation effectiveness across the tropics. *Forest Ecology and Management*, 268, 6-17.

PIB/ISA, 2011. Localização e extensão das Terras Indígenas (TIs). Povos Indígenas no Brasil (PIB) e Instituto Socioambiental (ISA). Disponível em <http://pib.socioambiental.org/pt/c/terras-indigenas/demarcacoes/localizacao-e-extensao-das-tis>. Acessado em 28/03/2011.

Rahmstorf, S., 2007: A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315(5810), 368-370.

Raje, D. e P.P. Mujumdar, 2009: A conditional random field-based downscaling method for assessment of climate change impact on multisite daily precipitation in the Mahanadi Basin. *Water Resour. Res.*, 45(10), W10404, doi:10.1029/2008WR007487.

Raje, D. e P. P. Mujumdar, 2010: Constraining uncertainty in regional hydrologic impacts of climate change: Nonstationarity in downscaling. *Water Resour. Res.*, 46(7), doi:10.1029/2009WR008425.

Ramirez-Vallejo, J e P. Rogers, 2004: Virtual water flows and trade liberation. *Water Science and Technology*, 49(7), 25-32.

Rao, V.B. *et al.*, 1997: Interannual variations of rainfall and corn yields in Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 85, 63-74.

- Raper, S.C.B. e R.J. Braithwaite, 2006: Low sea level rise projections from mountain glaciers and icecaps under global warming. *Nature*, 439, 311-313.
- Rebert, J.P. e J.R. Donguy, 1988: The Southern Oscillation index since 1882. In *Time series of ocean measurements*. Unesco, Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Technical Series, 4, 49-53.
- Ribeiro, M.C. *et al.*, 2009: The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142, 1141-1153.
- Ribeiro Neto, A. *et al.*, 2011: Impacto das mudanças climáticas no escoamento superficial usando modelo climático regional: Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: Anais XIV IWRA Water Congress, XIV International Water Resources Association (IWRA) World Water Congress, 2011, Porto de Galinhas, PE. Disponível em <http://aquasec.org/wp-content/uploads/2013/06/Ribiero-Neto-and-Montenegro-2011-Impacts-of-Climate-Change-in-Surface-Runoff-Using-Regional-Climate-Model-in-Pernambuco-State-Northeast-of-Brazil.pdf>
- Righetto, J. M. *et al.*, 2007: Modelo de seguro para riscos hidrológicos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12(2), 107-113.
- Rocha, R. *et al.* . 2009: Selection of endophytic fungi from comfrey (*Symphytum officinale* L.) for in vitro biological control of the phytopathogen *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.). *Braz. J. Microbiol.*, 40(1), 73-78. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-83822009000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822009000100011&lng=en&nrm=iso).
- Rodell, M. *et al.*, 2009: Satellite based estimates of groundwater depletion in India, *Nature*, 460, 999-1002, doi:10.1038/nature08238.
- Rodrigues, R.R. *et al.*, 2009: On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 142, 1242-1251.
- Rodrigues R.R. *et al.*, 2011. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, 261, 1605-1613.
- Roessig, J.M. *et al.*, 2004: Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14, 251-275.
- Ropelewski, C.F. e M.S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the *El Niño*/Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 115, 1606-1626.
- Ropelewski, C.F. e M.S. Halpert, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, 268-284.
- Rosenzweig, C. *et al.*, 2001: Climate change and extreme weather events: implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change & Human Health*, 2(2), 90-104.

Rudorff, B.F.T. *et al.*, 2011: The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images. *Remote Sensing*, 3, 185-202.

Sabóia, M.A.M. *et al.*, 2009: Modelo de previsão de vazões para o Nordeste setentrional utilizando análise dos componentes principais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS Disponível em <https://www.abrh.org.br/sgcv3/index.php?PUB=3&ID=110&PAG=4>.

Salati, T. *et al.*, 2008: Economia das mudanças climáticas no Brasil. Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 80 pp.

Sampaio, G.O., 2001: Seasonal, interannual and long term variability of the Hydrometeorological of the Sao Francisco River Basin (Northeast of Brazil) and their physical links the tropical-extratropical SSTs. Final Report. Anais, II Workshop on Prediction and Applications, Tropical. University of Oklahoma, CIMSS-NC.

Sanderson, E.W *et al.*, 2002): The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 52(10), 891-904. Disponível em [http://culter.colorado.edu/~kittel/Soils\\_footprint\\_references/Footprint\\_Sanderson02r\\_a5.pdf](http://culter.colorado.edu/~kittel/Soils_footprint_references/Footprint_Sanderson02r_a5.pdf).

Sankarasubramanian, A. *et al.*, 2001: Climate elasticity of streamflow in the United States, *Water Resour. Res.*, 37, 1771-1781, doi:10.1029/2000WR900330.

Sankarasubramanian, A. *et al.*, 2009: Improved water allocation utilizing probabilistic climate forecasts: short-term water contracts in a risk management framework. *Water Resour. Res.*, 45, W11409, doi:10.1029/2009WR007821.

Santana, C.A.M. *et al.*, 2011: Productive capacity of Brazilian agriculture: a long-term perspective. Regional Case Study: R5, Foresight Project on Global Food and Farming Futures. The British Government Office for Science, London, UK, 129 pp.

Santos, A.M. e F.A. Esteves, 2004: Comparison of calculation procedures of primary productivity by aquatic macrophytes in a shallow tropical coastal lagoon. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16(3), 239-249.

Satyamurti, P. *et al.*, 1998: South America, pp. 119-139. In: *Meteorology of the Southern Hemisphere*, [Karoly D.J. and D. G. Vincent (Eds.), American Meteorological Society (AMS), Meteorological Monographs Series. Boston, MA, USA: American Meteorological Society, 410 pp.

Sawyer, D., 2008: Climate change, biofuels and eco-social impacts in the Brazilian Amazon and Cerrado. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 1747-1752.

Scanlon, B.R. *et al.*, 2006: Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Processes*, 20(15), 3335-3370, doi:10.1002/hyp.6335.

- Scarano, F.R. *et al.*, 2012: Lead by example. *Nature*, 486, 25-26.
- Scarano, F.R. e G. Martinelli, 2010: Brazilian list of threatened plant species: reconciling scientific uncertainty and political decision-making. *Natureza e Conservação*, 8, 13-18.
- Scavia, D. *et al.*, 2002. Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, 25, 149-164.
- Schaake, J.C., 1990: From climate to flow, pp. 177-206, Chapter 8. In: *Climate Change and U.S. Water Resources*. [Waggoner, P.E. (Ed.)]. New York, NY, USA: John Wiley.
- Schaefer, K.M., 2001: The reproductivity biology of tuna, pp. 225-270, Chapter 6. In: *Tuna: Physiology, Ecology, and Evolution*, [Block, B. and E. Stevens (Eds.)]. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Schaeffer-Novelli, Y. *et al.*, 1990: Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, 13(2), 204-218.
- Schindler, D.W., 2009: Lakes as sentinels and integrators for the effects of climate change on watersheds, airsheds, and landscapes. *Limnology and Oceanography*, 54(6, part 2), 2349-2358.
- Schroeder, F. de A. e J.P. Castello, 2007: Cardume associado: nova modalidade de pesca de atuns no Sul do Brasil, descrição e comparação. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 2(1), 66-74.
- Schroeder, F. de A. e J.P. Castello, 2010: An essay on the potential effects of climate change on fisheries in Patos Lagoon, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2), 320-330.
- Schroth, G. *et al.*, 2011: Conservation in tropical landscape mosaics: the case of the cacao landscape of Southern Bahia, Brazil. *Biodiversity Conservation*, 20, 1635-1654.
- Seeliger, U. e C. Odebrecht, 1998: Introdução e aspectos gerais. In: *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*, [Seeliger, U. *et al.* (Eds.)], Rio Grande, RS: Editora Ecoscientia.
- Seeliger, U. e C.B.S. Costa, 1998: Impactos naturais e humanos, pp. 219-226. In: *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. [Seeliger, U. *et al.* (Orgs.)]. Rio Grande, RS: Editora Ecoscientia.
- Seneviratne, S.I. *et al.*, 2012: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, pp. 109-230. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B. *et al.* (Eds.)]. A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Servain, J, 1991: Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *J. Geophys. Res.:Oceans*, 96(C8), 15137-15146.

Shiklomanov, I., 1998: World fresh water resources, pp. 13-24, Chapter 2. In: *Water in Crisis. A Guide to the World's Fresh Water Resources* [Gleick, P. H. (Ed.)]. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security. Stockholm, Sweden. Stockholm Environmental Institute. New York, NY, USA e Oxford, UK: Oxford University Press.

Siegel, D.A e B.A. Franz, 2010: Oceanography: century of phytoplankton change. *Nature*. 466, 569-571.

T.G.F. *et al.*, 2009. Impactos das mudanças climáticas na produção leiteira do estado de Pernambuco. Análise para os cenários B2 e A2 do IPCC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24, .

Silveira, J.D., 1964: Morfologia do litoral, pp.. 253-305. In: *Brasil: a terra e o homem* [Azevedo, A. (Ed.)], vol. 1. São Paulo, SP: Cia. Editora Nacional.

Simas, M. e S. Pacca, 2013: Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados*, 27(77). Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142013000100008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100008&lng=en&nrm=iso).

Siqueira, M.F. e A.T. Peterson, 2003: Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado species. *Biota Neotropica* 3(2):1-14 online: <http://www.biotaneotropica.org.br/v13n12/pt/abstract?article+BN00803022003>.

Siqueira, O.J. *et al.*, 2001: Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira* [Lima, M. A. de *et al.* (Eds.)]. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, pp. 65-96.

SMA-SP/ CPLA, 2010: Economia verde: desenvolvimento, meio ambiente e qualidade de vida no Estado de São Paulo [Carvalho, C.T.R.L. (Coord.)], Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e Coordenadoria de Planejamento Ambiental. São Paulo, SP: SMA/CPLA, 144 pp.

Small, C. e R. J. Nicholls, 2003: A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19(3), 584-599.

Smol, J.P., 1992: Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal Aquatic Ecosystem Health*, 1(1), 49-58.

Soares, M.L.G., 2009: A conceptual model for the response of mangrove forests to sea level rise. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 267-271.

Soares, M.L.G. *et al.*, 2005: Environmental changes in South America in the last 10k years: Atlantic and Pacific controls and biogeophysical effects: ecological impacts of climatic change and variability: coastal environments - mangroves and salt flats. *Report to the Inter-American Institute on Global Change (IAI)*. 62 pp.

Soares, M.L.G. *et al.*, 2008: Caracterização das florestas de mangue do complexo estuarino de Caravelas (Bahia-Brasil). Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Nordeste, Tamandaré, PE, Boletim Técnico Científico do Cepene, 16, 23-41.

Soares, M.L.G. *et al.* 2011: Vulnerabilidade das florestas de mangue à elevação do nível médio do mar: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Brasil). In: *Anais XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar*, pp. 1-3. XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 2011, Balneário Camboriú, SC.

SOS Mata Atlântica e Inpe, 2010: *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - Período 2008-2010 - Dados parciais dos estados avaliados até maio de 2010*. Disponível em [www.mapas.sosma.org](http://www.mapas.sosma.org). Acesso em 18/mar/2011., ed Atlântica FSM (SOS Mata Atlântica, São Paulo).

Souza Filho, F.A. e U. Lall, 2004: Modelo de Previsão de Vazões Sazonais e Interanuais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, Porto Alegre, RS, v. 9, n. 2, p. 61-74.

Souza Filho, F.A. e C. Brown, 2008: Dynamic risk management in water systems - new methodology for reservoir operation. In: 22nd Conference on Hydrology - American Meteorological Society Annual Conference 2008, 2008, New Orleans. American Meteorological Society Annual Conference 2008. New Orleans : American Meteorological Society.

Souza Filho, F.A. *et al.*, 2008: Multi-decadal climate variability or change and reservoir performance: the Colorado River Compact. In: 22nd Conference on Hydrology, 88th Annual American Meteorological Society, 2008, New Orleans. 88th Annual American Meteorological Society. New Orleans, LA: American Meteorological Society.

Souza Filho, F.A. *et al.*, 2003: Modelo de previsão de vazões sazonais e interanuais. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. Modelo De Previsão De Vazões Sazonais E Interanuais. Porto Alegre : ABRH.

Souza Filho, F.A. e R.L. Porto, 2003: Acoplamento de modelo climático e modelo hidrológico. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. Desafios da Gestão da Água no Limiar do Século XXI. Porto Alegre : ABRH.

Souza Filho, F.A., 2003: Variabilidade e mudança climática nos semi-áridos brasileiros. In: *Clima e recursos hídricos no Brasil* [Tucci, C.E.M e B. Braga (Eds.)]. Coleção ABRH, Porto Alegre, RS: ABRH.

Souza Filho, P.W.M. e W.R. Paradella, 2003: Use of synthetic aperture radar for recognition of coastal geomorphological features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75, 341-356.

Souza, L.C. *et al.*, 2011: Zooplankton of an urban coastal lagoon: composition and association with environmental factors and summer fish kill, *Zoologia*, 28(3), 357-364.

Souza, M.F.L. *et al.*, 2003: Budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(5-6), 843-858.

Sparovek, G. *et al.*, 2010: Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges. *Environ. Sci. Technol.*, 44(16), 6046-6053, doi:10.1021/es1007824.

Speranski, N.S. e L.J. Calliari, 2006: Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira, pp. 446-454. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.

St. Amand, 2002: *Cylindrospermopsis*: an invasive toxic alga. *LakeLine*, 22(1), 36-39.

Stocker, T. *et al.*, 2010: IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. 25-27 January 2010. Boulder, Colorado, USA.

Stone, R., 2007: A world without corals, *Science*, 316, 678-681.

Strassburg, B.B.N. *et al.*, 2010: Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems, *Conservation Letters*, 3, 98-105.

Streck, N.A., 2005: Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield, *Ciência Rural*, 35, 734-744.

Streck, N.A. e C.M. Alberto, 2006: Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(9), 1351-1359.

Sun, L. *et al.*, 2005: Climate downscaling over Nordeste, Brazil, Using the NCEP RSM97. *Journal of Climate*, 18, 551-567.

Sun, L. *et al.*, 2006: An operational downscaling prediction system for Nordeste Brazil and the 2002-04 real time forecasting evaluation. *Journal of Climate*, 19, 1990-2007.

Sund, P.N. *et al.*, 1981: Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19, 443-512.

Tabarelli, M. *et al.*, 2005: Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. *Megadiversidade*, 1(1), 132-138.

Tabosa, W.F. *et al.*, 2001: Monitoramento costeiro das praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte, NE, Brasil, *Revista Pesquisas em Geociências*, 28, 383-392.

Taiz, L. e E. Zeiger., 1991: *Plant Physiology*. San Francisco, CA, USA: Benjamim/ Cummings, 560 pp.

- Tanajura, C.A.S *et al.*, 2009: Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da modelagem do clima presente. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.
- Tanajura, C.A.S *et al.*; 2010: Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bhia: validação da simulação do clima presente do HADRM3P e comparação om os cenários A2 e B2 para 2070-2100, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(3), 345-358.
- Taylor, D. e P.G. Sanderson, 2002: Global changes, mangroveforests and implications for hazards along continental shorelines,p. 203–226. In: *Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests* [Sidle, R. (Ed.)], IUFRO Research Series 9, Wallingford, UK.
- TEEB, 2010: Mainstreaming the economics of nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). Malta: Progress Press.
- Teixeira, R.L. e H.S. Sá, 1998: Abundância de macrocrustáceos decápodos nas áreas rasas do complexo lagunar Mundaú/Manguaba, AL. *Revista Brasileira de Biologia*, 58(3), 393-404.
- Telles, D.D e A.F. Domingues, 2006: Água na agricultura e pecuária. In: *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* [Rebouças, A. da C. *et al.* (Eds.)] 3ª ed. São Paulo, SP: Escrituras Editora.
- Terwilliger, K. e J.P. Wolflin, 2005: Decision making for sustainable development coastal lagoons, pp. 331-370. In *Ecosystem processes and modeling for sustainable land use and development* (Gönneng, E. e J.P. Wolflin (Eds.)). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Thomas C.D. *et al.*, 2004: Extinction risk from climate change, *Nature*, 427, 145-148.
- Timmermann, A. *et al.*, 1999: Increased *El Niño* frequency in a climate model forced by future greenhouse warming, *Nature*. 398, 694-696.
- Toldo, E.E. *et al.*, 2006: Erosão e acresção da zona costeira, Rio Grande do Sul. In: Erosão e progradação do litoral brasileiro, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Tomasella, J. *et al.*, 2009: Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins. CCST/INPE, Cachoeira Paulista, SP.
- Tomasella, J. *et al.*, 2011: The droughts of 1996–1997 and 2004-2005 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. *Hydrol. Process*, 25, 1228-1242.
- Tranvik, L.J. *et al.*, 2009: Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, 54(6, part 2), 2298-2314.



Travassos, P., 1999a: *L'étude des relations thons-environnement dans l'Océan Atlantique Intertropical Ouest: cas de l'albacore (Thunnus albacares, Bonnaterre 1788), du germon (Thunnus alalunga, Bonnaterre 1788) et du thon obèse (Thunnus obesus, Lowe 1839)*. Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica e Ambiente Marinho, Université de Paris 6 (Pierre et Marie Curie), 256 pp.

Travassos, P., 1999b: Anomalies thermiques et pêche du germon (*Thunnus alalunga*) dans l'Atlantique Tropical Sud-Ouest. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 49(4), 324-338.

Tröger, F.H. et al., 2006: Verificação da estacionariedade das séries anuais de vazões naturais das usinas hidrelétricas de três Marias e Sobradinho. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11(4).

Tubiello, F.N. et al., 2000: Effects of climate change and elevated CO<sub>2</sub> on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy*, 13, 179-189.

Tucci, C.E.M. e R.T. Clarke, 1998: Environmental issues in the La Plata Basin. *Water Resources Development*, 14(2), 157-173.

Tucci, C.E.M., 2003: Processos hidrológicos e seus impactos na mudança do solo, pp. 1-30. In: *Clima e recursos hídricos no Brasil*. [Tucci, C.E.M e B. Braga (Eds.)]. Coleção ABRH, Porto Alegre, RS: ABRH.

Tucci, C.E.M., 2001: Some scientific challenges in the development of South America's water resources, *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*, 46(6).

Tucci, C.E.M., 2002: Impactos da variabilidade climática do uso do solo nos recursos hídricos. Agência Nacional das Águas.

Tucci, C.E.M. e R.T. Clarke, 1997: Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(1).

Tucci, C.E.M e B. Braga (Eds.), 2003: *Clima e recursos hídricos*. Coleção ABRH, Porto Alegre, RS: ABRH.

Tundisi, J.G., 2008: Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, 22(63).  
UK Met Office, 2005: Climate change, rivers and rainfall. Recent research on climate change science from the Hadley Centre, December 2005.

UNDP, 2006: Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. United Nations Development Programme (UNDP).

Unesco, 2010: Sea-level rise and variability. A summary for policy makers. 12 pp.

UNFCCC, 2007: Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. – United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn, Germany.

- Unica, 2010: Sugarcane industry in brazil, ethanol, sugar, bioelectricity. Folheto, União da Indústria de Cana de Açúcar (Unica).
- Uwins, H.K. *et al.*, 2007: A case study investigating the occurrence of geosmin and 2-methylisoborneol (MIB) in the surface waters of the Hinze Dam, Gold Coast, Australia. *Water Sci Technol*, 55, 231-238.
- Valentin, J.L., 2008: Consequências das mudanças climáticas para o plâncton do Atlântico Sul. SBPC, Reunião Anual, Energia, Ambiente, Tecnologia, Campinas, 6 pp. Disponível em <http://www.sbpnet.org.br/livro/60ra/textos/si-jeanlouisvalentin.pdf>.
- Valgas, I., 2009: *As marismas de Spartina alterniflora e os taboais de Typha domingensis do Sistema Estuarino de Laguna (Santa Catarina, Brasil): distribuição espacial, estrutura e macrofauna associada*. Dissertação de Mestrado, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná.
- Van Beek, E. *et al.*, 2003: Coping with climate variability and climate change in water resources, Chapter 2, pp. 31-46. In: *Coping with Climate Variability and Climate Change in Water Resources: a Scoping Paper* [Kabat, P. *et al.* (Eds.)]. Dialogue on Water and Climate (DWC), DWC-Report no DWCSSO-01, International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen, Netherlands.
- Van de Waal, D.B. *et al.*, 2011: Reversal in competitive dominance of a toxic versus non-toxic cyanobacterium in response to rising CO<sub>2</sub>. *The ISME Journal*, 5, 1438–1450.
- Vanderlaan, A.S.M. *et al.*, 2011: Initial investigations of environmental influences on atlantic bluefin tuna catch rates in the Southern Gulf of St. Lawrence. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT), *Collective Volume of Scientific Papers*, 66(3), 1204-1215.
- Viana VM. 2008. Bolsa Floresta: um instrumento inovador para a promoção de saúde em comunidades tradicionais do Amazonas. *Estudos Avançados*, 22, 143-153.
- Vignola, R. *et al.*, 2009: Ecosystem-based adaptation to climate change: what role for policy-makers, society and scientists? *Mitigation and Adaptation Strategies to Global Change*, 14, 691-696.
- Vital, H., 2006: Rio Grande do Norte. In: *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, [Muehe, D. (Org.)], Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). Brasília, DF: MMA/ PGGM, 476 pp.
- Vital, H. *et al.*, 2005a: Oceanografia geologica e geofisica da plataforma continental brasileira, pp. 153-175. In: *Quaternário do Brasil* [Souza, C.R.G. *et al.* (Eds.)]. Ribeirão Preto, SP: Holos Editora, 378 pp.
- Vital, H. *et al.*, 2005b: Carta sedimentológica da plataforma continental brasileira. Área Guamaré a Macau (NE Brasil), utilizando integração de dados geológicos e sENSOrimento remoto, *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(3), 233-241.

- Vital, H. *et al.*, 2006: Coastal erosion on the Rio Grande do Norte State (Northeastern Brazil): causes and factors versus effects and associated processes: *Journal of Coastal Research*, 39(Special Issue), 1307-1310.
- Vital, H. *et al.*, 2010: Characterization of the Brazilian continental shelf adjacent to Rio Grande do Norte State, NE Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(Special Issue), IGCP526, 43-54.
- Vörösmarty, C.J. *et al.*, 2000: Global water resources: vulnerability from climate change and population growth, *Science*, 289, 284-288, doi:10.1126/science.289.5477.284.
- Wagner, R., 1996: Decadal-scale trend in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 101, 16683-16694.
- Wagner, C. e R. Adrian, 2008: Cyanobacteria dominance: quantifying the effects of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6, part 2), 2460-2468.
- Wagener, T. *et al.*, 2010: The future of hydrology. An evolving science for a changing world, *Water Resour. Res.*, 46(W05301), doi:10.1029/2009WR008906.
- Walker, G.T., 1924: Correlation in seasonal variations of weather, IX. A further study of world weather. *Memoirs of the India Meteorological Department*, 24,(9), 275-333. <http://www.rmets.org/about/history/classics.php>
- Walker, G.T., 1928: Ceará (Brazil) famines and the general air movement. *Beitrage zur Physik der freien Atmosphere*, 14, 88-93.
- Wanninkhof, R. e M. Knox, 1996: Chemical enhancement of CO<sub>2</sub> exchange in natural waters. *Limnology and Oceanography*, 41(4), 689-697.
- Weaver, A. J. e C. Hillaire-Marcel, 2004: Global warming and the next ice age. *Science*, 304(5669), 400-402.
- Wetzel, R.G., 2001: *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3a ed. San Diego, CA, USA: Elsevier Academic Press, 1006 pp.
- Wilby, R.L. *et al.* 2006: Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet, UK, *Journal of Hydrology*, 330, 204-220.
- Williamson, C.E. *et al.* 2009: Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54(6, part 2), 2273-2282.
- Wilson, K. *et al.*, 2005: Measuring and incorporating vulnerability into conservation planning, *Environmental Management*, 35, 527-543.
- Winter, T.C., 2001: The concept of hydrologic landscapes. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(2).

- Wisner, B. *et al.*, 2003: *At Risk: Natural Hazards, Peoples Vulnerability and Disasters*. 2nd ed. London, UK: Routledge.
- Wolinski, A.L.T.O., 2011: Efeitos do derrame experimental de óleo Bunker MF-180 em marismas da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil). Disponível em [www.researchgate.net/profile/Andre\\_Wolinski](http://www.researchgate.net/profile/Andre_Wolinski).
- WRI, 2008. WRI Annual Report. World Resource Institute (WRI), Washington, DC, USA, 28 pp.
- Wright, L.C. *et al.*, 2012: Turtle mating patterns buffer against disruptive effects of climate change. *Proceedings of the Royal Society, B*, 279(1736), 2122-2127, doi:10.1098/rspb.2011.22851.
- Ybert, J.P. *et al.*, 2003: Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 189(1-2), 11-24.
- Yeh, S.-W. *et al.*, 2009: *El Niño* in a changing climate. *Nature Letters*, 461, 511-515.
- Yunes, J. S., 2000: Ecotoxicologia em lagoas costeiras: florações de cianobactérias tóxicas na Lagoa dos Patos, pp. 231-260. In: *Ecologia de restingas e lagoas costeiras* [Esteves, F.A.e L.D. Lacerda (Eds.)]. Núcleo de Pesquisas Ecológicas de Macaé (Nupem). Macaé, RJ: Nupem.
- Yunes, J. S., 2009: Florações de *Microcystis* na Lagoa dos Patos e seu estuário: 20 anos de estudos, *Oecologia Brasiliensis*, 13(2), 313-318.
- Zagaglia, C.R., 2003: *Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à pesca de atuns no Atlântico Oeste Equatorial*. Dissertação de Mestrado em sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, SP, 180 pp.
- Zamboni, A. e J.L. Nicolodi (Orgs.), 2008: *Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil (Macrodiagnosis of the Coastal and Marine Zone of Brazil)*. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Brasília, DF, 242 pp.
- Zamith L.R. e F.R. Scarano, 2006: Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species, *Restoration Ecology*, 14, 87-94.
- Zanotta, D.C. *et al.*, 2009: Mapeamento da temperatura superficial da Lagoa dos Patos, RS, com dados NOAA-AVHRR. *Anais XIV SBSR, XIV Simpósio Brasileiro de SENSOrimento Remoto*, Natal, RN. São José dos Campos: Inpe.
- Zembruscki, S.J. *et al.* 1972: Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira. In. *Anais CBG-SBG 26* . vol. 2. pp. 187-209, Congresso Brasileiro de Geologia 26. São Paulo, SP.
- Zhao, F. *et al.*, 2010: Evaluation of methods for estimating the effects of vegetation change and climate variability on streamflow, *Water Resour. Res.*, 46(W03505), doi:10.1029/2009WR007702.

Zoby, J.L.G. e B. Matos, 2002. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. *Anais do Congresso da Abas*, vol. 12. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, SC.

Zullo Jr. *et al.*, 2006: Impact assessment study of climate change according to IPCC prognostics on Brazilian agricultural zoning. *Meteorological Applications, Royal Meteorological Society*, 1, 69-80.

Zullo Jr. J. *et al.*, 2011: Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109(3-4), 535-548, doi:10.1007/s10584-011-0058-0.

## CAPÍTULO 5

### AGLOMERADOS HUMANOS, INDÚSTRIA E INFRAESTRUTURA

**Autores principais:** Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho – USP; Andréa Young – UNICAMP; Heloisa Costa – UFMG; André Frossad Pereira de Lucena – UFRJ; Andréa Souza Santos – UFRJ

**Autores colaboradores:** Gustavo Inácio de Moraes – PUC / RS; Nilo de Oliveira Nascimento – UFMG; Enio Bueno Pereira – INPE; Agostinho Ogura – IPT; Osório Thomaz – IPT; Diana Scabelo da Costa Pereira da Silva Lemos – UFRJ

**Autores revisores:** Alisson Flávio Barbieri – UFMG; Claudio Szlafstein – UFPA; Luiz Augusto Horta Nogueira – UNIFEI; Roberto Schaeffer – UFRJ; Ronaldo Balassiano – UFRJ

## ÍNDICE

<b>5.1. ÁREAS RURAIS</b>	<b>200</b>
<b>5.2. ÁREAS URBANAS</b>	<b>204</b>
5.2.1. INTRODUÇÃO	204
5.2.2. PANORAMA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	207
5.2.3. AS CIDADES BRASILEIRAS E O CLIMA URBANO	209
5.2.4. ONDE E COMO AS CIDADES BRASILEIRAS SÃO VULNERÁVEIS	210
5.2.5. OS PRINCIPAIS CENÁRIOS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS	211
5.2.6. A NECESSIDADE DE AVALIAR QUESTÕES RELACIONADAS À MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	213
5.2.7. DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO NO MEIO URBANO	213
5.2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	215
<b>5.3 SETORES ECONÔMICOS PRIORITÁRIOS</b>	<b>216</b>
5.3.1. SETOR ENERGIA	216
5.3.1.1. INTRODUÇÃO	216
5.3.1.2. IMPACTOS E VULNERABILIDADES DO SETOR ENERGÉTICO	216
5.3.1.3. OFERTA DE ENERGIA	216
5.3.1.4. TRANSMISSÃO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	224
5.3.1.5. DEMANDA DE ENERGIA	224
5.3.1.6. ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS SOBRE O SETOR ENERGÉTICO	225
5.3.1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	226
5.3.2. SETOR INDÚSTRIA	227
5.3.2.1. INTRODUÇÃO	227
5.3.2.2. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA	228
5.3.2.3. DESASTRES AMBIENTAIS NO BRASIL	229
5.3.2.4. BREVE PANORAMA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO PARQUE INDUSTRIAL BRASILEIRO	231
5.3.2.5. IMPACTOS POTENCIAIS EM ALGUNS SETORES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA	233
5.3.2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	235
5.3.3. VULNERABILIDADES, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTES	236
5.3.3.1. INTRODUÇÃO	236
5.3.3.2. RISCOS, VULNERABILIDADES E POSSÍVEIS IMPACTOS	236
5.3.3.3. ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO PARA TRANSPORTES	243
5.3.3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS:	246
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>247</b>

## 5.1. ÁREAS RURAIS

No Brasil, os potenciais cenários climáticos nas próximas décadas fizeram aumentar o interesse, por parte de pesquisadores de diversas áreas, sobre as suas consequências para a economia, saúde, e população em geral. Em particular, destacam-se estudos que procuram associar as mudanças climáticas projetadas até o final do século com a dinâmica econômica, demográfica e de saúde no Brasil, utilizando uma perspectiva regional, de integração de impactos, vulnerabilidades e adaptação em áreas rurais e suas relações com áreas urbanas através de encadeamentos via fluxos de bens econômicos e de pessoas (migrações).

Um primeiro estudo, a nível nacional, financiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, lançou as bases para o desenvolvimento de metodologias de análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas no Brasil (Confalonieri *et al.*, 2005; Confalonieri *et al.*, 2009). Nesta ocasião, ainda não haviam sido produzidos cenários climáticos específicos para o território brasileiro.

O segundo estudo, denominado Migration, Climate Change and Public Health / Security, foi desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento regional da Universidade Federal de Minas Gerais (CEDEPLAR/UFMG) e pela Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), e contou com financiamento do Global Opportunities Fund, do Reino Unido. O projeto avaliou os impactos sociais e econômicos das mudanças climáticas sobre as populações localizadas na Região Nordeste – particularmente as mais vulneráveis às migrações internas no nordeste e consequências para a saúde pública (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008; Barbieri *et al.*, 2010). O terceiro estudo, “Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades” (Margulis, *et al.*, 2010) envolveu um consórcio de algumas das principais instituições públicas de pesquisa do Brasil e teve como objetivo principal avaliar as consequências econômicas (e suas implicações sociais e ambientais) dos cenários de mudanças climáticas previstas para o país até o final do século.

Um estudo mais recente desenvolveu indicadores quantitativos de vulnerabilidade sócio-ambiental e de saúde, para cada município do Estado do Rio de Janeiro, em função das projetadas mudanças do clima (Confalonieri *et al.*, 2011). Uma característica importante deste estudo, assim como do primeiro e segundo estudos mencionados acima, foi a criação de uma metodologia de downscaling dos cenários climáticos do INPE.

O segundo e terceiro estudos utilizaram como informação básica os cenários do INPE e da EMBRAPA (Pinto e Assad, 2008) sobre as consequências dos cenários A2 e B2 sobre a agricultura da região Nordeste, especialmente sobre a disponibilidade de terras para os principais cultivos da região. A partir destes cenários, foi elaborado um modelo de equilíbrio geral computacional denominado IMAGEM-B que gerou cenários econômicos de renda, emprego, produto e consumo das famílias em cenários tendenciais (sem os impactos climáticos) e com os impactos climáticos na agricultura. De acordo com o modelo proposto, tais impactos podem ser tanto diretos (diminuição na oferta de terra agricultável) quanto indiretos (impactos da redução de oferta de terras sobre os outros setores econômicos) (CEDEPLAR/Fiocruz 2008).

Os cenários econômicos indicaram que as mudanças climáticas no Nordeste do país, levariam a uma redução de 11,4% do PIB (Produto Interno Bruto) em relação ao crescimento esperado do PIB no cenário tendencial em 2050, no cenário A2 do IPCC (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008; Barbieri *et al.*, 2010). Esse percentual de perda equivale a cerca de dois anos de crescimento da economia da região, tendo como base o desempenho verificado entre 2000 e 2005. Entre as reduções de oferta de terras aptas para a agricultura nos estados Nordestinos, esta seria mais drástica nos Estados do Ceará (-79,6%), Piauí (-70,1%), Paraíba (-66,6%) e Pernambuco (-64,9%).

Outros esforços de avaliação dos efeitos econômicos das mudanças climáticas na agricultura brasileira têm feito ampla utilização de modelos de equilíbrio geral computáveis. Isto se explica pelas características desta abordagem metodológica, que requer a integração de resultados setoriais com a economia



como um todo, permitindo a análise dos impactos de equilíbrio geral de fenômenos que, por suas características, têm efeitos que extrapolam os setoriais. Assim, em Domingues *et al.* (2008) consideram-se apenas os cenários de mudança climática no Nordeste, sendo o cenário base de análise obtido dos estudos produzidos por Pinto e Assad (2008). Desse modo, a variável que sofre o choque é a disponibilidade de terras para a agricultura, considerada a probabilidade de sucesso de oitenta por cento, correspondente aos níveis considerados para finalidade de seguro agrícola. Entretanto, neste estudo os efeitos não são diferenciados por cultura, sendo que a opção é um choque sobre o setor agropecuário agregado. Os resultados demonstram que o PIB agrícola da região pode cair até 13%, enquanto o emprego teria queda de 6% em 2050. Os resultados estaduais demonstram que Pernambuco seria o estado mais afetado (queda de até 18,6%) e Sergipe seria o estado menos afetado, podendo inclusive notar aumento do PIB no cenário B2. O modelo de equilíbrio geral computável utilizado foi o TERM. O trabalho de Domingues *et al.* (2010) persegue nesta linha metodológica, agora com resultados por micro-região brasileira e um modelo regionalizado dinâmico, ou seja, com variações em períodos sucessivos. Como no trabalho anterior, neste artigo os dados de Pinto e Assad (2008) são as fontes primárias dos dados e são disponibilizados para oito culturas agrícolas além da pecuária. Note-se, entretanto que diferentemente de Domingues *et al.* (2008), esse novo estudo trabalha com outro modelo de equilíbrio geral computável, o B-MARIA.

O artigo de Moraes e Ferreira Filho (2010) também utiliza o modelo TERM-BR para estimar impactos econômicos a partir de perspectivas para oito culturas agrícolas, com cenários de queda de áreas aptas e produtividade agrícola derivados de Pinto e Assad (2008). O artigo adiciona novos aspectos ao debate, notadamente: (1) considera os possíveis efeitos benéficos de uma mudança climática branda (cenários 2020) sobre a cana de açúcar e a mandioca; (2) realiza uma ligação entre os efeitos esperados e a estrutura do mercado de trabalho, apontando tendências de transferências de região e atividades; (3) realiza, também, uma ligação entre os efeitos esperados e impactos no orçamento das famílias, demonstrando a intensidade dos impactos sobre o orçamento das famílias mais carentes. Os resultados de equilíbrio geral obtidos sugerem uma deterioração da renda das famílias que concentram trabalhadores menos qualificados, tanto pelo efeito da redução na demanda deste tipo de trabalho na agricultura das regiões afetadas, quanto pela elevação relativamente maior na cesta de consumo destas famílias, que concentra parcela maior de alimentos em geral.

Em comum, os resultados de todos esses estudos mostram que a Região Nordeste, por seu clima, e os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, pela concentração da produção agrícola em soja seriam afetados em intensidades relevantes em suas economias. As quedas previstas seriam superiores a 5% do PIB para a maior parte dos estados mencionados. Estes resultados sugerem a necessidade de políticas compensatórias para aquelas regiões, como alternativas de renda. Tais políticas passam pela disponibilidade de tecnologia agrícola ou pela diversificação das atividades econômicas, o que exigiria a adaptação da mão-de-obra local e da logística regional.

Os exercícios de simulação de cenários econômicos considerando os efeitos das mudanças climáticas desenvolvidos nos estudos do CEDEPLAR/FIOCRUZ (2008) e Barbieri *et al.* (2010) foram utilizados na construção dos cenários de saldos migratórios e taxas líquidas de migração. Como os choques climáticos afetam a disponibilidade de terras para cultivo e pecuária, o setor agrícola é o que teria sua capacidade produtiva mais atingida nas próximas décadas, comprometendo a geração de renda e emprego. Haveria atração de trabalho para outras regiões do país e para setores menos afetados da economia, gerando migração e deslocamento de capital.

De forma geral, pode-se sugerir que as mudanças climáticas no cenário B2 não apontariam um processo drástico de redistribuição populacional, pelo menos no período de tempo considerado, entre 2030 e 2050. No Cenário A2 seriam bastante significativos no processo de redistribuição populacional do Nordeste, através de um incremento do processo emigratório na região. Os resultados indicam, no quinquênio 2035-2040, a perda líquida de mais de 246 mil pessoas da Região Nordeste; no quinquênio 2045-2050, a perda líquida seria de aproximadamente 236 mil pessoas. A migração projetada no cenário A2 é cerca de 18 vezes maior do que a projetada pelo

cenário B2 em 2035-2040, e 11 vezes em 2045-2050. Tendo em vista que o impacto do cenário A2 sobre as migrações é maior do que o tendencial e B2 juntos, o impacto final sobre a redução do tamanho populacional total do nordeste seria bem mais evidente.

Além da migração, os cenários populacionais até 2050 para o nordeste indicaram mudanças na estrutura demográfica que poderão ser importantes na definição das condições futuras de vulnerabilidade socioeconômica e de saúde, como, por exemplo, a maior proporção de idosos na população e uma proporção relativamente alta de crianças em regiões mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico, ou seja, em áreas mais pobres.

Os cenários de impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, desenvolvidos por Moraes e Ferreira Filho (2010) foram também utilizados por Ferreira Filho e Horridge (2010) em um estudo sobre os potenciais efeitos sobre a migração inter-regional no Brasil. Neste estudo os autores, após constatar a reversão dos fluxos migratórios tradicionais da região nordeste para o sudeste, investigam em que medida os impactos sobre a agricultura poderiam vir a modificar novamente as tendências migratórias recentes, uma vez que as atuais regiões de atração de migrantes seriam exatamente aquelas mais afetadas negativamente. Para isso, desenvolvem um modelo dinâmico de equilíbrio geral computável com um módulo específico para a análise da migração no Brasil, onde os efeitos dos choques sobre as disponibilidades de áreas aptas e produtividade agrícola são transmitidos para toda a economia. O modelo foi denominado TERMBR-MIG, e traz ainda uma desagregação inter-regional dentro do Brasil que permite a análise proposta.

No modelo acima, dois cenários são intercalados na simulação: o cenário A2 até 2025, e o B2 a partir daquele ano até o ano de 2070. Neste estudo, verifica-se que os choques analisados, embora importantes em termos de perda de área e produção agrícolas, representam parcelas relativamente pequenas do valor total das produções regionais consideradas. Os piores resultados aconteceriam nos estados do Maranhão e Piauí, na região nordeste, com queda de 2,5% no valor bruto da produção agregado da região em 2070, e o Mato Grosso do Sul, com queda de 3%.

Em termos agregados, o estudo mostra uma queda de 0,82% do PIB brasileiro em 2070, em relação ao cenário base estabelecido. As culturas mais afetadas pelos choques seriam as do café e da soja, impactando relativamente mais as regiões onde estas culturas se concentram. Em particular, estudo mostra uma queda no PIB regional do estado do Mato Grosso do Sul de 4,13% em 2070, e da região do Maranhão/Piauí de 2,9%, enquanto os demais estados da região nordeste apresentam perda de PIB da ordem de 1,5%. Estes resultados são comparáveis aos obtidos por Moraes e Ferreira Filho (2010) e Pinto e Assad (2008).

Em termos dos resultados sobre a migração inter-regional, o estudo mostra que os estados das regiões sudeste e sul voltariam a receber migrantes em termos líquidos, como resultado da queda na atividade econômica nas demais regiões afetadas, invertendo de fato os fluxos migratórios atuais. Os números envolvidos, contudo, não são de grande magnitude, sendo que o estado de São Paulo, o que mais atrairia novos migrantes, estaria recebendo, em termos líquidos, aproximadamente 34. mil novos migrantes em 2070. Estes migrantes, contudo, estariam concentrados na faixa de trabalhadores de menor qualificação, tendendo a repetir o que foi observado nas décadas anteriores<sup>1</sup>.

Queiroz e Barbieri (2009) mostraram, ainda, que os municípios do Nordeste que sofrerão os maiores impactos das mudanças climáticas também apresentam os piores indicadores sociais da região, medidos pelo baixo nível médio de educação, concentração de famílias abaixo da linha de pobreza, maior dependência em relação às transferências governamentais; e baixo acesso a serviços básicos de infraestrutura (água e esgoto). São, dessa forma, dotados de baixa capacidade de resposta e preparação

---

<sup>1</sup> Os autores chamam a atenção para o fato de que estes números referem-se apenas aos migrantes principais, ou seja, os efeitos oriundos do mercado de trabalho, não levando em consideração as famílias que eventualmente migrariam conjuntamente.

dos indivíduos e das instituições aos potenciais efeitos das mudanças do clima (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008). Esses grupos apresentam, ainda, uma tendência maior de permanecerem em seus locais de origem devido à incapacidade de amortizar os custos associados à migração (Golgher, 2009), e dessa forma podem se tornar grupos mais vulneráveis às mudanças climáticas.

Os dois estudos acima trataram, também, de possíveis agravos à saúde populacional na região Nordeste. Em dois estudos recentes (CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2008; Barbieri e Confalonieri, 2011), procurou-se associar dados históricos sobre agravos à saúde no nordeste capazes de serem influenciados, direta ou indiretamente, pelas mudanças climáticas e os cenários demográficos e econômicos descritos na seção anterior. A premissa principal foi a de que, a partir das indicações de um aumento futuro da aridez, a escassez de água e alimentos agravará o quadro sanitário e ensejará migrações capazes de não só redistribuir doenças no espaço como aumentar a pressão sobre os serviços de saúde, nas áreas de destino dos migrantes.

Os cenários climáticos, econômicos, demográficos e de saúde permitiram a construção de indicadores quantitativos que podem oferecer uma visão comparativa da vulnerabilidade por estado nordestino e as relações rurais/urbanas. Optou-se pelo desenvolvimento de um índice composto (ou agregado), capaz de refletir, em parte, algumas importantes relações causais no contexto “insegurança alimentar/migrações/saúde”. Com o objetivo de sumarizar, em um único índice, o grau de vulnerabilidade das unidades da federação do Nordeste brasileiro com relação ao impacto das mudanças climáticas na saúde foi desenvolvido, para cada estado nordestino, um Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG), composto de quatro sub-indicadores (Barbieri e Confalonieri, 2010): a) Índice de Vulnerabilidade de Saúde (IVS), b) Índice de Vulnerabilidade à Desertificação (IVD); c) Índice de Vulnerabilidade Econômico-Demográfico (IVED), e d) Índice de Vulnerabilidade de Custo do SUS (IVC).

Pensando nos pontos comuns, os estudos acima têm levantado, como questão central, se eventuais reversões nas dinâmicas socioeconômicas regionais em função das mudanças climáticas implicariam uma reversão na tendência de crescimento econômico em regiões mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico, como o nordeste, levando à ativação de mecanismos históricos de emigração desta região, associados aos fatores econômicos de atração e expulsão, e fatores ambientais de expulsão. A rigor, pode-se concluir ainda que as mudanças climáticas, ao afetarem a economia, motivariam a migração humana em algumas circunstâncias, particularmente quando outros mecanismos de adaptação falham. As repercussões sobre a vulnerabilidade socioeconômica e de saúde e capacidade de adaptação seguem, nesse sentido, como a materialização das relações entre dinâmica climática, econômica e demográfica, condicionadas aos macrofatores políticos, institucionais e culturais.

A falha em mecanismos de adaptação constitui risco ao bem-estar das populações e pode atuar na elevação do nível de vulnerabilidade populacional, particularmente quando associada às populações migrantes de menor nível socioeconômico. Os estudos descritos acima, para a região Nordeste, sugerem, dentre as populações mais vulneráveis, um destaque para as populações migrantes, em que a emigração rural-urbana, ou de pequenas áreas urbanas para áreas urbanas maiores no nordeste ou para as regiões mais desenvolvidas do país são motivadas por uma combinação de períodos severos de seca e melhores oportunidades econômicas fora da região.

Porém, mesmo assumindo a importância de se distinguir status migratório como uma importante categoria de qualificação da vulnerabilidade populacional, e como um mecanismo importante de adaptação às mudanças climáticas, tal relação não tem sido discutida com profundidade suficiente na literatura brasileira, particularmente em áreas não urbanizadas e em um enfoque regional. A mobilidade populacional, como um mecanismo efetivo de adaptação às mudanças climáticas, depende da habilidade de grupos populacionais vulneráveis de se moverem no espaço em busca de melhores oportunidades de renda e bem-estar, ou de disporem, no local onde vivem de mecanismos facilitadores de adaptação às mudanças climáticas. Particularmente no nordeste brasileiro, a mobilidade rural-urbana tem sido amplamente empregada como um mecanismo de redução de vulnerabilidade populacional, reproduzindo um padrão de outras partes do mundo. A migração para cidades de médio e grande

porte, onde maior renda e recursos são disponíveis e geram economias de escala e aglomeração, podem reduzir a situação de vulnerabilidade, assumindo uma eficiência mínima no acesso a esses recursos e renda.

Isto posto, políticas de adaptação em áreas rurais e em suas articulações com áreas urbanas, devem passar, inevitavelmente, pela identificação da heterogeneidade de graus de vulnerabilidade pertinentes a diferentes grupos populacionais. Isso, por sua vez, requer a identificação e compreensão do potencial padrão migratório e de redistribuição populacional emergente das mudanças climáticas. São precisamente essa identificação e compreensão, associadas aos potenciais de capacidade adaptativa de uma população, que permitem discutir se os cenários apresentados nos estudos citados conformariam um peso proporcionalmente maior aos fatores ambientais de expulsão nas causas de mobilidade, aproximando-a de um tipo involuntário como a que define os “refugiados ambientais”. Por outro lado, a criação de oportunidades econômicas e de inserção social, mediadas por fatores institucionais como políticas de transferência de renda, seguridade social e qualificação de capital humano, podem, mesmo na presença de choques exógenos como as mudanças climáticas, minimizar a mobilidade não voluntária como um mecanismo de adaptação das populações.

Em uma perspectiva global, cenários futuros que apontem agravamento de desigualdades entre países com capacidades adaptativas díspares poderão induzir, em algumas regiões grandes crises humanitárias e estímulos à migração internacional. A princípio tal cenário não parece provável no Brasil, dadas às perspectivas de crescimento e desenvolvimento socioeconômico nas próximas décadas e o potencial de capacidade adaptativa. Porém, um possível descompasso entre essas perspectivas e a velocidade das mudanças ambientais e o aumento na intensidade dos extremos pode configurar um cenário não tão inimaginável de “migração forçada” caso não se avance, de forma efetiva, na redução das profundas iniquidades regionais e diferenças de renda no país.

Motta *et al.* (2011) reforçam, todavia, que a questão central para a tomada de decisão em políticas de mudanças climáticas reside em entender os benefícios e custos da mitigação comparados aos benefícios e custos da adaptação, incluindo-se a variável de maior dificuldade de projeção, a tecnologia. Os autores reforçam a incerteza associadas aos diversos estudos econômicos, destacando o permanente diálogo que deve ser mantido com as demais ciências, notadamente naturais. Assim, como concluem os autores, o princípio da precaução é importante, mas tomá-lo em exagero pode ser um importante constrangimento ao desenvolvimento socioeconômico.

A despeito da discussão sobre o grau de mobilidade de grupos com diferentes níveis de vulnerabilidade socioeconômica, espera-se, de qualquer forma, que a migração em função das mudanças climáticas seja em parte representativa dos grupos sociais e economicamente mais vulneráveis da população como, por exemplo, pequenos produtores agrícolas que não dispõem de bens de produção ou mecanismos de adaptação dos sistemas produtivos, ou daqueles que possuem meios suficientes para realocarem trabalho ou capital no espaço, de um local de maior risco, para um local de menor risco aos indivíduos e suas famílias.

## **5.2. ÁREAS URBANAS**

Essa Seção busca descrever os possíveis impactos das mudanças do clima em áreas urbanas, identificando lacunas e destacando áreas do conhecimento fundamentais para o desenvolvimento de pesquisa científica.

### **5.2.1. INTRODUÇÃO**

Segundo Marengo *et al.* (2009), uma das perguntas mais importantes relacionadas às mudanças climáticas e conseqüentemente aos eventos extremos é se a sua ocorrência está aumentando ou diminuindo

ao longo do tempo. Ondas de calor, chuvas intensas, secas, entre outros fenômenos climáticos têm afetado o território brasileiro em todas as estações e seus impactos variam regionalmente. Estes eventos estão provocando impactos cada vez mais significativos no meio urbano e seus riscos vêm sendo potencializados. Em geral, significativas transformações no clima local são geradas pelo modo como essas áreas urbanas se desenvolvem, por meio de intervenções desconexas com intensa verticalização, compactação e impermeabilização do solo, supressão de vegetação e cursos d'água (Ross, 2004).

O relatório do IPCC (2012) ressalta que desastres poderão ocorrer com maior frequência em virtude dos impactos de eventos climáticos extremos. Eventos extremos ocorrem quando valores, frequência e associação temporal das observações registram um aumento ou uma diminuição significativa durante um determinado estado climático (Marengo, 2009).

Eventos extremos ocorrem em escalas temporais que variam de dias a milênios. Os mais importantes para as atividades humanas são possivelmente os eventos extremos de curto prazo (relacionados com o tempo) e os de médio prazo (relacionados com o clima), já que apresentam potencial de impacto mais significativo. *“Os eventos extremos de tempo e clima constituem um aspecto integral da variabilidade climática. Nas regiões onde os eventos extremos de tempo serão mais intensos e/ou mais frequentes, os custos econômicos e sociais dos impactos desses eventos aumentarão, sendo substanciais em áreas urbanas”* (Marengo, 2009).

A confiabilidade das projeções das mudanças em relação à magnitude e direção dos eventos extremos depende de muitos fatores: do tipo de extremo; da região e da estação do ano; da quantidade e qualidade dos dados observacionais; do nível de entendimento dos processos e das simulações através de modelos (IPCC, 2012).

As mudanças projetadas para as variáveis precipitação e temperatura implicariam possíveis mudanças em termos de inundações, embora, as projeções ainda sejam consideradas de “baixa confiabilidade”. A confiança é baixa devido a evidências limitadas e porque as causas das alterações regionais são complexas (ex. uso e cobertura da terra, urbanização). Ainda que exceções existam, existe uma confiabilidade média que projeta aumentos de chuvas relacionados a aumento de inundação local em algumas bacias ou regiões (IPCC, 2012),

Desse modo, a utilização de modelos para apoiar as observações na tentativa de entender a probabilidade dos extremos sob a ótica das mudanças climáticas é necessária, como por exemplo, através do cálculo do aumento do risco de um extremo atribuível a alterações climáticas, realizado por Stott *et al.* (2004) para a onda de calor na Europa no verão de 2003.

Paralelamente, destaca-se o fato de que em 2008 mais de 50% da população mundial passou a viver em cidades (United Nations, 2008). Isso quer dizer que aproximadamente 3,3 bilhões de pessoas se concentram em áreas urbanas e esse percentual pode chegar a 80% em 2030. A maior parte deste crescimento ocorrerá em países em desenvolvimento (Martine, 2007).

No Brasil, observa-se um processo de urbanização cada vez mais intenso, ainda que com variações regionais importantes. De acordo com IBGE (2010), desde a última década, com exceção das regiões Norte e Nordeste que apresentavam taxas de urbanização de cerca de 70%, em todas as demais regiões, mais de 80% da população vivem em áreas urbanas (Quadro 5.2.1).

Quadro 5.2.1. Taxa de urbanização do Brasil e regiões – 1940 - 2010

Região/Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2010
BRASIL	31,24	36,16	45,08	55,94	67,59	75,59	81,23	84,36
Centro-Oeste	21,52	24,38	34,22	48,04	67,79	81,28	86,73	88,80
Norte	27,75	31,49	37,38	45,13	51,65	59,05	69,87	73,53
Nordeste	23,42	26,40	33,89	41,81	50,46	60,65	69,07	73,13
Sul	27,73	29,50	37,10	44,27	62,41	74,12	80,94	84,93
Sudeste	39,42	47,55	57,00	72,68	82,81	88,02	90,52	92,95

Fonte: IBGE/Censos demográficos de 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 e 2010

Os padrões de urbanização resultantes variam significativamente entre as regiões brasileiras e devem ser mais bem estudados na medida em que influenciam as possibilidades de adaptação e de mitigação a serem desenvolvidas ou em desenvolvimento. Apesar da diversidade de formas e configurações espaciais, a urbanização expressa à desigualdade da sociedade brasileira, tanto na coexistência entre áreas formais e informais, ricas e pobres, com padrões urbanísticos adequados e de risco às populações.

Estudo realizado pelo Centro de Estudos da Metrópole (Marques, 2007) abrangendo todos os municípios com mais de 150 mil habitantes e de regiões metropolitanas, o que correspondeu a 54,3% dos domicílios brasileiros, identificou que 13% dos domicílios eram inadequados ou precários, sendo que na região norte este índice eleva-se para 29%. A localização da população no espaço urbano, dada pelo seu local de moradia, segue a lógica da distribuição espacial do preço da terra, que por sua vez reflete o conjunto de investimentos públicos e privados no ambiente construído, daí resultando as conhecidas formas de segregação sócio espacial das cidades brasileiras, nas quais as áreas acessíveis à população de mais baixa renda são as de baixa qualidade socioambiental, as áreas inadequadas para urbanização e/ou de risco (Maricato, 2000).

Do ponto de vista das concepções urbanísticas, são décadas de produção do espaço nas quais a percepção dos atributos naturais ou coletivos esteve subordinada à lógica privatista de maximização dos ganhos imobiliários e fundiários (Costa e Monte-Mór, 2002); nas quais as soluções técnicas prevaleceram sobre soluções ambientalmente mais consistentes, a exemplo do tradicional tratamento dos cursos d' água em meio urbano. Um exemplo a ser citado é a cidade do Rio Janeiro que nos próximos 30 anos, é a que mais sofrerá, entre os municípios do Estado, com o aumento do nível do mar, chuvas intensas, inundações, perda de biodiversidade, além do aumento de casos de doenças induzidas pelas mudanças climáticas.

Em termos do crescimento e da expansão urbana recente, assiste-se a um duplo processo. Nas áreas já consolidadas, há uma crescente verticalização das regiões centrais e mais valorizadas, assim como um permanente adensamento das periferias, agravando as já precárias condições de salubridade socioambiental, permeabilidade do solo, coabitação e uso intensivo dos lotes. Nas áreas de expansão urbana, observa-se um crescente processo de fragmentação e dispersão da urbanização sobre espaços rurais e produtivos, bem como sobre localidades com importantes funções ambientais como áreas de proteção de mananciais e encostas, de recarga de aquíferos, entre outras, pressões estas que podem tornar mais graves a desigualdade social e a degradação ambiental.

Assim, as interações entre o processo de urbanização e as alterações climáticas geram impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originários em áreas urbanas e que têm efeitos negativos sobre as mudanças climáticas; e as mudanças climáticas que têm efeitos negativos sobre as áreas urbanas (Xiaopei et al., 2006).

Densas, vastas e complexas, a maioria das cidades impõe desafios em uma escala sem precedentes para toda a sociedade, os responsáveis pelo fornecimento de serviços básicos e infraestrutura, e particularmente os prefeitos, os administradores, e os urbanistas (Denig, 2007).

Seguindo a lógica de Ross (2004), observa-se que de fato significativas transformações no clima local são geradas pelo modo como as áreas urbanas se configuram, através de intervenções pouco articuladas entre si e com as diretrizes urbanísticas em vigor, resultando usualmente em intensa verticalização, compactação, impermeabilização do solo, supressão de vegetação e canalização dos cursos d'água. Considerando o acelerado processo de expansão urbana, sua natureza desigual que se reflete em espaços de habitação precária com níveis acentuados de vulnerabilidade e o atraso na implantação de infraestrutura adequada ao ritmo de crescimento das cidades, as cidades não se encontram preparadas para enfrentar os desafios impostos pela mudança climática.

Este capítulo discute algumas considerações sobre a forma como as cidades brasileiras têm-se tornado cada vez mais vulneráveis em termos socioambientais e sugere ainda medidas de adaptação, que envolvem um conjunto de ações que os municípios e suas instituições públicas e privadas deverão enfrentar em busca de respostas diante dos impactos. Entre estas, estão maior controle e fiscalização sobre construções presentes em áreas de risco, investimentos em transportes coletivos, sobretudo o ferroviário, garantias de preservação dos recursos naturais como as várzeas e áreas de proteção permanente ao longo dos rios, através da implantação de parques lineares, investimentos em pesquisas voltadas para a modelagem do clima, e quantificação de benefícios decorrentes de medidas de adaptação às mudanças climáticas, entre outras.

## 5.2.2. PANORAMA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Considerando os eventos extremos já citados, as desigualdades sociais (intra e inter regionais) impõem uma série de desafios. A grande maioria das cidades brasileiras já apresenta inúmeros problemas socioambientais associados a padrões de desenvolvimento e transformação do espaço, agravados pelas mudanças no comportamento dos eventos climáticos extremos.

Segundo Marengo (2009), estudos sobre tendências climáticas têm demonstrado um aumento da temperatura do ar que pode ser causado por fatores naturais, como por exemplo, o aquecimento do Atlântico Sul observado desde 1950, ou fatores antropogênicos (ex: ilhas de calor associada ao processo de urbanização). Para ter noção do futuro climático, especialistas do Centro de ciências do Sistema Terrestre do INPE analisaram, além dos índices de eventos extremos, as projeções de mudanças na precipitação anual e temperatura média anual até 2100. A temperatura média anual, projetada no cenário de altas emissões globais de gases de efeito estufa para o final deste século, indica um aumento de 2° C a 3° C, podendo atingir 4° C.

*“Em muitas áreas da América do Sul, a frequência de eventos de precipitação intensa tem aumentado, consistentemente com o aquecimento, e em várias regiões mudanças em extremos de temperatura têm sido observadas nos últimos 50 anos” (IPCC, 2007a, b). Nas regiões sul e sudeste do Brasil, “registros climáticos têm mostrado um aumento na frequência de eventos de chuva intensa, que em parte explicam o número crescente de desastres naturais como deslizamentos de terras, enchentes e inundações, responsáveis por um número alarmante de mortes nas grandes cidades” (Marengo et al., 2009).*

Estudos realizados por Marengo et al. (2009), referentes as pesquisas de Vincent et al. (2005), Haylock et al. (2006), Caesar et al. (2006), Alexander (2006), Tebaldi et al. (2006), Dufek e Ambrizzi (2007), revelam que “os dias frios, as noites frias e as geadas ficaram menos frequentes; enquanto os dias quentes, as noites quentes, e as ondas de calor ficaram mais frequentes”. Mudanças nos eventos extremos geram impactos significativos em diversos setores como na agricultura (sub. cap. 5.1.), saúde (sub. cap. 6.1.), desenvolvimento e planejamento urbano e gerenciamento de recursos hídricos (sub. cap. 4.1.).

No Sul do Brasil, chuvas intensas afetaram o Estado de Santa Catarina em 2008, causando “severas inundações e deslizamentos que resultaram em 120 vítimas e 69.000 pessoas desabrigadas. Os deslizamentos e as inundações causadas pelas tempestades bloquearam quase todas as estradas da região e interromperam a distribuição de água e eletricidade em milhares de casas. Foi reportado pelas autoridades locais e amplamente divulgado na imprensa em geral, que a maior parte das fatalidades foi causada pelos deslizamentos que atingiram casas e grande parte do setor de comércio” (Marengo, 2009).

As regiões metropolitanas de São Paulo (RMSP) e do Rio de Janeiro (RMRJ), que concentram mais de 30 milhões de habitantes (cerca de 16% da população do país), sofrem constantemente os efeitos dos extremos de precipitação, que causam enchentes, deslizamentos de terra e perdas de vida (Nobre et al., 2011a). A RMRJ e o Estado, de um modo geral, têm sido castigados por eventos de chuvas intensas que geram tragédias e grandes transtornos à população. Os exemplos mais recentes e também mais dramáticos ocorreram em 2010 e 2011. No início de abril de 2010, a RMRJ foi atingida por sistemas de tempestades associados ao deslocamento de uma frente fria. Os totais pluviométricos atingiram 323 mm em 24 horas, provocando deslizamentos que causaram 167 mortes em Niterói e 66 no Rio de Janeiro, deixando mais de 3 mil desabrigados e 11 mil desabrigados (Nobre et al., 2011b).

Conforme relatado pela imprensa, em janeiro de 2011, a região serrana do Estado do Rio de Janeiro foi devastada por chuvas intensas ocasionadas pela chegada de um sistema frontal. Em apenas 12 horas, foram registrados 222 mm de precipitação. De acordo com o banco de dados internacional de desastres, com sede na Bélgica, foi o desastre natural mais severo da história do país, com cerca de 900 mortes (em Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim, sendo as duas primeiras as cidades com maior número de vítimas), mais de 9.000 desabrigados e mais de 11.000 desalojados. As fortes chuvas deflagraram movimentos de massa em encostas e enchentes que removeram solos, rochas e árvores, gerando um cenário de destruição nos locais afetados (Nobre et al., 2011b).

Para exemplificar uma das situações presentes no sudeste, uma síntese das projeções climáticas derivadas do modelo regional Eta-CPTEC 40 km para a RMSP é apresentada no Quadro 5.2.2. Através das setas podemos observar as variações nos períodos analisados (Marengo et al., 2009).

**Quadro 5.2.2.** Sumário das projeções climáticas derivadas do modelo regional Eta-CPTEC 40Km para RMSP.



Fonte: Nobre et al., 2011a.



No que se refere aos problemas relacionados à seca, “uma estação chuvosa fraca, acompanhada por relativas altas temperaturas devido a anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico tropical (El Niño, La Niña), ou no Atlântico tropical ou subtropical, podem ter fortes impactos sobre o território brasileiro e conseqüentemente sobre a população e setores econômicos, dependendo da disponibilidade de água.” Os períodos de seca estariam impactando áreas agrícolas (sub. cap. 5.1.) e hidrelétricas (sub. cap. 5.3.1.). “Com a redução persistente da precipitação nessas áreas, lagos secam, as vazões dos rios diminuem e o abastecimento de água potável é reduzido, dificultando as opções de conservação e esgotando das reservas de água potável” (Marengo, 2009).

Ainda segundo Marengo (2009), observa-se que nas áreas do território brasileiro onde ocorre predominantemente esse tipo de evento, “espera-se que a mudança climática leve à salinização e desertificação de terras agrícolas, assim como também diminuição da produtividade do gado e de algumas colheitas importantes”. Tais eventos trariam conseqüências adversas para a segurança alimentar (sub. cap. 4.5.) afetando diretamente as áreas urbanas. “Áreas como o Nordeste brasileiro podem sofrer um decréscimo em seus recursos hídricos, com aumento da variabilidade da precipitação (com mais veranicos e secas), e também um decréscimo na recarga das águas subterrâneas. Além disso, o crescimento populacional e a conseqüente demanda por água intensificaria a vulnerabilidade da população em relação à deficiência no abastecimento. Essas situações foram detectadas durante anos de seca no clima atual, e poderiam ficar mais frequentes em um clima mais quente e seco” (Marengo, 2009).

Segundo Marengo (2009), “em 2005, grandes zonas do sudoeste da Amazônia experimentaram uma das secas mais intensas dos últimos cem anos. A seca afetou severamente a população ao longo do canal principal do Rio Amazonas e os seus afluentes ao oeste e sudoeste, os rios Solimões e o Madeira, respectivamente.” No Brasil, o número de estudos sobre os impactos das mudanças climáticas em ecossistemas naturais e agroecossistemas, zonas costeiras, energias renováveis, recursos hídricos, megacidades e saúde ainda não supera o número de problemas (Assad e Pinto, 2008; CEDEPLAR e FIOCRUZ, 2008; Marengo et al., 2009, Nobre et al., 2011 a,b).

### 5.2.3. AS CIDADES BRASILEIRAS E O CLIMA URBANO

Na maioria das cidades brasileiras, a urbanização de fundos de vales e rios tem ocorrido em tempos diferenciados. Atualmente, estas áreas assemelham-se climatologicamente a bacias aquecidas, produtoras de toneladas de poluentes originárias dos setores industriais, comerciais e de serviços, bem como da circulação de veículos. A expansão urbana para além das planícies fluviais produziu bairros com altíssima densidade de pessoas e uma porcentagem muito pequena de áreas verdes. A supressão de vegetação refletiu em temperaturas mais elevadas nas superfícies edificadas (30°C a 33°C) e, ao mesmo tempo, estas áreas tornaram-se sujeitas a enchentes e inundações devido à impermeabilização do solo (PMSP, 1999a; DAEE, 2009).

A densa urbanização constitui importante fonte de calor. As partes mais densas da maioria das cidades, principalmente de médio e grande porte, costumam apresentar temperaturas mais elevadas, diminuindo à medida que a densidade urbana decresce (PMSP, 1999a).

A área central das cidades, com seus edifícios altos e próximos uns dos outros, ruas estreitas e pátios confinados, forma tipicamente o centro de uma “ilha” urbana de calor. Nesta região central, a capacidade térmica das áreas cobertas por edifícios e pavimentação<sup>2</sup> é maior e a circulação de ar é menor. O fenômeno da “ilha” de calor torna-se menos pronunciado sob condições de nebulosidade e intensifica-se quando ocorre uma situação de inversão térmica (Lombardo, 1985; Spirn, 1995).

---

<sup>2</sup> Sabe-se que a pavimentação irradia 50% a mais de calor do que superfícies cobertas por vegetação (SPIRN, 1995).

## 5.2.4. ONDE E COMO AS CIDADES BRASILEIRAS SÃO VULNERÁVEIS

A vulnerabilidade tem origem na exposição de populações, lugares e instituições, portanto, a fragilidade dos assentamentos humanos, relacionada a determinado fenômeno perigoso com dada severidade, está conectada a fatores como localização, área de influência, resiliência; todos intrinsecamente ligados a diferentes condições ambientais, sociais, econômicas e políticas. Nesse sentido, as comunidades locais necessitam de melhores representações espaciais dos riscos e vulnerabilidades associadas (Cutter *et al.*, 2000; Cutter, 2003).

Com a transformação das áreas naturais ou de uso agrícola em áreas urbanas, os solos originalmente cobertos por vegetação e cursos d'água foram recobertos por asfaltos e construções, alterando-se as contribuições térmicas originais, uma vez que, materiais impermeáveis e com alta capacidade de armazenar calor foram acrescentados à superfície (Oke, 1987; Spirn, 1995).

No que se refere ao ciclo hidrológico, as áreas urbanas produzem alterações significativas, tanto em termos de mudanças de regime hidrológico causadas pela impermeabilização de solos e pela implantação de infraestrutura convencional de drenagem urbana, quanto em termos de pressões de demanda por recursos hídricos para o abastecimento de água e para o destino final de águas servidas. Os meios receptores são muito impactados pelo lançamento de esgotos sanitários e industriais não tratados, ou tratados em um nível insuficiente, bem como por poluição difusa de origem pluvial, comprometendo mananciais por extensões significativas a jusante dos trechos de lançamento dos efluentes urbanos. As áreas impactadas por grandes cidades ultrapassam em muito os limites urbanos. Mudanças no regime de chuvas e outras alterações no ciclo hidrológico podem contribuir para agravar este quadro, comumente associado ao risco de inundações, comprometimento do sistema de abastecimento de água, comprometimento de produções agrícolas, qualidade de água e disponibilidade hídrica de meios receptores (Nascimento *et al.*, 2006).

No tocante à infraestrutura viária e de saneamento, o urbanismo brasileiro foi muito influenciado pelo conceito de avenidas sanitárias, sistemas viários localizados em fundos de vale aos quais se associam diferentes redes de distribuição de serviços urbanos (ex. água de abastecimento, interceptores de esgotos sanitários, infraestrutura de drenagem pluvial, redes de distribuição de energia elétrica, redes de comunicação e outros). Geralmente atividades de comércio e serviços, bem como algumas atividades industriais se localizam nestas áreas. O conceito de avenida sanitária frequentemente conduz à canalização de cursos d'água como forma de absorver e transferir para jusante os escoamentos excedentes gerados pela impermeabilização de solos. Os cursos d'água são, portanto, meios receptores de escoamentos superficiais, de cargas de poluição difusa de origem pluvial, bem como de outras cargas poluentes oriundas de carências ou insuficiências em outros serviços urbanos, como a gestão de resíduos sólidos, a conexão cruzada entre sistemas pluviais e de esgotamento sanitário e a inexistência de interceptores de esgotos (Nascimento *et al.*, 2006; Baptista e Nascimento, 2002).

Há risco significativo de morte, em muitos casos, em razão das respostas rápidas de bacias urbanas altamente impermeabilizadas a eventos de precipitação intensa, resultando em inundações com características de "flash floods", durante as quais as vias tornam-se caminhos preferenciais de escoamentos de elevada energia, capazes de desequilibrar e transportar pessoas bem como veículos mesmo com profundidades de inundação relativamente baixas (DAEE, 2009).

Embora exista correlação entre a densidade de ocupação e as taxas de impermeabilização (Tucci e Marques, 2001), existem algumas alternativas urbanísticas que comportam densidades elevadas com taxas de impermeabilização compatíveis com objetivos de controle de impactos sobre escoamentos ou sobre o clima local, bem como criação de áreas verdes e de lazer (Fouchier, 1997). No tocante ao manejo de águas pluviais em meio urbano, desde os anos 1970 são desenvolvidas e aplicadas técnicas de redução de impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico que envolvem ações difusas no espaço urbano, como dispositivos de infiltração (ex. trincheiras de infiltração, planos de infiltração), de armazenamento (ex. valetas, micro reservatórios), de armazenamento e evapotranspiração (ex. co-

berturas verdes, jardins de chuva), bem como concentradas (ex. parques lineares em fundos de vale, bacias de retenção). Essas técnicas são vistas como significativamente mais resilientes aos efeitos de mudanças climáticas quando comparadas com soluções convencionais de drenagem pluvial (Gersoni *et al.*, 2011; Siekmann e Müller, 2011; Nielsen *et al.*, 2011). No Brasil, publicações relativamente recentes enfatizam o emprego dessas técnicas (Righetto, 2009; Baptista *et al.*, 2005) e alguns municípios as incorporam em seus instrumentos de planejamento, regulação urbana e programas, como por exemplo, Porto Alegre (Porto Alegre, 2005) e Belo Horizonte (Costa *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2008), embora seu emprego por cidades brasileiras ainda seja pouco difundido.

A prevalência de modelos convencionais de drenagem pluvial decorre de inúmeros fatores (Baptista e Nascimento, 2002):

- Baixa capacidade de inovação e atualização tecnológica das equipes municipais responsáveis por tais serviços;
- Carência de recursos financeiros e/ou de continuidade em programas de investimento;
- Dificuldades (ou desinteresse) dos municípios em regular a ocupação urbana (ex. evitar a ocupação em zonas de risco, controlar a impermeabilização de solos);
- Dificuldade dos municípios em planejar e executar atividades de manutenção e recuperação de sistemas de infraestrutura;
- Pouca experiência em cooperação intermunicipal para gerir problemas comuns de provisão de serviços e de regulação urbana.

Nesse sentido, o sistema de drenagem urbana é um fator de extrema relevância para as áreas urbanas. No Brasil, as soluções técnicas empregadas não foram capazes de absorver a totalidade dos impactos causados pelo processo de impermeabilização do solo e de canalização de córregos e rios da maioria das cidades. (Ross, 2004; DAEE, 2009; Travassos, 2010).

Paulatinamente o sistema hídrico da maioria das cidades foi transformado em sistema viário. Apesar de todas as intervenções realizadas, as enchentes aumentaram ao longo dos anos, em frequência e intensidade, pois medidas relativas ao planejamento urbano e controle do uso do solo não foram executadas em paralelo com as obras de engenharia compatíveis com as características locais da maioria das regiões brasileiras. (Ross, 2004; DAEE, 2009; Travassos, 2010).

## 5.2.5.OS PRINCIPAIS CENÁRIOS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS

### Enchentes e inundações

Este cenário de risco caracteriza-se pelo transbordamento e refluxo das águas dos rios para as planícies adjacentes, quando ocorrem enchentes e inundações das margens e várzeas ocupadas ao longo dos principais cursos d'água. Apesar dos investimentos que têm sido realizados ao longo dos últimos anos para aumentar a capacidade de vazão dos principais cursos d'água ou para prover o amortecimento de cheias por meio de áreas de armazenamento (ex. bacias de retenção), prevê-se que a inundação das planícies fluviais urbanizadas continuará a ocorrer em razão do crescimento populacional, da impermeabilização não controlada de solos, da ocupação das margens e áreas de várzeas, da dinâmica natural das cheias e das grandes intervenções nos cursos d'água (canalização dos rios e córregos) (PMSP, 1999b; DAEE, 2009).

Os impactos atingem habitações, atividades industriais, comerciais e de serviços (públicos e privados), bem como o sistema de transporte urbano e rodoviário, particularmente considerando o tempo de permanência da água nos locais atingidos. A tendência de aumento da frota de veículos em circulação e a expansão das vias em áreas de várzea para atender esse crescimento da demanda de tráfego tendem a aumentar o grau de veículos e pessoas expostas aos riscos de enchentes e inundações (PMSP, 1999b; DAEE, 2009).

### **Enchentes e inundações com alta energia de escoamento**

As condições geomorfológicas e climáticas presentes em locais de relevo mais acidentado, principalmente nos compartimentos geomorfológicos de maciços, morros e morrotes em diversas regiões do país, permitem a ocorrência de escoamento superficial de alta energia, ou seja, grande volume e velocidade das águas, em razão das altas declividades dos terrenos marginais das porções de cabeceira de drenagem em vales encaixados, deflagrados por eventos localizados de chuva com elevados índices de pluviosidade instantânea (Ministério das Cidades/IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

Enchentes desse tipo podem causar a destruição de edificações, de obras de infraestrutura urbana (barragens, reservatórios), colocando em risco a integridade física das pessoas residentes em áreas ribeirinhas. Assentamentos humanos ao longo de cursos d'água podem ser afetados gravemente. Além disso, a energia erosiva destes processos tende a causar o assoreamento dos trechos de jusante nos cursos d'água, propiciando condições para a ocorrência de inundações (Ministério das Cidades /IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

### **Enxurradas com alto potencial de arraste**

No Brasil, políticas públicas de canalização de córregos e construção de vias públicas em fundos de vale deram origem aos cenários de risco de processos de enxurradas ao longo de vias públicas, em sub-bacias urbanizadas, onde ocorre a concentração das águas superficiais. Os processos de enxurradas ocorrem tanto nas áreas consolidadas quanto nas áreas periféricas, e se caracterizam pelo grande poder de acumulação das águas superficiais e alto poder destrutivo e de arraste (Ministério das Cidades /IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

Cenários de risco hidrológico dessa natureza expõem as pessoas e seus bens a condições de alto risco. As maiores vulnerabilidades associadas a perdas humanas localizam-se em bairros periféricos, enquanto as maiores vulnerabilidades associadas a perdas econômicas e materiais se dão nos bairros consolidados. Escoamentos pluviais concentrados ao longo dos cursos d'água ou em vias públicas são responsáveis pela maior parte das mortes em eventos hidrológicos, quando pessoas são levadas pela energia das águas (Ministério das Cidades /IPT, 2007; Nobre *et al.*, 2011a).

### **Alagamentos**

Processos de alagamentos localizados ocorrem de forma generalizada em diversos pontos do Brasil, quando chove, principalmente por deficiências do sistema de drenagem urbano. Os alagamentos são geralmente acumulações rasas de lâminas d'água que geralmente atingem as vias públicas, causando transtornos momentâneos para a circulação de pedestres e veículos. Muitos domicílios lançam lixo diretamente nos cursos d'água, contribuindo para sua obstrução e assoreamento. Além disso, detritos sólidos são carregados pelas enxurradas e levados para os trechos de menores declividades do leito, onde são depositados (DAEE, 2009).

O lixo acumula-se, geralmente, nas margens dos rios, córregos e ribeirões, com declividades acentuadamente mais baixas. Com o aumento de eventos com precipitações cada vez mais intensas, mais detritos são carregados e os reservatórios de retenção tendem a sofrer sérios danos se não forem projetados com dispositivos que dificultem a entrada dos sedimentos de fundo e próprio do lixo. Outro aspecto importante é o fato de que as calhas dos rios acabam sofrendo com o processo de assoreamento, perdendo sua profundidade original (DAEE, 2009).

### **Movimentos de massa em encostas**

As áreas sujeitas a risco de deslizamentos ou movimentos de massa em encostas localizam-se principalmente em terrenos de relevo mais acentuado (íngreme) e cuja dinâmica de processos superficiais é bastante intensa (alta energia). Em geral, as ocupações desconsideram as normas de parcelamento

e uso do solo que regem a ocupação do território brasileiro. Com o processo de urbanização intENSO, na medida em que se esgotam as terras apropriadas para a ocupação, os arruamentos penetravam em áreas de solos frágeis, de alta declividade e com condições impróprias para usos urbanos (Nobre *et al.*, 2011a).

Dentre os acidentes naturais que ocorrem em território brasileiro, os associados aos escorregamentos são os que causam o maior número de mortes. Dados de levantamento sistemático realizado pelo Núcleo de Monitoramento de Riscos Geológicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), no período de 1988 a 2009, mostram um total de 1.457 mortes por escorregamentos no Brasil (Nobre *et al.*, 2011a).

Há uma clara correlação entre maior incidência histórica de eventos chuvosos, superiores a 100 mm, com os terrenos de topografia mais acidentada, o que pode ser explicado pela influência de elevações topográficas na geração das chuvas. A análise das projeções climáticas mostra que a incidência de eventos severos, superiores a 100 mm, deverá ser maior em algumas regiões, com um aumento da concentração de áreas de risco de escorregamentos, o que incrementará a condição de vulnerabilidade dessas localidades (Nobre *et al.*, 2011a).

### **5.2.6.A NECESSIDADE DE AVALIAR QUESTÕES RELACIONADAS À MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO**

Como é possível observar a variabilidade climática já impõe um desafio importante à sociedade, e futuras mudanças no clima parecem inevitáveis. Isto torna o desenvolvimento de estratégias de adaptação necessárias, chamando a atenção para questões éticas e de justiça: *“as pessoas que provavelmente mais sofrerão com os impactos da mudança climática global são justamente aquelas que menos contribuirão para que esta ocorra”* (Marengo, 2009). Tal afirmação é confirmada quando se determina as emissões de GEE por diferentes faixas de renda, descritas no Capítulo 3.4, do Grupo de Trabalho II, do PBMC.

Apesar de todos estarem sendo afetados de alguma forma, os impactos das mudanças climáticas atingem fortemente os mais pobres. *“Algumas comunidades e assentamentos empobrecidos já se encontram sob o estresse da variabilidade climática e dos eventos extremos, e estes podem ser especialmente vulneráveis às mudanças climáticas porque se concentram nas áreas de risco relativamente alto, com limitado acesso a serviços e a outros recursos para solucionar os danos.”* (Marengo, 2009).

Onde a carência de recursos e capacidades de resposta requer rápida adaptação às condições mais severas do clima, o problema provavelmente será agravado. Isto requer uma colaboração interinstitucional e integrada sem precedentes para criar programas de adaptação eficazes de longo alcance em todo o país.

### **5.2.7.DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO NO MEIO URBANO**

Como se observa, não só os lugares, mas também as pessoas apresentam vulnerabilidades distintas. Diferentes grupos sociais são expostos a riscos diferenciados e com recursos distintos para responder a estas situações (Hogan, 2001). É necessário, portanto, identificar esses grupos, localizá-los no espaço urbano e descrevê-los social e demograficamente para uma política pública mais eficiente. Há uma necessidade de projetos destinados a integrar as projeções das mudanças climáticas a modelos socioeconômicos, tal que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos possa ser produzida (Nobre *et al.*, 2011a,b). Com base nisto, poderiam ser simuladas políticas de adaptação no meio urbano para regiões distintas. Neste sentido, algumas diretrizes são sugeridas:

O poder público deverá estabelecer a obrigatoriedade de avaliação da dimensão climática nos processos decisórios referentes às políticas públicas, de forma a estabelecer:

- Ampliação da capacidade de observação sistemática e modelagem climática, geração de cenários climáticos futuros causados pelo aquecimento global e influência relativa do processo de urbanização;
- Implantar Sistemas de Prevenção e Alerta a Enchentes, Inundações e Deslizamentos, envolvendo a população, a defesa civil e órgãos competentes;
- Implantação de redes de monitoramento e formatação de banco de dados climáticos (informações históricas e registros atuais) nas cidades brasileiras principalmente aquelas mais afetadas por problemas relativos a eventos extremos;
- Avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a saúde humana, promovendo medidas para prevenção e redução dos impactos em áreas urbanas;
- Desenvolvimento de estudos sobre “ilhas de calor urbano” para fins de planejamento urbano e regional;
- Implementação do Plano de Macro e Micro drenagem nos municípios brasileiros mais afetados, levando-se em conta a necessidade de atualização tecnológica em manejo de águas pluviais (com apresentação de custos comparativos entre obras de engenharia visando à canalização e a implantação de soluções alternativas);
- Aplicação de recursos destinados à pesquisa científica no estudo das causas e consequências do aumento de temperatura e mudanças dos regimes climáticos e hidrológicos, especialmente os extremos de determinadas regiões; bem como em pesquisa tecnológica visando à busca de alternativas para a redução da poluição atmosférica, poluição dos corpos d’água e do solo, elaboração de modelos hidrológicos e estudos integrados sobre os sistemas de captação, distribuição, drenagem e escoamento superficial, descarga de efluentes, assentamentos humanos em áreas de mananciais;
- Implantação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente, com propostas que reflitam a interface entre diversos setores da economia compatibilizando crescimento econômico com desenvolvimento sustentável.

### **Instrumentos de Acompanhamento e Monitoramento**

Através de uma ação conjunta da Defesa Civil, Prefeituras e Órgãos Municipais deverão ser criados instrumentos de restrição à impermeabilização das áreas urbanas<sup>3</sup>, tais como:

- Criar, implementar e fiscalizar, mecanismos regulatórios que coíbam novas construções em áreas com declividade acentuada e de preservação permanente através do controle de alvarás e licenças, e embargos de obras;
- Introduzir nos regulamentos de outorga já existentes, que caberia ao órgão responsável pelos sistemas de drenagem das bacias de determinada região a responsabilidade pelo embargo de obras civis que possam resultar em impactos sobre o regime de deflúvios superficiais<sup>4</sup>;
- Estabelecer as condições para implementação de políticas habitacionais públicas, comunitárias e privadas, que gerem alternativas adequadas e permanentes para as populações que ocupam áreas de vulnerabilidade extrema.

### **Instrumentos econômicos**

- As Secretarias da Fazenda e Planejamento municipais e estaduais (dependendo da jurisdição) deverão proceder à quantificação dos benefícios decorrentes das medidas de adaptação às mudanças climáticas, uma vez que esta constitui uma alternativa extremamente necessária para a viabilização de ações. As questões relativas aos custos e benefícios decorrentes, por exemplo, da redução nos índices de doenças e mortalidade (causadas por inundações, deslizamentos e períodos de seca), impactos positivos na paisagem (em função das melhorias visando equilíbrio das condições climáticas) devem ser identificadas, quantificadas e amplamente divulgadas no orçamento participativo de cada município;

<sup>3</sup> Para uma discussão sobre o uso de instrumentos do Estatuto da Cidade para controle de impermeabilização e uso de técnicas compensatórias de drenagem pluvial ver Baptista *et al.*, 2005.

<sup>4</sup> Para uma discussão sobre uso de instrumentos de outorga para alterações de regime hidrológico decorrentes de urbanização ver Castro, 2007

- Há um potencial para a aplicação de instrumentos econômicos e de valoração ambiental para promover, por exemplo, a adoção de áreas verdes e parques lineares (ex. CNT, 2010), bem como o controle de impermeabilização de solos (ex. Cançado *et al.*, 2006).

### 5.2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações nos regimes hidrológicos e sistemas de drenagem urbana, bem como a poluição dos rios, somadas ao uso inadequado do solo e a impermeabilização das cidades, tem resultado em sérios problemas relativos a enchentes e inundações. Da mesma forma, o avanço sobre terrenos com declividade acentuada, também tem provocado o aumento de riscos relativos a deslizamentos de terra. A poluição atmosférica tem se agravado com os problemas relativos aos períodos de seca e vice-versa.

Como mencionado, os vales ocupados se assemelham climatologicamente a bacias aquecidas, produtoras de toneladas de poluentes originárias das indústrias, comércio, serviços e da circulação de veículos. Esta é uma questão estrutural que deverá persistir, pois resulta de sucessivas opções políticas pregressas e vigentes. As projeções climatológicas mostram que novas áreas de risco surgirão e a vulnerabilidade se intensificará tanto em relação a enchentes, inundações, secas e deslizamentos, se o atual padrão de uso e ocupação do solo se propagar por todo o Brasil.

Dessa forma, as políticas que sustentam o parcelamento, uso e ocupação do solo e as práticas urbanísticas que viabilizam estas ações têm papel fundamental na definição de metas que conduzam as cidades em direção a um desenvolvimento compatível com a disponibilidade de recursos e características naturais, que incluam o clima.

Conforme amplamente divulgado nos relatórios do IPCC (2007 a, b; 2012), os riscos e sua magnitude dependerão da severidade, frequência, distribuição e agentes deflagradores de eventos relativos ao clima, entretanto, como já evidenciado, a escala e a frequência com que os fenômenos climáticos se reproduzem ainda não foram definidas com precisão. As escalas dos modelos climáticos não são compatíveis com as escalas urbanas e as aproximações ainda não possibilitam precisar o número de eventos extremos futuros.

São necessárias aproximações cada vez mais precisas, com a elaboração de modelos hidrológicos, a realização de medições meteorológicas contínuas, a comparação com séries históricas, entre outras ações. Desse modo, tal conhecimento poderia auxiliar o entendimento sobre a relação entre o agravamento dos problemas causados pelas mudanças climáticas e os padrões de expansão urbana que afetam, por exemplo, a ação de órgãos como a defesa civil, prefeituras, entre outros setores envolvidos.

Até o presente momento, estudos realizados sobre vulnerabilidade urbana têm sido incipientes, logo se faz necessário o aprofundamento sobre o gerenciamento da forma urbana, ou seja, do processo de ocupação e produção dos espaços urbanos e sua eficiência climática, que contemplem o balanço entre as características da paisagem e as demandas locais.

Em essência, as recomendações aqui indicadas são generalizadas e por isso merecem especial atenção as características de cada região. O funcionamento dos sistemas urbanos é distinto e com diferentes níveis de interação com o ambiente e o clima local. Dessa forma, a promoção de estudos locais em escala nacional é crucial para capacitar as instituições públicas e privadas para o desenvolvimento de medidas de enfrentamento dos impactos e perigos das mudanças climáticas no espaço urbano brasileiro.

---

<sup>5</sup> Mudanças climáticas podem, também, ter efeitos indiretos através de outros setores econômicos, por exemplo através da competição por recursos, como terra e água.

## **5.3 SETORES ECONÔMICOS PRIORITÁRIOS**

### **5.3.1 SETOR ENERGIA**

#### **5.3.1.1. INTRODUÇÃO**

Essa Seção busca descrever os possíveis impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre os setores de energia, transportes e indústria, consolidando a literatura existente sobre o assunto nos âmbitos internacional e nacional. Busca-se, também, identificar lacunas no conhecimento sobre os possíveis impactos no país, apontando para áreas relevantes para desenvolvimento de pesquisa adicional.

#### **5.3.1.2. IMPACTOS E VULNERABILIDADES DO SETOR ENERGÉTICO**

O setor energético pode ser afetado de diversas formas pelas mudanças do clima, tanto no que diz respeito à base de recursos energéticos e aos processos de transformação, quanto aos aspectos de transporte e consumo de energia<sup>5</sup>. Um número crescente de estudos de impactos de mudanças climáticas sobre o setor energético vem sendo produzido, e alguns autores já realizaram revisões sobre o assunto – por exemplo: Pryor e Barthelmie (2010) sobre energia eólica; Kopytko and Perkins (2011) sobre energia nuclear; Lucena *et al.* (2009a) sobre energias hidroelétrica e eólica; Mideksa e Kallbekken (2010) sobre o mercado (oferta e demanda) de energia elétrica. Uma revisão regional ampla dos impactos de mudanças climáticas sobre o sistema energético foi, também, feita para os Estados Unidos (CCPS, 2007). Finalmente, uma revisão da literatura sobre o assunto pode ser encontrada em Schaeffer *et al.* (2012).

A descrição dos possíveis impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre o sistema energético brasileiro está organizada nesta Seção segundo a própria cadeia do setor: oferta – considerando tanto os recursos energéticos, quanto sua transformação –, transporte e o uso final de energia.

O primeiro estágio da cadeia diz respeito ao total de energia primária disponível e as tecnologias de conversão em fontes finais. No caso de combustíveis fósseis, recursos referem-se a um estoque cujo acesso pode ser impactado pelas mudanças climáticas. No caso de energias renováveis, os recursos energéticos referem-se a um fluxo que, em geral, está intimamente ligado às condições climáticas. Nesse sentido, espera-se que fontes renováveis sejam mais susceptíveis a mudanças do clima. O segundo e terceiro estágio referem-se, respectivamente, ao transporte de energia ao consumidor final e ao uso energético para atender os diferentes serviços demandados pela sociedade.

#### **5.3.1.3. OFERTA DE ENERGIA**

A distinção aqui feita entre recursos energéticos e oferta de energia baseia-se no fato de que o primeiro refere-se a um uso em potencial, que pode ou não ocorrer. Informações sobre os recursos energéticos de um país/região são fundamentais para o planejamento da expansão do sistema energético. Recursos energéticos referem-se ao estoque de energia fóssil (carvão, petróleo e gás natural) disponível para aproveitamento ou aos fluxos associados às fontes renováveis.

Recursos energéticos precisam ser convertidos em fontes de energia final para que possam ser utilizados para atender às necessidades humanas. Por também serem susceptíveis à variabilidade do clima, tecnologias de transformação de energia podem ser vulneráveis às mudanças climáticas, podendo afetar a capacidade do sistema em suprir energia para consumidores. A seguir, será investigado como diferentes fontes podem ser impactadas por mudanças do clima. Por fim, avalia-se a vulnerabilidade da geração termoelétrica, isoladamente, já que diferentes fontes podem ser usadas para esse propósito.



## Energia Hidroelétrica

O potencial de geração hidroelétrica depende diretamente da disponibilidade de recursos hídricos passíveis de serem explorados<sup>6</sup>, sendo, portanto, afetado diretamente pelo ciclo hidrológico. Uma grande variedade de modelos hidrológicos foram utilizados para avaliar os impactos que cenários climáticos futuros (projetados por *General Circulation Models* – GCM – ou em cenários hipotéticos) poderiam ter sobre os recursos hídricos de diversas regiões do mundo (Dvorak *et al.*, 1997; Boorman e Sefton, 1997; Arnell, 1999 e 2004; Jiang *et al.*, 2007), inclusive para o Brasil (Salati *et al.*, 2007 e 2009). A metodologia normalmente utilizada para avaliar impactos de mudanças climáticas sobre geração hidroelétrica faz uso desses modelos para projetar possíveis variações na hidraulicidade que alimentam aproveitamentos hidroelétricos.

Em localidades onde não há informação técnica/econômica disponível, o uso do potencial hidroelétrico<sup>7</sup> pode fornecer indicativos sobre possíveis tendências para variações no hidroelétrico (Lehner *et al.*, 2005). Contudo, esse indicador não permite avaliar com precisão perdas de potencial de geração hídrica, uma vez que não considera a viabilidade técnica ou econômica de se aproveitar essa energia. Para se analisar impactos de variações na vazão natural afluyente dos rios, onde aproveitamentos hidroelétricos são factíveis, são necessários dados sobre os parâmetros técnico-econômicos das alternativas de geração hidroelétrica. Devido à importância da hidroeletricidade na matriz elétrica brasileira, há dados disponíveis sobre aproveitamentos hidroelétricos em potencial no país, estando a maior parte disponível na região norte do país (EPE, 2007). Portanto, no caso brasileiro, é mais relevante avaliar como diferentes cenários de variação de vazão podem afetar a operação do sistema nacional (atual e/ou projetado).

A quantidade de energia produzida por usinas hidroelétricas depende não somente da capacidade de geração instalada – dada pelo potencial de aproveitamento –, mas também de variações na vazão natural afluyente aos reservatórios dessas usinas. A variabilidade climática natural já tem grande influência sobre a operação de sistemas hidroelétricos, o que pode ser exacerbado por mudanças climáticas. Esses sistemas são construídos e operados com base em registros históricos de padrões climáticos, em especial do comportamento da vazão dos rios. Assim, a quantidade de energia gerada disponível, assim como sua variabilidade, é projetada a partir de um determinado padrão climático que pode num contexto de mudanças do clima, ser alterado. De fato, as mudanças climáticas globais podem somar incerteza à já incerta operação de sistemas hidroelétricos. Isso pode afetar não somente a operação do parque de geração existente, mas também comprometer a viabilidade econômica de novos empreendimentos.

A abordagem metodológica para analisar impactos de mudanças climáticas sobre geração hidroelétrica faz uso de projeções de vazão sob novas condições climáticas em modelos de despacho hidroelétrico (por exemplo, Hamlet *et al.*, 2010 e Lucena *et al.*, 2009b). Alguns estudos vão além, ao incluir avaliações econômico/financeiras (por exemplo, Harrison e Whittington, 2002 e Vicuña *et al.*, 2006)<sup>8</sup>. A modelagem utilizada para analisar os impactos de mudanças climáticas depende, em última instância, da complexidade do sistema hidroelétrico estudado. Dois fatores são relevantes nesse sentido. Primeiro, diz respeito a qual a importância relativa do setor hidrelétrico para a matriz de geração do país/região. Se a hidroeletricidade complementa outras fontes de geração, mudanças na energia média gerada pelo sistema pode ser uma medida razoável para avaliar os impactos de mudanças climáticas. Por outro lado, sistemas de geração predominantemente baseados em energia hidroelétrica devem ser avaliados segundo uma medida mais conservadora, como, por exemplo, energia firme<sup>9</sup>, para minimizar o risco de racionamentos.

---

<sup>6</sup> Podendo ser definido como potencial técnico, econômico ou de mercado.

<sup>7</sup> Definido como o total de energia que estaria disponível anualmente caso toda vazão em todas localidades pudesse ser aproveitada sem perdas (Lehner *et al.*, 2005), o que é diretamente calculado a partir de dados de disponibilidade hídrica e elevação.

O segundo fator relevante está relacionado à dispersão geográfica e o nível de integração do sistema via transmissão. A transmissão de energia pode ter papel importante no aproveitamento de diferenças climáticas regionais quando há regimes sazonais distintos ou até mesmo complementares. Isso requer que a modelagem seja feita de maneira integrada, uma vez que impactos regionais negativos podem ser atenuados por eventuais acréscimos na geração em outras localidades.

O caso brasileiro é bastante particular, pois engloba as duas questões apresentadas acima. Em 2009, a hidroeletricidade correspondeu a cerca de 82% da geração elétrica no país (MME, 2010). Ademais, sazonalidades hídricas complementares ajudam a otimizar a quantidade de energia gerada pelo sistema. Nesse caso, assim como a geração em várias hidroelétricas em cascata ao longo de um mesmo rio não pode ser analisada por usina, individualmente, a integração regional em países como o Brasil faz com que a análise de impactos deva ser feita considerando, na operação, a racionalidade de um operador central.

As características individuais das usinas também influenciam a vulnerabilidade do sistema hidroelétrico às mudanças climáticas. Em especial, é importante a capacidade de acumulação dos reservatórios das usinas, que permite ao sistema regularizar a produção de energia frente a variações na vazão afluente. Usinas a fio d'água oferecem pouca flexibilidade operativa e são, portanto, mais susceptíveis a impactos de mudanças climáticas. Reservatórios de acumulação podem regularizar variações sazonais ou até mesmo anuais de vazão, ajudando a prevenir eventuais impactos climáticos. Embora o sistema brasileiro instalado atualmente conte com hidroelétricas com reservatórios de grande porte, espera-se que a expansão do sistema se dê fundamentalmente por usinas a fio d'água devido a uma crescente preocupação com impactos ambientais locais<sup>10</sup>.

Para o Brasil, alguns estudos buscaram avaliar o impacto de determinados cenários climáticos sobre a geração hidroelétrica nas usinas do Sistema Interligado Nacional (SIN), como sumariza a Tabela 5.3.1. No curto-médio prazo (até 2040), Lucena *et al.* (2010c) apontam que o impacto sobre a geração de energia elétrica no Brasil não seria negativo, segundo os cenários climáticos analisados. Entretanto, outros estudos (Lucena *et al.*, 2009b; Schaeffer *et al.*, 2010) para o setor com cenários climáticos diferentes indicam impactos negativos em prazos mais longos (2070-2100). Assim sendo, é importante que a análise destes resultados seja feita com prudência, tendo em vista que são estudos com diferentes metodologias, cenários climáticos e horizontes de tempo. Tal comparação de resultados reforça a necessidade de aprofundamento de estudos sobre o impacto do clima futuro no setor energético. Diferentemente de projeções, cenários representam possibilidades de futuro plausíveis, construídas a partir de premissas a respeito do comportamento de variáveis chave. Assim, cenários indicam caminhos possíveis, na tentativa de reduzir incerteza ao cobrir grande leque de possibilidades e diminuir a chance de surpresas indesejáveis.

De fato, por utilizarem dados do modelo do Hadley Centre, os resultados dos estudos apresentados na Tabela 5.3.1 representam projeções pessimistas, visto que esse modelo projeta temperaturas mais quentes e uma menor disponibilidade hídrica quando comparado a outros GCMs (Marengo, 2007).

---

<sup>8</sup> Tais estudos, no entanto, apresentam um conjunto adicional de incertezas relacionadas ao comportamento de longo prazo de parâmetros econômicos (como custos, taxas de desconto e preço da energia).

<sup>9</sup> Energia firme pode ser definida como a quantidade máxima de energia que o sistema de geração hidroelétrico pode garantir o tempo todo, sendo igual à energia gerada nas piores condições hidrológicas já ocorridas.

<sup>10</sup> Cabe destacar que a maior parte do potencial hidroelétrico remanescente do Brasil encontra-se na região Amazônica.

**Tabela 5.3.1.** Resultados dos Estudos sobre Impactos de Mudanças Climáticas sobre Geração Hidro-elétrica

	<b>Lucena et al. (2010c)</b>	<b>Lucena et al. (2009)</b>	<b>Schaeffer et al. (2010)</b>
Cenários Emissão	A1b	A2 e B2	A2 e B2
GCM	HadCM3	HadAM3P	HadAM3P
Downscaling	ETA	PRECIS	PRECIS
Horizonte	2011-2040	2071-2100	2025-2100*
Modelagem Hidrológica	Balanço Hídrico	Estatístico	Balanço Hídrico/Estatístico
Modelagem Energética	MSUI	SUISHI-O	SUISHI-O
Resultados	Energia Média (+12 a 16%);	Energia Média (+12 a 16%);	Energia Média (- 1 a 3%);
	Energia Firme (+14 a 20%);	Impactos Negativos	Energia Firme (-29 a 32%);
	Impactos Negativos Regionais	Regionais (N/NE)	Impactos Negativos
	(At. Leste e Parnaíba)		Regionais (N/NE)

\*: Período 2025-2070 feito por interpolação pelo CPTEC/INPE.

Fonte: Lucena et al. (2010c)

### Energia da Biomassa

O potencial para produzir energia da biomassa, em especial biocombustíveis líquidos, também pode ser afetado pelas mudanças climáticas. Alterações em variáveis climáticas, como temperatura e precipitação, têm efeitos sobre as condições edafoclimáticas das culturas agrícolas voltadas para a produção de etanol e biodiesel. Isso, por sua vez, pode influenciar a produtividade agrícola, sua distribuição regional, a incidência de pestes e, até mesmo, a disponibilidade de terras propícias às culturas energéticas. Conforme descrito por Siqueira et al., (2001), as mudanças climáticas podem afetar a agricultura das seguintes formas:

- Aumentos de temperatura podem modificar as condições do solo, refletindo na sua fertilidade e produtividade. Isso pode, até certo ponto, ser compensado por uma maior atividade fotossintética;
- Concentrações mais altas de CO<sub>2</sub> podem ter impactos positivos sobre culturas agrícolas mais sensíveis, aumentando a fotossíntese;
- Cada planta possui um espectro de temperatura propício para seu crescimento. Aumentos de temperatura podem causar modificações na distribuição regional agrícola;
- A atividade agrícola pode, também, ser afetada por alterações no regime hídrico. Isso inclui não somente variações em precipitação, mas também maiores taxas de evapotranspiração induzidas por temperaturas mais altas;
- Temperaturas mais elevadas afetam o metabolismo de insetos, acelerando sua reprodução, aumentando, assim, a probabilidade de incidência de pestes;
- Eventos climáticos extremos, como secas, enchentes e geadas, também podem afetar culturas agrícolas.

Ainda, segundo Brodrigg et al., (2009) e Betts et al., (2007), a relação entre aumento de temperatura e evapotranspiração é alterada pelo aumento no CO<sub>2</sub>. Num ambiente com maior concentração de CO<sub>2</sub> as plantas se tornam mais eficientes no uso da água durante a evapotranspiração.

Os estudos que investigaram os efeitos de mudanças climáticas sobre culturas energéticas focam em cana-de-açúcar e algumas oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel<sup>11</sup>. Em termos de potencial de produção, os impactos de mudanças climáticas se dariam através de alterações na disponibilidade de terras propícias ao cultivo dessas plantas.

Para o Brasil, Lucena *et al.*, (2009b) avaliaram a disponibilidade de terras para o cultivo de cana-de-açúcar (para produção de etanol) e quatro oleaginosas (girassol, dendê, mamona e soja, para a produção de biodiesel) frente a cenários de mudanças climática produzidos pelo CPTEC/INPE. Os impactos foram projetados com base em alterações de temperatura, sem considerar efeitos de outras variáveis climáticas. Utilizando os mesmos cenários, Pinto e Assad (2008) realizaram um estudo mais completo para diversas culturas, incluindo também os efeitos de mudança no regime de precipitação e uma maior resolução geográfica. No que tange às culturas energéticas, ambos os estudos alcançaram resultados similares, que apontam para: nenhum impacto agregado para cana-de-açúcar, embora com algumas mudanças na distribuição regional dessa cultura; e impactos sobre oleaginosas que, embora variem de acordo com cada cultura, apontam para uma queda na quantidade de terras propícias ao cultivo energético, com impacto especialmente negativo na região nordeste.

Não somente as mudanças climáticas podem restringir a disponibilidade de terras propícias ao cultivo de culturas energéticas, como também afetar a produtividade dessas culturas nas regiões que permanecem como produtoras. Os impactos sobre produtividade advêm de alterações climáticas (como aumentos de temperatura, variações de precipitação e frequência de eventos extremos como secas e geadas) assim como em mudanças na concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>.

### **Energia Eólica**

A disponibilidade e nível de confiança nas informações sobre dados e produção de energia eólica mantém forte dependência com fatores meteorológicos e climáticos, já que essa energia renovável é oriunda do vento. O vento é gerado por gradientes de pressão atmosférica que, por sua vez, são gerados pelo aquecimento diferencial da Terra em combinação com sua rotação. Efeitos de segunda ordem, mas não menos importantes, tais como a orografia, rugosidade e uso do solo, obstáculos, fenômenos de mesoescala provocam distorções nos campos de vento planetários. O principal mecanismo de impacto das mudanças climáticas globais sobre os regimes de vento e, por conseguinte, nos potenciais de geração eólica são aqueles que provocam mudanças na distribuição do escoamento dos ventos em altos e baixos níveis. Por exemplo, estudos realizados por Valverde e Marengo (2010) com base no modelo do Hadley Centre suscitam a possibilidade de um deslocamento do sistema de baixa continental (associado à baixa do Chaco) para o sudoeste da sua posição climatológica (1961-1990), e da Alta da Bolívia para o nordeste para o final do século, o que poderá deslocar a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) mais para o norte do continente sulamericano. Novamente, deve-se ressaltar a necessidade de verificar os resultados baseados em outros modelos climáticos. Parece também haver consenso no enfraquecimento da Alta do Atlântico Sul. Anomalias nas temperaturas dos oceanos têm forte influência na circulação de ar sobre os oceanos Atlântico e Pacífico. O aquecimento global pode levar a mudanças nos padrões de variabilidade de grande escala oceânica e atmosférica. Por exemplo, as projeções de diversos modelos indicam eventos *El Niño*-Oscilação Sul (*ENSO*) mais intensos e há evidências observacionais que suportam essa projeção (Boer *et al.*, 2004, Nobre *et al.*, 2007). O *ENSO* está associado com algumas das mais pronunciadas variabilidades interanuais dos padrões climáticos em muitas partes do mundo.

A velocidade do vento varia fortemente com a altura. Projetos de exploração da energia eólica levam esse efeito em consideração realizando estudos para estimativas da velocidade do vento à altura das turbinas projetadas para o projeto do parque eólico. Contudo, como a velocidade do vento mantém forte dependência com a rugosidade e obstáculos do terreno, mudanças na ocupação do solo podem

---

<sup>11</sup> Alguns estudos também investigaram efeitos sobre o milho, que é utilizado também para a produção de etanol, por exemplo, nos Estados Unidos (CCPS, 2007).

causar impactos importantes na geração eólica. As alterações climáticas podem ter impactos sobre a cobertura vegetal (Nobre *et al.*, 2007) e, portanto, afetam a avaliação do impacto de vento de potencial de geração de energia.

Vários estudos tem sido publicados sobre os impactos das mudanças climáticas globais sobre os recursos de energia eólica empregando tanto dados de modelos de circulação geral (GCM's) como dados de séries históricas em estações meteorológicas de coleta de dados. Contudo os resultados ainda contêm elevados níveis de incerteza e são, muitas vezes, inconsistentes (Breslow e Sailor, 2002; Thomas *et al.*, 2008; Eichelberg *et al.*, 2008; McVicar *et al.*, 2008; Pryor *et al.*, 2009; Atkinson *et al.*, 2006; Thomas *et al.*, 2009; Brázdil *et al.*, 2009).

Estudos de tendências realizados para o Brasil foram publicados por Lucena *et al.* (2010a) e indicam que o potencial eólico no Brasil será beneficiados pelas mudanças climáticas esperadas do próximo século devido a uma tendência de ventos crescentes para a maior parte do território. O estudo foi resultado da análise das saídas do modelo GCC HadCM3, do Hadley Centre for Climate Prediction and Research, na Inglaterra. As saídas do modelo empregou os cenários A2 e B2 descritos no relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2000). Pesquisas mais recentes ainda em andamento no INPE empregando um conjunto de 19 estações meteorológicas localizadas nas regiões do sul e do nordeste brasileiro, selecionadas através de controle de qualidade e com dados de séries históricas superiores a 30 anos, revelaram tendências variadas conduzindo a resultados inconclusivos empregando a metodologia estatística não-paramétrica de estudos de tendências em séries temporais de dados descrita por Kendall e Edgeworth (1968). Algumas séries apresentaram tendências positivas, outras negativas e outras resultados estatisticamente não significativos. Isso foi atribuído a problemas com a qualidade dos dados disponíveis e com a inexistência de registros de campo contendo o histórico de calibração, substituição de sensores e alterações de localização da estação e do uso do solo no entorno. O mesmo estudo empregou saídas de modelo HadCM3 regionalizados pelo modelo de mesoescala Eta para três períodos futuros (2010-2040; 2041-2070 e 2071-2100) considerando o cenário A1B de alteração do clima definido pelo IPCC em razão do aumento da concentração de gases do efeito estufa. Os resultados foram referenciados as rodados do mesmo modelo regionalizado para um período de referência entre 1961 a 1990. Os resultados revelaram tendências de crescimento da densidade de potência eólica em quase todo o território brasileiro, principalmente na região norte-nordeste. A média anual da densidade de potencia eólica foi de até 10% em relação ao período de referência para quase toda a região Sul. As variações na densidade de potência para todos os estados do nordeste se mostraram bem superiores, mostrando aumentos de mais de 40% para a região que compreende os estados do Pará, Tocantins, Piauí e Maranhão<sup>12</sup> (Pereira *et al.*, 2013).

O estudo de confiabilidade e validação dos prognósticos foi realizado no INPE (ainda não publicado) através do emprego de redes neurais artificiais. O treinamento de redes neurais foi feito para ajustar as estimativas fornecidas pelos modelos Eta-HadCM3 para o período de referência 1961-1990, minimizando o erro sistemático observado nos valores dos desvios mean bias Error (MBE). O preditores utilizados foram os valores de vento e outras variáveis meteorológicas fornecidas pelos modelos Eta/HadCM3. As medidas de séries históricas de vento em um conjunto de 19 estações de coleta selecionadas através de critérios de controle de qualidade dos dados foram utilizadas para treinamento e validação das redes neurais. As redes neurais desenvolvidas foram então aplicadas às estimativas produzidas pelos modelos Eta/HadCM3 para os três períodos futuros produziram novos prognósticos corrigidos e com maiores níveis de confiabilidade. Os prognósticos corrigidos para as estações selecio-

---

<sup>12</sup> É importante destacar que esses resultados são limitados pela resolução do modelo de downscaling ETA que é insuficiente para identificar precisamente o potencial eólico por não resolver a topografia com o detalhamento necessário.

nadas continuaram apresentando tendências ao crescimento dos potenciais eólicos nas duas regiões, porém mostraram aumentos bem mais modestos com até 63% das estações com tendências positivas ao redor de 1-2% mas chegando em alguns casos raros a 35%.

Muito embora tanto o potencial eólico (assim como o solar, investigado a seguir) quando comparados ao hídrico sejam vulneráveis aos impactos negativos das mudanças climáticas, estes sistemas possuem um ciclo de vida mais curto, o que garante maior capacidade de adaptação às mudanças a longo prazo. A decisão de construir uma usina hidrelétrica envolve não somente recursos financeiros e ambientais elevados como também constitui implica em uma enorme estrutura permanente com ciclo de vida e econômico muito longos.

## Energia Solar

As alterações climáticas podem afetar os recursos de energia solar, alterando o conteúdo de vapor d'água atmosférico, a nebulosidade, a carga de aerossóis na atmosfera e até mesmo as características das nuvens. Tudo isso afeta transmissividade da radiação solar na atmosfera (Martins e Pereira, 2006; Cutforth e Judiesh, 2007; Martins *et al.*, 2008), e pode ter efeitos sobre a produção de eletricidade a partir de energia fotovoltaica e energia solar concentrada (CSP). Os das mudanças climáticas globais sobre essas variáveis e, conseqüentemente sobre os recursos de energia solar. Impactos positivos levando ao aumento da radiação solar em algumas situações como, por exemplo, se relatou um aumento na radiação solar de 5,8% no Sudeste da Europa (Bartók, 2010) e os impactos negativos em termos de diminuição da radiação solar, por exemplo, uma tendência de decréscimo na radiação solar incidente em algumas regiões do Brasil (Pereira *et al.*, 2006).

Estudos realizados por Ohmura e Lang (1989), Russak (1990), Wild *et al.* (2007), Ye *et al.* (2009), entre outros, mostraram com base em séries históricas selecionadas de dados de irradiação medidos em superfície um tendência ao declínio da irradiação solar incidente nas últimas décadas em várias regiões do hemisfério norte. Já Pinker *et al.*, (2005) através de estudos realizados por satélite geoestacionário revelou a continuidade da tendência negativa sobre os continentes mas uma ligeira tendência inversa sobre os oceanos. No entanto, Gilgen *et al.* (2009) demonstram que a partir de dos anos 1980 parece estar ocorrendo um recuperação dessa tendência negativa em algumas regiões enquanto as tendências negativas ainda persistem na costa da Europa, nordeste da China, partes da Índia e África.

Andreae *et al.* (2005) consideram que se a tendência à diminuição da radiação solar incidente for global e persistente teria o poder de atenuar o efeito do aquecimento global e, portanto aumentar as incertezas nos cenários futuros gerados pelos prognósticos dos modelos GCM.

No Brasil, estudos realizados por Pereira *et al.* (2006) com base em uma série de 12 anos de dados de satélite, indicam uma tendência ao decréscimo dos níveis de irradiação solar incidente entre 1% a 2,5% ao ano para todas as regiões do Brasil com exceção da região sul onde os resultados não mostraram significância estatística. Veissid e Pereira (2000) e Veissid (2002) utilizou dados do experimento célula solar do satélite brasileiro SCD-II e revelou tendências tanto ao crescimento como decréscimo dos níveis de irradiação incidente sobre parte do território brasileiro. No entanto o curto intervalo de tempo analisado não permitiu obter resultados climatologicamente significativos.

Sistemas de geração fotovoltaica (PV) normalmente têm seus fatores de capacidade reduzidos com a temperatura crescente (Emery *et al.*, 1996). Assim, um aumento na temperatura média global terá impactos negativos na produção PV. No entanto, essa dependência depende, dentre outros fatores, da composição da célula PV e a tecnologia tem evoluído muito nessa área. Por outro lado, efeitos tais como aumento da nebulosidade e da carga de aerossóis na atmosfera terão efeitos negativos na produção PV. Em particular, no caso da energia solar concentrada (CSP), o efeito dos aerossóis é preponderante já que afetam os níveis de radiação direta normal.

A capacidade nacional de geração anual de energia solar é gigantesca, cerca de 220 GWh por metro quadrado para a geração fotovoltaica, mas ainda totalmente inexplorada (Pereira *et al.*, 2006). O emprego de sistemas de geração elétrica fotovoltaica interligada nas áreas urbanas e de sistemas híbridos PV em áreas remotas através de mini-redes pode trazer benefícios para o meio ambiente e para o sistema elétrico nacional. A principal vantagem técnica é a possibilidade da geração local de energia limpa e renovável diretamente para os consumidores, principalmente em edifícios ou em zonas urbanas.

### **Petróleo e Gás**

Embora as mudanças do clima não alterem diretamente a quantidade de recursos de óleo e gás existentes, elas podem afetar nosso conhecimento acerca de sua existência, assim como o acesso a esses recursos. Em outras palavras, embora os recursos de óleo e gás não sejam afetados, suas reservas podem ser, na medida em que se pode alterar a viabilidade técnica e econômica de sua exploração.

Um exemplo de impactos são os custos crescentes para proteger estruturas de produção *offshore* de eventos climáticos extremos. A infraestrutura de produção de petróleo e gás *offshore*, assim como instalações costeiras, pode ser afetada por eventos climáticos extremos (como furacões, assim como enchentes e erosão causadas pelo aumento do nível do mar), que podem levar à necessidade de desligamentos para evitar danos ao meio ambiente e aos trabalhadores. Os furacões no Golfo do México em 2004 e 2005, por exemplo, resultaram em um grande número de estruturas *offshore* danificadas ou destruídas: mais de 115 plataformas foram destruídas e outras 52 extensamente danificadas (MMS, 2006). Segundo o IPCC (2007), eventos climáticos extremos podem se tornar mais frequentes e intensos, afetando a infraestrutura de petróleo e gás.

O refino de petróleo, por ser uma atividade intensiva no consumo de água, pode também ser afetado por eventuais reduções na disponibilidade hídrica causadas pelas mudanças climáticas. Ademais, a demanda por água em refinarias pode aumentar em função de temperaturas mais altas, uma vez que a maior parte da demanda de água de uma refinaria é para resfriamento (cerca de 50% - Szklo, 2005). Algumas refinarias nacionais já enfrentam problemas de competição por recursos hídricos, como, por exemplo, a REPLAN, maior refinaria do país. Mudanças climáticas podem, portanto, agir como um elemento adicional de restrição.

### **Geração Termoelétrica (óleo, gás natural, carvão e nuclear)**

Mudanças climáticas globais podem causar impactos sobre a geração termoelétrica ao afetar a eficiência termodinâmica e a demanda por água de resfriamento das usinas térmicas (Arrieta e Lora, 2005; CCPS, 2007). Os impactos derivam dos requerimentos de aquecimento e resfriamento dos ciclos Rankine e Brayton, que variam de acordo com condições ambientais, como temperatura, pressão e umidade, além de temperatura e disponibilidade de água para resfriamento. Todos os ciclos térmicos utilizam o ambiente como fonte fria, dependendo geralmente de água para resfriamento no caso dos ciclos a vapor (Rankine e ciclos combinados). Desse modo variações na temperatura ambiente e na disponibilidade hídrica são relevantes sobre seu desempenho. No caso dos ciclos a gás (Brayton) o efeito da temperatura ambiente é sensível sobre a densidade do ar utilizado, afetando tanto o rendimento térmico como a potência das unidades. Entre as tecnologias afetadas estão a geração a partir do carvão mineral, gás natural, energia nuclear e de resíduos sólidos urbanos e de biomassa.

Os efeitos de variações em temperatura ambiente em plantas a carvão mineral e termonucleares são similares, visto que ambas operam sob o ciclo Rankine. Embora esses efeitos possam ser relativamente pequenos, em regiões onde há uma alta dependência nessas fontes pode-se experimentar impactos significativos. Isso, entretanto, não é o caso do Brasil.

Plantas a gás natural operando através do ciclo Brayton (plantas operando em ciclo aberto ou ciclo combinado) podem ter sua eficiência e potência máximas afetadas por variações em temperatura e umidade ambiente (Tolmasquim *et al.*, 2003). Aumentos de temperatura elevam o volume específico de ar, aumentando o consumo de energia do compressor e reduzindo a quantidade de energia gerada pela turbina. Isso pode levar tanto a perdas de geração quanto a aumentos no consumo de combustíveis (Schaeffer *et al.*, 2008). Uma análise de possíveis impactos sobre a geração termoelétrica a gás natural no Brasil sob os cenários climáticos A2 e B2 do IPCC (2000) foi conduzida por Schaeffer *et al.* (2008). Seus resultados indicam que o requerimento extra de energia gerado por temperaturas mais altas não ultrapassaria 2%. Frente à pequena participação dessa fonte na matriz energética do país, isso não acarretaria em grandes impactos para o setor energético.

Usinas termoelétricas requerem uma grande quantidade de água para resfriamento (Feeley *et al.*, 2008), o que as pode tornar vulneráveis em cenários de redução de disponibilidade hídrica (Koch e Vögele, 2009). De acordo com Bull *et al.* (2007), cada kWh de eletricidade gerado por ciclos a vapor usa cerca de 90-100 litros de água. Caso as mudanças climáticas acarretem em reduções na disponibilidade hídrica, esse tipo de geração elétrica pode passar a ter um papel relevante na competição pelo uso da água.

#### **5.3.1.4. TRANSMISSÃO, TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

A infraestrutura de transporte e transferência de energia pode se estender por milhares de quilômetros, podendo ser, portanto, exposta a uma série de eventos climáticos extremos. Fenômenos que podem afetar linhas de transmissão e distribuição incluem ventos extremos, furacões, raios e alagamentos. Gasodutos e oleodutos podem ser afetados por deslizamentos, enchentes, entre outros eventos climáticos extremos.

#### **5.3.1.5. DEMANDA DE ENERGIA**

Os impactos de mudanças climáticas não são restritos à oferta de energia. O uso de energia pode também ser influenciado por variações em temperatura e precipitação. Dentre os estudos que buscaram avaliar os impactos das mudanças do clima sobre a produção e consumo de energia, grande parte concentra-se na projeção dos impactos sobre a demanda. Especificamente, tais estudos buscam avaliar os efeitos de mudanças de temperatura decorrentes das GCM - *General Circulation Models* sobre o uso de energia para aquecimento ou resfriamento de ambientes.

De forma geral, projeções climáticas são usadas como fatores determinantes no uso de energia em modelos de uso final ou econométricos. O efeito de variações de temperatura é geralmente medido através do uso de graus-dias (*degree-days*), definidos como a soma de dias cuja temperatura excede uma temperatura limite para o acionamento dos aparelhos de condicionamento de ar para um dado período de tempo. Projeções de aumento no uso de aparelhos de condicionamento ambiental através do conceito e graus-dias, entretanto, podem ser bastante limitadas (Guan, 2009). Esse método somente é apropriado em casos onde a eficiência do equipamento, assim como a taxa de utilização das edificações, permanece constante. De fato, impactos de temperatura não estão restritos a esse efeito. Como a energia útil é proporcional à variação em temperatura, mantendo-se o coeficiente de performance (COP<sup>13</sup>) do aparelho constante, aumentos em temperatura elevariam o tempo de trabalho dos aparelhos (compressores) para alcançar uma determinada temperatura ambiente. Isso elevaria o consumo de energia do aparelho.

---

<sup>13</sup> Que representa a relação entre a energia útil produzida e a energia final consumida em aparelhos elétricos, como compressores de ar condicionados.



Schaeffer *et al.* (2008) fizeram uma análise do aumento no uso de ar condicionado nos setores residencial e de serviços brasileiro com base na combinação do efeito graus-dias com o aumento no consumo dos aparelhos em função de temperaturas mais altas a partir de um modelo de uso final. Considerando o cenário com temperaturas mais altas, o aumento do consumo de energia elétrica do setor residencial ficaria em torno de 9%, e no setor serviços, de 19% em 2030.

O consumo de energia no setor de transportes também pode ser influenciado por mudanças climáticas. De acordo com Parker (2005 *apud* Scott e Huang, 2007), o uso de ar condicionado reduz a eficiência de veículos em aproximadamente 12% em velocidades de auto-estrada. Estudos que investigam os efeitos do clima sobre o consumo de energia no setor de transportes, entretanto, geralmente não têm foco em mudanças climáticas, como é o caso, por exemplo, de Roujol e Joumard (2009), que acharam uma relação positiva entre temperatura ambiente e consumo de combustível em veículos.

A demanda de energia no setor industrial não é particularmente sensível a mudanças do clima (Scott e Huang, 2007), pois o diferencial de temperatura necessário em processos industriais é muito superior às variações em temperatura ambiente. Porém, alguns processos industriais, como processamento e armazenamento de alimentos, trabalham com diferenciais de temperatura relativamente baixos e são, portanto, mais vulneráveis à temperatura ambiente.

Finalmente, mudanças climáticas podem afetar a demanda por eletricidade através de uma maior demanda por água, seja no setor industrial (para uso direto e/ou refrigeração) ou na agricultura (para irrigação). Uma maior demanda por água nesses casos implicaria em uma maior demanda de eletricidade para bombeamento de água.

### **5.3.1.6. ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS SOBRE O SETOR ENERGÉTICO**

As mudanças climáticas incorrem em custos (ou benefícios) que são difíceis de serem medidos/quantificados. Esses custos incluem não somente o dano direto causado pelos impactos das alterações no clima, mas também custos de adaptação às novas condições climáticas, ou seja, os custos dos esforços para se atenuar ou evitar os impactos das mudanças climáticas (Kundzewicz *et al.*, 2007). A identificação das vulnerabilidades do setor energético às mudanças climáticas é essencial para a formulação de políticas de adaptação, ao mesmo tempo em que a preocupação com impactos pode afetar a percepção e avaliação das alternativas tecnológicas e a formulação de políticas energéticas em um país (Wilbanks *et al.*, 2007).

Medidas de adaptação diretamente voltadas para impactos de mudanças climáticas – como diques contra aumento no nível do mar, reforço de estruturas contra tempestades e furacões, investimento em capacidade de geração elétrica complementar, etc. – em geral implicam em projetar impactos e comparar os custos destes com os custos de eventuais medidas de adaptação. Porém, estimativas abrangentes dos custos e benefícios da adaptação são, até o momento, escassas e a literatura a esse respeito ainda é bastante limitada e fragmentada em termos setoriais e regionais<sup>14</sup> (Adger *et al.*, 2007).

---

<sup>14</sup> Existem alguns estudos a respeito dos custos e benefícios da adaptação, focando, principalmente, em aumento do nível do mar (e.g., Fankhauser, 1995; Yohe e Schlesinger, 1998; Nicholls e Tol, 2006) e agricultura (e.g., Rosenzweig e Parry, 1994; Adams *et al.*, 2003; Reilly *et al.*, 2003).

Poucos estudos de adaptação focam no setor energético. Na verdade, grande parte das sugestões de adaptação para o setor energético vem como apêndices a estudos que focam nos impactos das mudanças climáticas sobre o setor. Além de escassa, a literatura sobre medidas de adaptação para o setor energético se restringe a discussões praticamente qualitativas, faltando uma abordagem mais sistemática e carecendo de um desenvolvimento de metodologias para análise de opções de adaptação.

Um exemplo de estudo sistemático das opções de adaptação aos impactos de mudanças climáticas sobre o setor energético brasileiro foi conduzido por Lucena et al. (2010b). Esse estudo fez uso de instrumentos de planejamento energético integrado para modelar as opções de menor custo para adaptar o sistema energético brasileiro a eventuais impactos negativos sobre geração hidroelétrica, térmica, além de aumentos na demanda de eletricidade nos setores residencial e de serviços.

### 5.3.1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se, ao longo desta Seção, identificar as diversas formas através das quais as mudanças climáticas podem ter efeitos sobre sistemas energéticos, levantando a literatura internacional sobre o assunto e indicando os principais segmentos relevantes para o país. Devido à grande concentração em determinadas fontes de energia, alguns segmentos do setor energético (como hidroeletricidade e biomassa) devem ser melhor investigados para aprofundar a base de informações para tomada de decisões de política energética. No que tange à expansão do sistema, opções renováveis vulneráveis às mudanças do clima, como a energia eólica, também devem ser investigadas para que o país possa estar mais apto a conciliar os interesses de redução de emissão de gases de efeito estufa com segurança energética.

O planejamento da operação e expansão do sistema energético baseia-se em tomada de decisões sob incertezas, onde variabilidade climática é um elemento entre vários<sup>15</sup>. Assim, no planejamento energético é utilizada uma série de modelos em que incorpora-se a incerteza climática, entre outras. Contudo, assume-se, no planejamento energético convencional, que as variáveis climáticas são estacionárias, o que pode não ser o caso devido às mudanças climáticas. Analisar as vulnerabilidades do setor energético e incorporá-las ao planejamento da expansão e operação do sistema é, portanto, fundamental para garantir a segurança energética e lidar com os requerimentos para combater as mudanças climáticas. Só recentemente a comunidade científica internacional percebeu a necessidade de se investigar os impactos que as mudanças climáticas podem ter sobre a produção, transporte e consumo de energia. Dessa forma, a base de conhecimento formal sobre o assunto é ainda muito limitada (Willbanks et al., 2007).

Portanto, o desenvolvimento de metodologias para a avaliação de impactos sobre os diversos segmentos do setor energético deve ser incentivado. Isso inclui, também, o uso de uma gama maior de cenários climáticos futuros para que se possa ter maior embasamento na condução de políticas energéticas voltadas para garantir a segurança energética frente às mudanças do clima. Finalmente, deve-se desenvolver, também, a análise dos impactos de eventos climáticos extremos sobre setores de energia, assunto que ainda não foi tratado de maneira formal na literatura científica internacional.

---

<sup>15</sup> Outros elementos de incerteza estão relacionados à disponibilidade de recursos, demanda futura, parâmetros técnico-econômicos de tecnologias de extração, transporte e conversão de energia, etc

## 5.3.2. SETOR INDÚSTRIA

### 5.3.2.1. INTRODUÇÃO

As atividades industriais, basicamente, são realizadas a partir de uma cadeia integrada que articula a exploração de recursos naturais (ex. extração de minério, madeira, utilização de recursos hídricos, etc.) com meios de produção (tecnologia e mão de obra) e o sistema de transporte para escoamento da produção (ex. rodovias, ferrovias, portos, e aeroportos). Cada etapa desse processo tem enormes impactos sociais, econômicos, ambientais e climáticos, que precisam ser analisados de maneira sistêmica.

Segundo relatório da CETESB (2010), a qualidade do ar, por exemplo, é significativamente *“influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial”* que afetam diretamente o clima. *“As emissões veiculares desempenham um papel de destaque no grau de poluição do ar dos grandes centros urbanos, ao passo que as emissões industriais afetam significativamente a qualidade do ar em regiões mais específicas”*

Obviamente, que as características regionais (ex. topográficas, meteorológicas, hídricas, etc.) exercem papel fundamental nas características climáticas, variando de modo significativo em diferentes regiões brasileiras. Outro aspecto importante se refere à atuação de fenômenos de escala global como *El Niño* e *La Niña*, que em 2010 influenciaram as condições meteorológicas, principalmente na região sudeste do país, provocando ocorrências de precipitações acima da média nos primeiros meses do ano e, entre os meses de julho a setembro, períodos de estiagem, com baixos índices de umidade relativa (em torno de 20% ou inferiores) e dias com altas concentrações de partículas inaláveis (MP10) e de ozônio (O<sub>3</sub>), principalmente no Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Ainda de acordo com a CETESB (2010), em polos petroquímicos como de Cubatão, por exemplo, *“a qualidade do ar é determinada por fontes industriais de poluição, caracterizando um problema totalmente diferente dos grandes centros urbanos (fato confirmado pelos baixos níveis de poluentes veiculares, como o monóxido de carbono)”*. Os poluentes comumente monitorados em regiões industriais se referem a material particulado, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), ozônio (fonte indireta), partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e inaláveis finas, fumaça, entre outros. Particularmente, as emissões de SO<sub>2</sub> estão relacionadas a teores de sulfatos (subprodutos associados), bem como os fluoretos (sólidos e gasosos) que podem causar danos irreversíveis a vegetação.

*“O ozônio, por seu caráter altamente oxidante, é capaz de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica de espécies vegetais (plantas), podendo afetar inclusive a produção agrícola de forma relativamente discreta, mas economicamente significativa”* (CETESB, 2010).

Devido a sua extensão, o Brasil apresenta características regionais, econômicas e vocações industriais bem distintas, que demandam diferentes formas de monitoramento e controle das fontes de poluição e degradação ambiental. É necessário analisar as interfaces-chaves, como a relação entre uso da terra e processo produtivo. De acordo com o Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético (2010), o desmatamento é a maior fonte de emissões do Brasil. O desmatamento nas regiões da Amazônia e do Cerrado é atribuído à expansão agrícola e a pecuária que, por sua vez, estão atreladas à agroindústria. Entretanto, este fato representa apenas a *“ponta do iceberg”*, uma vez que outros setores industriais estão relacionados ao desmatamento, como mineração, exploração de madeira, carvão, petróleo e gás.

Ainda segundo este relatório, *“a terra alocada para usos produtivos aumenta 7% — passando de 257 para 276 milhões de hectares de 2008 a 2030 — com um quarto desse crescimento ocorrendo na Região Amazônica. Em 2030, como em 2008, as terras de pastagem devem ocupar boa parte dessa*

área (aumentando de 205 para 207 milhões de hectares). A vegetação nativa é convertida para uso produtivo principalmente nas regiões fronteiriças, como Região Amazônica os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, visando acomodar esse crescimento.”

Mas, os problemas relacionados ao setor industrial não se referem apenas às emissões de carbono, estes se tornam cada vez mais complexos devido à localização inadequada de atividades industriais em áreas sujeitas a riscos de enchentes, inundações, deslizamentos de terra, secas, aumento do nível do mar, entre outros. Situações de desastre frequentemente afetam o ambiente e a infraestrutura social, bem como as comunidades que dependem ou estão localizadas nas proximidades dessas instalações. Os efeitos causados por desastres industriais podem ser devastadores, com sérias implicações quando combinados a fatores como a falta de prevenção e a localização de assentamentos populacionais (densamente ocupados) em áreas de risco. Desastres gerados por atividades humanas podem ser tão graves quanto desastres naturais, mas a associação de ambos pode gerar catástrofes significativas, principalmente em países onde estes não ocorriam e passaram a ocorrer com frequência devido a presença de eventos extremos climáticos cada vez mais intensos.

No Japão, em 2011, um terremoto associado a tsunami atingiu a estação de energia nuclear Fukushima, causando explosões em quatro reatores devido a falhas no sistema de segurança. Durante os procedimentos para conter as explosões ocorreram contaminações da água e da atmosfera. Este tipo de incidente evidencia a fragilidade de sistemas operacionais industriais, tanto em termos de evacuação (em curto período de tempo) como paralizações dos sistemas de transporte e energia, congestionamentos, destruição de portos, aeroportos, entre outros, produzindo um “efeito em castacata”, pois toda a infraestrutura e serviços locais são afetados (Takeda, 2011).

Atrelados aos riscos de desastres ambientais relacionados ao setor industrial estão também os setores de comércio e serviços, que podem ser drasticamente afetados por efeitos distintos (diretos e indiretos), como por exemplo, a paralisação temporária do sistema de produção e distribuição de mercadorias. No presente capítulo são levantadas algumas questões a fim de estabelecer conexões entre a mudança climática global e seus impactos sobre as indústrias, considerando que estas são particularmente suscetíveis e enfrentam um duplo desafio: (1) a necessidade de reduzir a suas contribuições para as alterações climáticas e consequentes desastres; (2) a necessidade de se adaptar.

### **5.3.2.2. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA**

Segundo o IPCC (2007; 2012), o aquecimento global causará o aumento de eventos extremos com a intensificação das chuvas, elevação do nível do mar e prolongamento dos períodos de secas. É difícil estimar todos os impactos causados pela mudança do clima precisamente, uma vez que as mudanças regionais observadas nos sistemas naturais e antrópicos são complexas, devido à variabilidade do clima natural, aos efeitos provocados por estas interações, inclusive com a presença de fenômenos não naturais como o uso da terra.

Uma das principais preocupações da atualidade tem sido como estimar as alterações climáticas considerando o potencial e a variabilidade de eventos extremos (ex. frequência, intensidade), bem como a ocorrência de fenômenos de grande escala (ex. ENSO, NAO<sup>16</sup>, siglas em Inglês) associados a estes eventos. Conforme mencionado anteriormente, ondas de calor, chuvas intensas, secas, aumento do nível do mar, entre outros eventos tem atingido o território brasileiro, variando regionalmente (Marengo et al., 2010).

Para Neves e Muehe (2008), o aumento do nível do mar é particularmente relevante, influenciado por fatores oceânicos, atmosféricos e continentais. “As consequências das mudanças de temperatura da atmosfera e dos oceanos, e as respectivas interações são bem mais complexas e certamente ainda não foram suficientemente investigadas em todas as suas dimensões. O problema não se resume ao simples aumento do volume de água dos oceanos em decorrência do derretimento das geleiras continentais”.

Segundo Neves e Muehe (2008), infelizmente, as evidências sobre a magnitude e frequência dos eventos ainda não são totalmente precisas devido à confiabilidade dos registros (que incluem dados a partir de estações meteorológicas deficientes, ausência de padrão das medições atmosféricas, dificuldades para a análise da erosão costeira e aumento do nível do mar no território nacional). Existem muitos problemas relativos à falta de monitoramento e escassez de informação de âmbito local.

Não há dúvida também, que a rápida urbanização e industrialização do país impuseram múltiplos problemas: poluição do ar e da água, aumento do consumo de energia, utilização dos recursos naturais de maneira desequilibrada, falta de saneamento, tratamento e disposição de lixo de forma inadequada, degradação ambiental generalizada, desmatamento e deterioração da qualidade de vida, principalmente em grandes centros urbanos (Nobre *et al.*, 2011).

Para o Department of Climate Change and Energy Efficiency (2011), em geral tanto as regiões industrializadas como as rurais se desenvolveram sem considerar a interface com o ambiente e o clima local, aumentando os riscos e os desafios impostos pela mudança climática. Diversos setores da indústria como turismo, mineração, navegação, transporte, pesca, produção de alimentos, combustíveis, gás, entre outros já estão enfrentando as consequências dessas mudanças.

### 5.3.2.3. DESASTRES AMBIENTAIS NO BRASIL

Para Menciondo (2006), *“os desastres ambientais têm magnitudes amplas e variadas, fundamentalmente pela falta de alocação de recursos e pela escassez de documentos técnicos que orientem a fase de prevenção. Isso é um fato que preocupa órgãos nacionais e internacionais e que alerta para a necessidade de focar na formação, treinamento e preparação pré-evento”*

Embora o tema constitua fonte de preocupação em várias partes do mundo, o Brasil ainda demanda estudos e a produção de documentos que reúnam avaliações sobre diferentes aspectos e dimensões relativas a desastres ambientais, principalmente aqueles atrelados aos setores produtivos. Considerando Tatham *et al.* (2012), ainda que a necessidade de melhoria dos sistemas de informação sobre desastres seja reconhecida, estudos sobre prevenção, logística e gestão de emergência são significativamente incipientes.

De acordo com Kobiyama *et al.* (2006) *“No Brasil, os desastres ambientais têm sido tratados de forma segmentada entre os diversos setores da sociedade. Nos últimos anos vem ocorrendo um aumento dos prejuízos causados por estes fenômenos devido à falta de planejamento adequado das áreas urbanas e a intensificação de eventos climáticos”*. Esses acontecimentos têm pressionado os setores empresariais e industriais a considerar, com maior empenho e comprometimento, os impactos causados por suas atividades.

Segundo Tominaga *et al.* (2009), no território brasileiro os principais fenômenos relacionados a desastres naturais se referem a enchentes, inundações, escorregamentos de terra e secas. As chuvas ocorrem normalmente associadas a eventos pluviométricos intensos e as secas a períodos de estiagem prolongados; ambos relacionados a variações climáticas distintas dependendo da região considerada.

De acordo com EM-DAT (2012), o Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações e enchentes, tendo registrado 112 desastres cadastrados no período de 1900 a 2012, com 7.482 mortes e mais de 18 milhões de pessoas atingidas (desabrigados/desalojados).

Para Tominaga *et al.* (2009), constata-se um crescimento significativo das ocorrências de desastres ambientais no Brasil a partir da década de 1960, entretanto os dados disponíveis ainda estão longe

---

<sup>16</sup> The North Atlantic Oscillation (NAO) index is based on the surface sea-level pressure difference between the Subtropical (Azores) High and the Subpolar Low.

da realidade. Os municípios mais atingidos por desastres ambientais localizam-se nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Santa Catarina, Paraná, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Paraíba e Ceará (Kobiyama *et al.*, 2006).

Este aumento na incidência de desastres ambientais está associado ao intENSO processo de industrialização e urbanização verificado nas últimas décadas, que conduziu ao crescimento das cidades em áreas impróprias para uso e ocupação, devido às características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis (Tominaga *et al.*, 2009).

O desmatamento provocado por muitas indústrias propicia a exposição e compactação do solo, aumentando o escoamento superficial e acelerando o processo de perda das camadas superficiais do solo, resultando no assoreamento dos cursos d'água. Na região de "baixada" ou nas planícies, o carreamento intENSO de sedimentos provoca o assoreamento dos córregos, rios e canais, favorecendo a ocorrência de enchentes e inundações.

O lixo de muitas empresas, depositado de forma inadequada em terrenos inapropriados prejudica o escoamento das águas de chuva, entupindo bueiros, canais e tubulações que levariam as águas pluviais diretamente para os rios. Na própria calha do rio, o lixo industrial "in natura" também pode funcionar como uma forma de represamento.

Ao longo da orla marítima do Brasil, diversas indústrias estão sujeitas a eventos de ressaca ou maré de tempestade (*storm surge*), que é o termo utilizado para caracterizar a sobre elevação do nível do mar durante eventos de tempestade associado a ventos fortes. Ela resulta do empilhamento da água oceânica induzido pelo cisalhamento do vento e pela presença de gradientes de pressão atmosférica (Carter, 1988). Já a maré de tormenta é a combinação da maré astronômica e da maré meteorológica (NOAA, 2012).

Kobiyama *et al.* (2006) destaca o estudo realizado por Calliari *et al.* (2000) sobre as ressacas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, que estão associadas às passagens de frentes frias e ciclones extratropicais. Também é ressaltado o estudo realizado por Innocentini e Arantes (2001) sobre as regiões Norte e Nordeste, onde as ressacas são pouco estudadas, mas também causam danos.

Pesquisadores como Guidicini e Nieble (1984) e Augusto Filho (1994), buscam entender a dinâmica de fenômenos como deslizamentos de terra através de modelagens e mapeamentos das áreas de risco. Muitos pesquisadores têm analisado os riscos de deslizamentos, que incluem Antonini *et al.* (2002); Chau *et al.* (2004); Hervás (2007); Ardizzone *et al.* (2008); Guzzetti *et al.* (2009); Reichenbach e Günther (2010); Brunetti *et al.* (2010); Martelloni *et al.* (2011). Entretanto, todos introduziram um "fator de incerteza" que não pode ser prontamente avaliado e explicitamente incorporado nas fases de avaliação de risco de deslizamento de terra.

Segundo Augusto Filho (1994), no que se refere a desastres relacionados a deslizamentos de terra, tanto os rotacionais ou translacionais são movimentos muito rápidos (m/h a m/s) denominados "corridas", que devido às características do material transportado se comportam como fluidos altamente viscosos, que podem provocar estragos maiores que os escorregamentos.

Para Bigarella *et al.* (1996), apesar dos danos causados pelos escorregamentos, este fenômeno é natural e faz parte da evolução da paisagem, trata-se de um dos mais importantes processos geomorfológicos modeladores da superfície terrestre.

No entanto, para Kobiyama *et al.* (2006), "os escorregamentos, principalmente em encostas urbanas vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nos últimos anos. A principal causa estaria relacionada à ocupação inadequada das áreas com declive acentuado, que apresentam elevada susceptibilidade a escorregamentos"

Um fenômeno relativamente raro no Brasil, mas que tem merecido atenção é o tornado, que de acordo com Glickman (2000), trata-se de uma coluna de vento (cilhamento) vertical. Para Kobiyama et al. (2006) *“se origina na base de nuvens do tipo cumulonimbus, estendendo-se até o solo como uma intensa coluna de ar giratória, normalmente visível como uma nuvem funil, sendo que os ventos que formam o fenômeno causam danos na superfície terrestre.”*

No Brasil, os tornados são freqüentemente registrados nas Regiões Sul e Sudeste, principalmente no Estado de Santa Catarina. Em 30 de Setembro de 1991, foi registrado um tornado da categoria F3 para F4 no interior do estado de São Paulo. De acordo com os registros existentes, a tempestade se formou no início da noite, com fortes ventos, percorrendo uma distância de 60 km, destruindo muitas áreas do município de Itu, sendo que no seu auge superou a velocidade de 300 km/h. Em sua trajetória o tornado passou pelos municípios de Salto, Cabreúva e se dissipou na Serra do Japi, em Jundiá (Clima Tempo, 2011).

Silva Dias (2011) ressalta que uma possível causa para o aumento no número de relatos de tornados, principalmente na região sul do Brasil poderia estar associada a uma mudança na variabilidade climática a partir da década de 1970.

Segundo Kobiyama et al. (2006), *“o número de registros poderia ser maior se não houvesse confusão na classificação do fenômeno. Muitos tornados foram registrados e classificados erroneamente como vendaval, ciclone, furacão ou simplesmente como uma tempestade. Faz-se necessário conhecer as características peculiares dos tornados para não seja confundido, principalmente como vendaval”*

Em 28 de março de 2004, o ciclone extratropical Catarina atingiu a região sul do país com ventos de até 150 km/h que percorreram os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, desde o município de Laguna (SC) até Torres (RS). Quarenta municípios catarinenses foram atingidos, sendo que o ciclone também passou pelo município de São Joaquim, na região do planalto serrano, onde causou muitos danos (APOLO 11, 2004; NASA, 2004).

Resumidamente, desastres naturais são provocados pelo impacto de fenômenos naturais extremos, causando sérios danos e prejuízos a sociedade de maneira geral, podendo inclusive exceder sua capacidade de resposta.

Assim, diante da grande destruição provocada por desastres ambientais, registrados pela imprensa nacional nos últimos anos, principalmente entre 2008 e 2012, em vários estados do país (Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Alagoas, Pernambuco, Minas Gerais, entre outros), torna-se premente a necessidade de estudos mais detalhados com a finalidade de empreender ações rápidas, coordenadas e direcionadas aos setores produtivos, através da compreensão dos mecanismos deflagradores de desastres ambientais por meio de registros históricos, mapeamentos de risco, diagnósticos atualizados, modelagens e monitoramento.

#### **5.3.2.4. BREVE PANORAMA SOBRE A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO PARQUE INDUSTRIAL BRASILEIRO**

Segundo Lemos et al. (2009), o parque industrial brasileiro se concentra nos estados do Centro-Sul, porém nas últimas décadas, vem passando por um processo de dispersão espacial, que acontece à medida que a infraestrutura de transportes, energia e comunicações se expandem e o poder público oferece benefícios fiscais para atrair investimentos.

De modo geral, as indústrias brasileiras se concentravam inicialmente entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, mas com as políticas de desconcentração se espalharam por outras regiões como Minas Gerais e o Nordeste (em função de terem sediado importantes ciclos econômicos até meados do séc. XIX.), Paraná, Rio Grande do Sul, entre outros. Também merece destaque Manaus (AM),

com a Zona Franca, que motivou a presença de um importante polo montador de bens de consumo eletrônicos desde 1967, e que ainda se mantém (Pacheco, 1998).

A ocupação do território brasileiro ocorreu primeiramente no sentido dos núcleos costeiros e posteriormente no sentido interior. No contexto de uma economia voltada para integração do mercado nacional, a desconcentração e migração do capital produtivo constituíram um processo de abertura de fronteiras regionais, criando oportunidades de expansão dos investimentos (Pacheco, 1998).

Nos últimos quinze anos observa-se uma tendência à maior dispersão geográfica do setor industrial brasileiro, mas ainda é forte a concentração na Região Sudeste, onde os maiores pólos industriais se encontram nas Regiões Metropolitanas de São Paulo, do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte. Destacam-se também a Baixada Santista (Cubatão), o Vale do Paraíba, a Região de Campinas e crescimento do setor na Região de Vitória, Triângulo Mineiro, além de várias cidades no oeste paulista e sul de Minas Gerais.

Na região Sul do país, as Regiões Metropolitanas de Curitiba e Porto Alegre são muito importantes, além do Vale do Itajaí (SC) e Serras Gaúchas. Já na Região Nordeste, as maiores concentrações industriais estão em suas regiões metropolitanas como a de Salvador, Recife e Fortaleza. A região Norte é pouco industrializada destacando-se a Zona Franca de Manaus e a Região de Belém. No Centro-Oeste os efeitos dessa dispersão industrial ainda não atingiram uma escala significativa (Lemos *et al.*, 2009).

A maioria dos parques industriais brasileiros localiza-se em extensas áreas das planícies fluviais e costeiras, e muitas das instalações e infraestruturas existentes têm emergido como áreas suscetíveis a riscos de desastres ambientais causados por eventos climáticos extremos. Tal estruturação concentrou uma parcela significativa da população no litoral, que apresenta um quadro preocupante em relação à degradação ambiental.

Segundo Neves e Muehe (2008), inúmeras baías e estuários estão com seus *habitats* naturais comprometidos pela poluição e exploração dos recursos naturais. Impactos ambientais também se intensificaram em outras regiões, onde o desenvolvimento espacial ocorreu na forma de eixos, acentuando tendências de concentração populacional em pólos de desenvolvimento (Motta, 2004).

A relação entre industrialização e urbanização é fundamental para explicar parte dos problemas relativos a riscos ambientais. Se no início as cidades tinham populações reduzidas e funções voltadas para o comércio e a distribuição de mercadorias, a presença do setor industrial alterou esse quadro, com a produção em grande escala e o aumento populacional (causado pela atração/migração), conduzindo a elevação da demanda e do consumo por produtos industrializados (Ribeiro, 2008).

Segundo Ribeiro (2008), a indústria não é uma atividade econômica qualquer, ela exige uma série de serviços (intra e inter) urbanos para poder se instalar e operar, além de mão de obra especializada. Para receber a instalação industrial são projetadas vias/rodovias, sistemas de distribuição de água e energia e toda uma rede de apoio que é estruturada para que o respectivo setor possa desenvolver suas atividades. Quase sempre a infraestrutura existente, como estradas, pontes, sistemas de drenagem e de abastecimento de água não atendem totalmente as necessidades gerando conflitos significativos entre demanda e disponibilidade (De e Soni, 2009).

As indústrias, de maneira geral, provocam impactos significativos sobre o ambiente com instalações inadequadas, deposição de resíduos sólidos, poluição do ar, contaminação da água, entre outros. Brennan (1994) já ressaltava, quase vinte anos atrás, que o abastecimento de água e o fornecimento de energia estavam entre os mais graves problemas da contemporaneidade. Além disso, as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) industriais são responsáveis por cerca de três quartos das emissões antropogênicas, sendo que o restante corresponde ao desmatamento (Cafaro, 2012).



Segundo IPCC (2007), a vulnerabilidade das indústrias está atrelada principalmente a sua localidade, por exemplo, em planícies costeiras, áreas ribeirinhas, fundos de vales e localidades cujas economias estão intimamente ligadas ao clima, como recursos florestais, produção agrícola, água, turismo, entre outros.

A elevação do nível do mar associada a eventos extremos como tempestades de ventos, deverá aumentar os riscos de enchentes e inundações na zona costeira, ameaçando os sistemas de transporte, telecomunicações, fornecimento de água e energia (Rosenzweig *et al.* 2011), afetando direta e indiretamente os parques industriais instalados, portos e aeroportos.

Um aspecto importante a ser considerado é a questão do transporte de carga, aéreo e marítimo, tendo em conta a rede de fornecimento, que é vital para a exportação e importação de produtos. São necessários estudos bem orientados sobre a vulnerabilidade dos portos e infraestrutura de transportes nas zonas costeiras, tendo como base o levantamento de dados mais consistentes para avaliar os impactos da mudança do clima e desenvolver propostas de adaptação (Nações Unidas, 2009).

O alcance e magnitude dos impactos variam de acordo com as condições locais, o tipo de indústria instalada, os sistemas de transporte, projetos e políticas atrelados, bem como a capacidade de adaptação para minimizar custos e riscos de acidentes. Os impactos diretos estão relacionados a infraestruturas de transporte, operação e manutenção. Entretanto, também podem ser afetados indiretamente, em função das mudanças nos padrões de demanda induzidas por efeitos sobre as decisões comerciais e de investimentos nacionais e internacionais (Nações Unidas, 2009).

### **5.3.2.5.IMPACTOS POTENCIAIS EM ALGUNS SETORES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

O setor siderúrgico do Brasil está entre os dez maiores produtores de aço no mundo. A maior parte das siderúrgicas brasileiras concentra-se na região Sudeste devido à proximidade do ferro e manganês do Quadrilátero Ferrífero (MG), da rede de transportes (ferrovias, proximidade de portos) e do mercado consumidor (representado pelas indústrias que consomem o aço).

O ciclo de produção do aço envolve basicamente quatro grandes etapas: (1) a extração do minério de ferro; (2) a produção de ferro gusa; (3) a produção de aço semi-acabado; e (4) as transformações do aço semi-acabado em aço laminado. A mineração do ferro e do carvão mineral tem uma série de impactos sociais e ambientais (Milanez e Porto, 2008).

O setor das guseiras é muito pulverizado, embora concentrado regionalmente em Minas Gerais, Ceará (que engloba Pará e Maranhão), Espírito Santo e Mato Grosso do Sul (Milanez e Porto, 2008).

Os principais problemas estão relacionados à produção de carvão vegetal e seu uso na transformação do minério de ferro em ferro-gusa. Existem outros impactos importantes da produção de aço relacionados ao consumo de energia, a poluição atmosférica e de recursos hídricos (Milanez e Porto, 2008).

De acordo com Milanez e Porto (2008), com relação às emissões atmosféricas, são vários os poluentes gerados pelas siderúrgicas. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) contribuem para o aumento da quantidade de carbono na atmosfera. Além deles, óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) reagem com a umidade presente no ar e formam, respectivamente, ácidos de enxofre e ácidos de nitrogênio.

De forma geral, os efluentes líquidos apresentam alta concentração de contaminantes, como amônia, benzeno, óleos, cobre, chumbo, cromo e níquel. A preocupação se refere justamente a uma possível coincidência de contaminação causada por esses produtos associada a eventos de chuvas intensas e enchentes prolongadas, contaminando corpos d'água, solos agricultáveis e atingindo populações vizinhas.

A indústria química é outro setor importante, que está em fase de ampliação e modernização no Brasil; sua produção é crescente, com grande destaque para o setor petroquímico.

Segundo o IPCC (2007), o modo de produção e de consumo de combustíveis fósseis, fundado na lógica de consumo ilimitado, gera uma acelerada degradação do ambiente, com o esgotamento dos recursos ambientais e impactos como a liberação do carbono para a atmosfera, elevando a temperatura do planeta.

Os campos de extração de petróleo e gás natural do Brasil se estendem desde o litoral do Rio Grande do Norte até o Paraná. A região Sudeste concentra as principais atividades de produção, transporte e estocagem do produto (Silva *et al.*, 2008). Paralelamente, os ambientes marinhos e costeiros do Brasil vêm sofrendo nos últimos anos um considerável processo de degradação ambiental, gerado pela crescente pressão sobre os recursos naturais (marinhos e continentais) e pela capacidade limitada desses ecossistemas absorverem os impactos resultantes da produção industrial (Muehe, 2010).

Ao longo do litoral, alternam-se mangues, campos de dunas e falésias, baías e estuários, recifes e corais, praias e costões, planícies intermarés e outros ambientes importantes do ponto de vista ecológico. Em tal zona se localizam as maiores manchas residuais da Mata Atlântica, inclusive sua maior manifestação contínua, envolvendo as encostas da Serra do Mar, nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (Neves e Muehe, 2008).

Esses diferentes ambientes, em função de suas características e atributos, são utilizados para diversas atividades como: petrolífera, portuária, agroindústria, extração mineral, extração vegetal, extrativismo, pecuária, pesca, salinas, recreação e turismo.

Em geral são ocupadas as planícies fluviais e costeiras, que apresentam características geológicas e geomorfológicas propícias para a expansão das indústrias em virtude da disponibilidade de terrenos planos.

A contaminação dessas áreas poderá ser agravada com o aumento do nível do mar e conseqüente intrusão salina nos estuários, prejudicando ainda mais os manguezais, atingindo rios de água doce e os lençóis freáticos (Neves e Muehe, 2008).

As atividades portuárias devem estar aqui associadas, já que treze portos brasileiros de maior movimento (Belém/PA, Itaqui/MA, Aratu/BA, Vitória-Tubarão/ES, Rio de Janeiro/ RJ, Sepetiba/RJ, Angra dos Reis/ RJ, São Sebastião/SP, Santos/SP, Paranaguá/PR, São Francisco do Sul/SC, Porto Alegre/RS e Rio Grande/ RS) estão localizados ou intimamente articulados com as regiões metropolitanas brasileiras mais industrializadas do país.

A maioria dos portos brasileiros não possui estrutura adequada para um sistema de gestão ambiental, nem no que se refere ao controle de resíduos e impactos ambientais, ou aos planos de contingência para acidentes causados por eventos do clima. Segundo a Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil, os portos brasileiros movimentam mais de 400 milhões de toneladas por ano, o que é significativo em termos mundiais, podendo estimar que cerca de 40 milhões de toneladas de água de lastro de navios sejam descarregadas por ano no país (IBAMA, 2002).

Já no caso da indústria de mineração para extração do calcário do setor cimenteiro, as frentes de lavra são embocadas em maciço rochoso ou em encosta, e os processos variam de mecanizados, semi mecanizados a manuais, dependendo do porte da empresa. As frentes de lavra geralmente apresentam bancadas únicas, cuja altura pode atingir até 60 metros de inclinação vertical, o que dificulta a extração e resulta em maior consumo de explosivos e aumento dos riscos de desastres ambientais (Oliveira *et al.*, 1999).

O cimento é produzido em diversas Unidades da Federação, destacando-se o Estado de Minas Gerais

como o maior produtor nacional, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e demais estados. Segundo Oliveira *et al.* (1999), a quantidade de energia elétrica utilizada como força motriz na indústria de transformação tem relação direta com a quantidade produzida de cimento, fato importante nos estudos de desempenho do setor e principalmente dos impactos gerados por esse tipo de queima.

Os setores de produção da cal virgem e hidratada têm nas rochas calcárias seu principal insumo mineral. Neste setor as tentativas de diversificação, inovação tecnológica, melhoria da qualidade do produto e preços praticados no mercado, têm sido feitas de maneira pontual e isolada Oliveira *et al.* (1999).

Neste caso, tanto as chuvas intensas de curta duração quanto de longa duração fornecem condições propícias para a diminuição da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes deflagradores de movimentos de terra nas encostas (áreas propícias para o desenvolvimento das atividades mencionadas).

Outro setor industrial importante no Brasil é o automobilístico, que passou por transformações significativas. Resumindo, Lemos *et al.* (2009) aponta que inicialmente com forte concentração na região do ABC, sofre um processo de dispersão geográfica a partir dos anos 70, deslocando-se para Betim – MG (FIAT) e para o interior do estado de São Paulo - Região Metropolitana de Campinas (Sumaré) e Vale do Paraíba (Taubaté e São José dos Campos). As mudanças empreendidas na década de 90 alteram bastante o perfil desse setor. A entrada de novas montadoras no Paraná e São Paulo, entre outros (como a Renault, Peugeot, Toyota, Mitsubishi e Audi) diversifica a oferta de produtos e aumenta a produção. A preocupação está justamente no fato de que o crescimento deste setor tem intensificado os problemas relativos às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente em regiões metropolitanas e grandes centros urbanos, em virtude do aumento do número de veículos particulares que circulam diariamente nestas regiões.

A indústria têxtil, por sua vez, enfrentou uma série de dificuldades com a progressiva abertura do mercado asiático, mas mesmo assim promove uma modernização administrativa e do sistema de produção, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste. O sector têxtil ainda apresenta potencial poluente elevado, através de efluentes líquidos, emissões de gases e partículas poluentes, resíduos sólidos, águas residuais, odores e ruídos (Silva, 2005). Todos estes fatores podem ser intensificados em períodos de estiagem.

Na indústria alimentícia a produção brasileira é muito diversificada e conta com a presença de algumas grandes multinacionais. Também se encontra bastante dispersa pelo território com maior concentração no Sul e Sudeste (maior mercado consumidor). É um setor com fortes ligações com a agropecuária, sendo que a exportação de alimentos industrializados tem apresentado crescimento. Essa indústria reúne o setor do açúcar, leite e derivados, óleos vegetais, massas, bebidas (como sucos, refrigerantes, vinho e aguardente), carne e derivados. Em condições climáticas adversas (ex. períodos de estiagens), estas indústrias geram impactos significativos, principalmente quando resíduos (sólidos e líquidos) são lançados in natura.

### **5.3.2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

○ Brasil começa a se tornar uma plataforma de produção mais estruturada, voltada não só para o mercado interno como externo, entretanto muitos setores ainda necessitam ser renovados e tecnicamente aparelhados, principalmente no que se refere aos desafios impostos pela mudança do clima.

Os impactos causados por desastres industriais podem ser devastadores, com sérias implicações quando combinados a fatores como a falta de mapeamento das áreas de risco e planos de prevenção.

Estudos correlacionando estas duas áreas, desenvolvimento industrial e mudança climática, ainda

são raros. Portanto, são necessários levantamentos sistemáticos e análises integradas a respeito do clima e das instalações industriais.

Nesse sentido, mapeamentos das concentrações industriais e de aspectos do meio físico são fundamentais para que se torne possível estabelecer parâmetros mais adequados.

O processo de adaptação é inevitável e, para tanto, ajustes e regulamentações legais serão fundamentais. O grande desafio será justamente o de proporcionar a melhoria do desempenho industrial para garantir o abastecimento interno e conseguir manter os superávits na balança comercial, sem excluir as possibilidades de riscos de origem climática.

### **5.3.3. VULNERABILIDADES, IMPACTOS E ADAPTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTES**

#### **5.3.3.1 INTRODUÇÃO**

Este item trata dos impactos, vulnerabilidades e adaptação no setor de transporte diante da variabilidade natural de clima e da mudança global do clima, caracterizada pela ocorrência de eventos extremos, tais como variações de temperaturas extremas, aumento da intensidade de precipitação, tempestades e inundações.

A literatura atual disponível sobre o tema apresenta que os transportes são sensíveis às condições de tempo e clima e as avaliações concentram-se em mudanças nas condições meteorológicas que são diretamente relevantes para o setor. As projeções de parâmetros meteorológicos ou climáticos para transportes são baseadas nos resultados dos modelos climáticos globais.

De acordo com *IPCC (2012)*, a vulnerabilidade também pode ser entendida em termos de funcionalidades relacionada a transportes. A infraestrutura de transporte é vulnerável a condições extremas de temperatura, precipitação, enchentes e tempestades, que pode levar a danos no transporte rodoviário, ferroviário, aeroportos e portos.

As mudanças climáticas poderão afetar os sistemas de transporte (ferroviário, aéreo, rodoviário e hidroviário) em todos os países, impedindo potencialmente a mobilidade urbana, com consequência para o crescimento da economia e qualidade de vida das populações.

Todos os modos de transporte costeiros são considerados vulneráveis, mas a exposição e os impactos podem variar, por exemplo, por região, modo de transporte, localização/ elevação e condição da infraestrutura de transportes (*IPCC, 2012*).

Enquanto os esforços de mitigação são essenciais para reduzir a ameaça das mudanças climáticas, práticas de adaptação para aumentar a resiliência e a proteção dos impactos ambientais devem ser aceleradas (*Oswald e Mcneil, 2012*). Com relação às medidas de adaptação em transportes, algumas experiências foram identificadas: realocação de estradas e vias, mudanças nos projetos e substituição e adequação de estruturas, como pontes, estradas e pavimentos, de forma a suportar os possíveis efeitos que as condições meteorológicas e a mudança do clima poderão acarretar para o setor.

#### **5.3.3.2 RISCOS, VULNERABILIDADES E POSSÍVEIS IMPACTOS**

Koetse, Rietveld (2007) consideram que são escassos os estudos que enfocam diretamente os impactos das mudanças climáticas ou da variação sazonal das condições meteorológicas em transportes. Segundo *USDOT (2002)*, poucos estudos sobre impactos climáticos têm sido realizados nos Estados Unidos com foco no transporte, mas avaliações vêm sendo realizadas pelo Canadá e Reino Unido e, em larga escala, as avaliações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - *IPCC* sugerem profundas implicações nos sistemas de transportes.

Yevdokimov (2010) estudou os impactos das mudanças climáticas no Canadá e destaca em seu estudo que a mudança do clima afetará o transporte, principalmente, por meio do aumento dos diversos tipos de eventos meteorológicos e climáticos extremos, tais como dias muito quentes, eventos de precipitação intensa, furacões, secas e elevação do nível do mar, juntamente com tempestades e deslizamento de terras. Os impactos vão variar de acordo com o modo de transporte e região, mas eles vão ser generalizados e de alto custo, tanto em termos humanos, como econômicos e irão exigir mudanças significativas no planejamento, desenho, construção, operação e manutenção de sistemas de transporte.

Oswald e McNeil (2012) apresentam uma metodologia para integrar os esforços de adaptação no processo de planejamento de transporte de longo alcance e descreve uma ferramenta, *Climate Change Adaptation Tool for Transportation (CCATT)* para ajudar os planejadores. Um estudo de caso revelou a eficácia da metodologia para a real aplicação em todo o mundo e da necessidade de adaptação do transporte em resposta às mudanças climáticas.

Variabilidade de clima e mudanças climáticas relacionadas às altas temperaturas afetam principalmente os transportes ao impactar nas condições físicas dos materiais que compõem a infraestrutura, com destaque para temperaturas de pavimentos que podem exceder significativamente às temperaturas do ar acima de 32 °C (Peterson *et al.*, 2006).

Mudanças de clima moderadas podem pouco impactar nos transportes. No entanto, mudanças climáticas e extremos climáticos podem gerar impactos significativos. Algumas mudanças são susceptíveis de gerar impactos positivos, e outras podem gerar impactos negativos sobre os transportes (Peterson *et al.*, 2006). Os autores relatam que a abertura da rota comercial da passagem do Noroeste no mar Ártico, devido ao degelo, resultaria num claro benefício para o transporte marítimo. Contudo, os impactos observados, em geral, são adversos ao setor de transportes.

Segundo Peterson *et al.* (2006), com a mudança do clima, baixas temperaturas extremas devem diminuir de acordo com as projeções existentes. Condições mais amenas de inverno podem provavelmente melhorar a segurança para o transporte ferroviário, aéreo e marítimo. Altas temperaturas extremas, por outro lado, devem aumentar, segundo as mesmas projeções. Essas mudanças provavelmente aumentariam o número de danos na infraestrutura de ferrovias, como trilhos, e impactariam adversamente o trabalho de manutenção destas.

As mudanças climáticas afetarão a forma como os profissionais de transporte gerenciam sua infraestrutura de transporte multimodal. A capacidade de uma região ou cidade se adaptar a suas operações e infraestrutura de transporte vulnerável aos impactos relacionados ao clima vai determinar a capacidade de resiliência do sistema de transporte daquela comunidade (Koch e MacArthur, 2013).

Projeções de mudanças climáticas relacionadas com mudanças no nível do mar, padrões meteorológicos, temperaturas e precipitação, e um aumento de eventos climáticos extremos (incluindo tempestades tropicais e furacões) irão afetar negativamente a infraestrutura de transporte e a tomada de decisão (USDOT, 2002; Lindquist, 2007).

É projetado para algumas regiões do planeta um aumento na ocorrência de eventos extremos como intensa precipitação, fortes tempestades, incluindo furações, o que pode causar inundações locais. Com isso, a infraestrutura de transporte costeiro é vulnerável aos efeitos combinados de tempestade e aumento do nível global do mar (Peterson *et al.*, 2006).

Projeta-se que o litoral fique exposto a maiores riscos, inclusive à erosão, em consequência da mudança do clima e da elevação do nível do mar (IPCC, 2007). Inundações têm impactos negativos importantes em uma variedade de setores econômicos, incluindo transporte (IPCC, 2012). Além disso, os impactos da inundação incluem dano temporário ou permanente destruição de infraestrutura para a maioria dos modos de transporte (Zimmerman e Faris, 2010; IPCC, 2012).

Mudanças na precipitação e no nível do mar como consequência da mudança global do clima poderão afetar a infraestrutura de transporte, antecipando a vida média da infraestrutura construída. Os efeitos das mudanças dos níveis de precipitação poderão afetar fundações e pavimentações, especialmente quando os níveis de precipitação aumentar significativamente em relação aos níveis atuais (Meyer, 2008). O planejamento de transportes opera em diversas escalas de tempo. Os planejadores de estradas tipicamente consideram a escala de tempo de 25 anos. Planejadores de ferrovias consideram 50 anos. Pontes e túneis subterrâneos geralmente são concebidos considerando um horizonte de 100 anos. Em todos os casos, o planejamento que leve em consideração prováveis mudanças será importante (Lindquist, 2007). Para o autor, a infraestrutura de transporte é projetada para suportar as condições ambientais em que é construída e, no geral, a manutenção da infraestrutura é tida em conformidade. No entanto, os ambientes estão mudando e, segundo o IPCC, o aquecimento global é inequívoco. Com o aumento da ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos a infraestrutura deverá ser adaptada para suportar as novas condições adversas como forma de promover resiliência no setor de transporte às mudanças climáticas.

Meyer (2008), em seu estudo sobre a implicação das mudanças climáticas para a infraestrutura de transportes nos Estados Unidos, identifica que as pontes da cidade de Seattle são vulneráveis aos impactos devido à expansão térmica causada por temperaturas mais elevadas, ocasionando o aumento da erosão nas fundações das pontes e deterioração da pavimentação, decorrente também do aumento da precipitação e do nível do mar.

No que diz respeito ao conhecimento de vulnerabilidades dos transportes, estudos realizados para a cidade de Nova Iorque concluíram que os sistemas de transporte da cidade poderão ser afetados por inundações e pelo aumento do nível dos lençóis freáticos, especialmente devido a muitas das instalações estarem localizadas em túneis subterrâneos (Jacob *et al.*, 2007; Meyer, 2008).

Mudanças de temperatura afetam de alguma forma todos os componentes de projeto de infraestrutura de transporte, porque os materiais utilizados para construir as estruturas, geralmente, apresentam alguma contração e expansão de forma a resistir a mudanças de temperatura, tanto altas quanto baixas temperaturas e o intervalo entre estas (Meyer, 2008).

Mudança nas zonas costeiras e aumento do nível do mar poderiam, em longo prazo, demandar a realocação de estradas, linhas férreas, ou pistas de aeroportos, com consequências significativas para as instalações portuárias e para a navegação costeira. Túneis subterrâneos com sistemas de trânsito, estradas e ferrovias poderiam estar sujeitas a inundações mais frequentes ou mais graves (USDOT, 2002).

Estradas, ferrovias, pistas de aeroportos, terminais de transporte, canais e pontes são exemplos de instalações e estruturas necessárias para a prestação de serviços de transporte, e que permitem a movimentação de passageiros e mercadorias. Eventos meteorológicos e de clima poderão afetar o planejamento, projetos, construção, manutenção e desempenho da infraestrutura ao longo de sua vida útil (USDOT, 2002).

Estudo feito por Koetse e Rietveld (2007) apresenta uma visão geral da literatura sobre o impacto das mudanças climáticas e mudanças nas condições meteorológicas para o setor de transportes. Segundo os autores, o relatório Stern analisa danos econômicos para setores de recursos hídricos, agricultura, setores de saúde e seguros. Contudo, um setor que recebe pouca atenção é o setor de transportes, o que não é totalmente surpreendente, já que, até o momento, as consequências das mudanças climáticas no sistema de transportes não receberam muita atenção na literatura, conforme mencionado anteriormente.

Até recentemente, a maioria dos resultados de pesquisas sobre clima e transportes apresentada foi relacionada à mitigação, com questão central sobre a eficácia e eficiência das medidas para reduzir os impactos ambientais dos transportes (Koetse e Rietveld, 2007; IPCC, 2007).

No que se refere à necessidade de pesquisa em transportes, a tabela 5.3.3.1 apresenta o sumário das prioridades de pesquisa em transportes no âmbito nacional.

**Tabela 5.3.3.1.** Sumário das prioridades de pesquisa para Sistema de transporte

<b>Desafio de pesquisa</b>	<b>Necessidades específicas de pesquisa</b>
Incertezas sobre a ciência da variabilidade climática e efeitos das mudanças de clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados e modelos para estimativas em nível nacional, regional / local;</li> <li>- Melhor desenvolvimento de cenários climáticos;</li> <li>- Conhecimento das vulnerabilidades;</li> <li>- Efeitos sobre a infraestrutura, padrões de desenvolvimento, operações e serviços.</li> </ul>
Integração dos planos de transporte, ambiental e de clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor compreensão das interações, mudanças na qualidade do ar e da água;</li> <li>- Necessidade de reduzir emissões e aumentar resiliência;</li> <li>- Identificação e divulgação das melhores práticas;</li> <li>- Busca de estratégias de transporte ambientalmente benéficas.</li> </ul>
Barreiras Institucionais e tomada de decisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise comparativa entre governo, setor público e privado;</li> <li>- Como elevar a conscientização sobre o impacto do clima nos transportes;</li> <li>- Integração de políticas públicas;</li> <li>- Melhor comunicação com os tomadores de decisão.</li> </ul>
Como avaliar o risco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construção de cenários, pesquisas, estudos de caso;</li> <li>- Identificação dos ativos vulneráveis;</li> <li>- Exploração de experiência na indústria de seguros.</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria com base em USDOT (2002).

Segundo o Departamento de Transporte dos Estados Unidos, enquanto o sistema de transporte americano é muito confiável e bastante robusto, os impactos graves de clima e inundações causam interrupções, impactos econômicos e inconvenientes que se tornam muito graves para determinadas regiões. Considerando que as informações estão apenas começando a surgir sobre como a mudança climática pode levar a ocorrência de extremos climáticos, uma gama de tipos de impactos parece possível, incluindo alguns que são dependentes da localização e alguns que são eventos específicos (USDOT, 2002).

Segundo Peterson *et al.* (2006), mudança climática no Noroeste Pacífico da América é susceptível de trazer precipitações de invernos mais frequentes e intensas com o aumento da temperatura. Essas mudanças nos padrões de precipitação têm implicações significativas na hidrologia, e setores socioeconômicos poderiam ser afetados por essas. Infraestrutura de transporte e padrões de viagem também são vulneráveis às possíveis mudanças nos regimes de escoamento e fluxo da geomorfologia.

É conhecido que os sistemas de transporte, em geral, apresentam um pior desempenho em condições climáticas adversas e extremas, especialmente em regiões densamente povoadas, onde um único evento pode levar a uma cadeia de reações que influenciam grande parte do sistema de transporte (Koetse e Rietveld, 2007).

A infraestrutura de transporte está exposta a riscos decorrentes do aumento do nível do mar, tempestades e inundações. Os impactos das mudanças climáticas podem adversamente afetar a mobilidade através dos eventos extremos (TRL, 2011).

Nas atividades de transporte, condições meteorológicas adversas implicam num aumento no tempo médio de viagem, em congestionamentos e numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Por isso, os custos generalizados de transporte são afetados (Koetse e Rietveld, 2007).

Segundo Repetto (2008), o Programa americano de Ciência das Mudanças Climáticas iniciou recentemente um estudo sobre os potenciais impactos, vulnerabilidades e respostas de adaptação às mudanças climáticas na infraestrutura de transporte utilizando a área central da Costa do Golfo como

um estudo de caso. Constatou vulnerabilidades substanciais onde, por exemplo, tempestades associadas a furacões poderiam facilmente ocasionar ondas de 7 metros. Com isso, mais da metade das principais rodovias da região, sendo 64% interestaduais e 57% estaduais, quase metade das ferrovias, 29 aeroportos e praticamente todos os portos estão sujeitos a inundações.

Em se tratando de segurança rodoviária, fluxo de tráfego e congestionamento, as condições meteorológicas têm um efeito sobre a segurança rodoviária e muitas variáveis parecem ser importantes. Koetse e Rietveld (2007) mencionam estudo desenvolvido por Stern e Zehavi (1990) que investigam a relação entre o tempo quente e acidentes de trânsito. O estudo conclui que o risco de um acidente aumenta com condições de estresse térmico decorrente do aumento da temperatura. Afirmam que a variável mais importante é a precipitação, onde evidência empírica sobre o impacto da chuva e da neve na frequência e a gravidade dos acidentes rodoviários é abundante.

Embora estudos apresentem uma variedade de métodos para obtenção dos resultados quantitativos em relação ao número de acidentes, a maioria deles indica uma relação entre precipitação e frequência (intensidade) dos acidentes rodoviários (Koetse e Rietveld, 2007).

Por sua vez, os acidentes rodoviários afetam o fluxo e a velocidade do tráfego, tornando a relação entre clima, segurança rodoviária, fluxo de tráfego e velocidade de tráfego interessante, mas complexa (Koetse e Rietveld, 2007).

O setor de transporte apresenta forte interação com as mudanças climáticas, e gera impactos que podem ser agrupados em duas categorias: aqueles originários pelo setor, tais como as emissões de gases de efeito estufa e poluentes (efeitos negativos sobre o aquecimento global), e aqueles causados pelas mudanças climáticas sobre o setor de transporte.

As inter-relações entre o setor de transporte e as mudanças climáticas, seja na contribuição do setor para o aquecimento global, como nos possíveis efeitos que a mudança e a variabilidade de clima podem ocasionar sobre a mobilidade e a infraestrutura de transportes correspondente, sinalizam para a importância dos instrumentos de planejamento em diversos níveis, como medidas necessárias para o êxito de ações de mitigação e adaptação.

No transporte de passageiros, a escassez de sistema de transporte de alta capacidade provoca aumento de consumo de combustível excessivo tanto por conta da ineficiência do carro, como pelo congestionamento crescente, que impacta indiretamente, assim, o número de acidentes.

No Brasil, projeções indicam que, se a tendência histórica de expansão for mantida na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, a mancha urbana será o dobro da atual em 2030, aumentando os riscos de enchentes, inundações e deslizamentos, atingindo cada vez mais a população como um todo e, sobretudo, os mais pobres. Principalmente, porque essa expansão deverá ocorrer na periferia, em loteamentos e construções irregulares, e em áreas frágeis, como várzeas e terrenos instáveis, com grande pressão sobre os recursos naturais (INPE, 2010).

Os riscos serão potencializados pelo aumento do número de dias com fortes chuvas. Estudos preliminares sugerem que, entre 2070 e 2100, uma elevação média na temperatura da região de 2° C a 3° C poderá dobrar o número de dias com chuvas intensas (acima de 10 milímetros) na capital paulista (INPE, 2010).

A intensificação das ilhas de calor pelo aumento da temperatura prejudica a dispersão de poluentes. Com isso, espera-se que alguns poluentes tenham a sua concentração ambiental aumentada, notadamente os gases e partículas gerados a partir de processos fotoquímicos atmosféricos, aumentando a mortalidade por conta de doenças respiratórias, entre outras.



Com o aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, muitos poderão ser os impactos das mudanças climáticas na infraestrutura de transportes. No caso de ocorrência de fortes chuvas, enchentes e inundações, um sistema de transporte eficiente facilitaria a evacuação da população da área afetada, bem como o acesso a prestação de socorro a vítimas de desastres naturais e acidentes.

No caso de risco de desastres, por exemplo, a evacuação é usada quando há aviso para realocação temporária para áreas fora da rota de perigo por tempestades tropicais, inundações e incêndios florestais. Evacuações coletivas nem sempre é possível, dada a localização, o tamanho da população, as redes de transporte, bem como o rápido início do evento (IPCC, 2012).

Em se tratando de revisão da literatura sobre o impacto das alterações climáticas na demanda de transporte, há muito pouca evidência empírica sobre mudanças no comportamento de viagem devido a condições adversas de clima. A maioria dos estudos foca na mudança modal, com foco no uso da bicicleta sob condições meteorológicas diversas e apresentam, por exemplo, a redução no percentual de viagens de bicicletas em dias frios e chuvosos e aumento percentual em dias com condições meteorológicas favoráveis (Richardson, 2000; Koetse e Rietveld, 2007). Segundo os estudos, temperaturas baixas, vento forte e precipitação impactam negativamente sobre o uso da bicicleta, que refletem no aumento pela procura do automóvel como forma de transporte.

Koetse e Rietveld (2007) se referem em seu estudo a uma pesquisa feita por Khattak e De Palma (1997) sobre as decisões por modos de viagens de passageiros em Bruxelas, em 1992. Os resultados mostram que 69% dos entrevistados, considerando o seu modo primário de transporte, têm acesso a um modo de transporte alternativo, mas que apenas 5% realmente o fazem, em função da estação do ano. Isto sugere que mudanças nos padrões climáticos do verão para o inverno têm apenas um pequeno impacto na escolha modal, uma vez que apenas uma pequena porcentagem dos viajantes utiliza bicicleta para chegar ao trabalho.

Os resultados sugerem que a substituição do carro pelo transporte público no inverno é limitada. No entanto, as respostas às perguntas sobre as decisões de viajar sob condições climáticas adversas revelam que mais da metade dos usuários de automóveis mudam seu modo, a sua hora de partida ou a escolha de rota em condições climáticas adversas. Destas três possibilidades, as mudanças na hora da partida foram mais frequentemente mencionadas a ser uma opção importante em condições meteorológicas adversas (Koetse e Rietveld, 2007).

O planejamento de sistemas de transportes deve considerar a análise de risco para o aumento de temperatura, aumento da frequência e intensidade de precipitação, inundações e tempestades. Para isso, é importante uma integração das políticas de clima, transporte e desenvolvimento, bem como o monitoramento de dados climáticos e uma reavaliação das políticas e padrões atuais para transportes.

Considera-se que a infraestrutura de transporte, em todos os modos, possa ser vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, mesmo em um futuro próximo. Grande parte dos debates sobre mudanças climáticas mudança do clima e transporte tem sido focada em mitigação dos impactos das emissões de gases de efeito estufa de automóveis. Lindquist (2007) relata que nos Estados Unidos, no entanto, a necessidade de vincular a mudança climática e a ciência da variabilidade (incluindo modelagem, análise e avaliação de riscos, avaliação de impactos regionais, projeções e probabilidades), com estratégias de adaptação, independentemente da causa, aumentou na agenda de decisão do departamento de transporte dos Estados Unidos e do Conselho de pesquisa em transporte.

A tabela 5.3.3.2 apresenta uma síntese das condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, mencionadas na literatura. A tabela 5.3.3.3 uma síntese dos impactos e das vulnerabilidades relacionadas ao sistema de transporte.

**Tabela 5.3.3.2.** Síntese das condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte.

Referência	Eventos de precipitação mais intensos	Variação de temperatura	Tempestades	Elevação do nível do mar	Deslizamento de terras	Inundações	Dias muito quentes e ondas de calor
USDOT (2002)	x	x	x	x			
Meyer (2008)	x	x	x	x		x	
Peterson <i>et al.</i> (2006)			x			x	
Koetse e Rietveld (2007)	x	x	x				
Lindquist (2007)	x	x	x	x			
Repetto (2008)	x	x	x			x	
Chang <i>et al.</i> (2009)		x	x				
TRL (2011)			x	x		x	
Yevdokimov (2010)		x	x	x	x		
IPCC (2012)	x	x	x	x		x	
Oswald e McNeil (2012)	x			x			x
Koch e MacArthur (2013)	x	x	x	x		x	

**Fonte:** elaborado a partir da revisão dos trabalhos mencionados.

**Tabela 5.3.3.3.** Síntese dos impactos e das vulnerabilidades relacionadas ao sistema de transporte.

Referência	Econômicos	Humano	Sobre as estruturas/pavimentos e trilhos	Inundações de Túneis subterrâneos	Segurança viária	Mobilidade urbana	Planejamento e projeto da infraestrutura
USDOT (2002)	x			x		x	x
Meyer (2006)			x	x			
Peterson et al. (2006)			x				
Koetse e Rietveld (2007)	x				x	x	
Lindquist (2007)			x	x		x	
Repetto (2008)			x	x			
Chang et al. (2009)			x			x	
Yevdokimov (2010)	x	x					
IPCC (2012)	x	x				x	x

**Fonte:** elaborado a partir da revisão dos trabalhos mencionados.

Apesar dos trabalhos existentes na literatura não serem conclusivos em relação ao tema tratado, observa-se convergência para as condições e variações climáticas que afetam o sistema de transporte, dentre elas: variação de temperatura, temperaturas elevadas e muito baixas, tempestades (precipitação intensa), elevação do nível do mar e inundações associadas às tempestades.

Verifica-se ainda, em relação aos impactos sobre o sistema de transporte, maior *cons*ENSO sobre a vulnerabilidade da totalidade das obras de infraestrutura de transporte (rodoviária, ferroviária, portuária, aeroportuária, túneis e pontes) em todos os seus aspectos: pavimentos, trilhos, fundações, dentre outras.

Assim, as mudanças e variações climáticas afetam a acessibilidade proveniente da infraestrutura de transporte e impactam negativamente sobre a mobilidade, tanto no padrão de viagens, quanto no incremento dos congestionamentos.

### 5.3.3.3 ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO PARA TRANSPORTES

Atualmente é possível observar uma tendência em que os tomadores de decisão começam a aceitar o fato da mudança climática e da necessidade de explorar estratégias de adaptação relacionadas, tais como, a implementação de medidas políticas para reduzir os custos dos danos potenciais relacionados (Koetse e Rietveld, 2007). Segundo o estudo, uma observação importante é que as medidas de mitigação e estratégias de adaptação estão inter-relacionadas: grandes oportunidades de mitigação têm implicações para a urgência de se implementar medidas de adaptação.

A infraestrutura de transporte é construída para enfrentar uma ampla variação das condições meteorológicas e de clima. A perspectiva de mudanças climáticas antropogênicas significa que certas suposições sobre condições atmosféricas futuras podem estar erradas, resultando possivelmente na deterioração prematura ou falha da infraestrutura. Felizmente a vida útil é suficientemente curta para

muitos tipos de infraestrutura de transporte (por exemplo, menos de 25 anos) para facilitar a relação custo-benefício de substituição usando projetos melhorados. Em outros casos, como pontes e instalações portuárias, mudanças esperadas no clima poderão ocorrer previamente, durante a vida útil esperada, possivelmente forçando a reconstrução com custos elevados, recuperação ou realocação (USDOT, 2002).

Um ajuste de longo prazo para transportes é que projetos de infraestrutura devam considerar as características relevantes das condições meteorológicas, tais como, o desempenho dos diversos modos em condições meteorológicas extremas, como altas ou baixas temperaturas, chuvas fortes, nevoeiro, vento forte, etc. É preciso estar ciente de que condições meteorológicas e de clima poderão afetar não apenas o lado da demanda no mercado dos transportes, mas também o lado da oferta. A oferta também pode ser afetada em curto prazo por variações climáticas, por exemplo, quando as operações de empresas, como ferroviárias e aeroportuárias, são interrompidas devido a condições de vento extremo (Koetse e Rietveld, 2007).

Experiência sobre estratégias de adaptação em transporte nos Estados Unidos foi apresentada por Lindquist (2007), que relata que estratégias de adaptação às mudanças climáticas em grande escala nos Estados Unidos serão principalmente tratadas em nível subnacional. Em se tratando de infraestrutura de transporte, essa adaptação terá que ocorrer nos seguintes níveis: 1) departamentos de transporte (DOT, sigla em Inglês) em cada um dos 50 estados americanos, e 2) Organizações de Planejamento Metropolitano (MPOs, sigla em Inglês), planejamento de transportes regionais e agências de apoio. Segundo o autor, grande parte dos impactos da variabilidade poderão ser sentidos em todos estes níveis, com implicações negativas caso não desenvolvam estratégias de adaptação.

De acordo com estudo realizado por Koch e MacArthur (2012), as agências federais americanas abriram o caminho para adaptar vários modos de transporte para as mudanças climáticas. O estudo destaca 17 agências que realizam atividades de adaptação à mudança climática, principalmente como parte de projetos-piloto financiados pelo governo federal. No entanto, agências de trânsito estão enfrentando impactos causados pelas condições climáticas atuais e de futuras mudanças climáticas. Foi avaliado como as agências estavam envolvidas em atividades de adaptação às mudanças climáticas, quais atividades atualmente estão empenhadas em avaliar os potenciais impactos do clima e das mudanças climáticas em suas instalações e operações e a importância relativa de diferentes recursos para avaliar a eficácia destes impactos. Entre as barreiras mais comuns para as atividades de adaptação foram destacadas a falta de financiamento, falta de acesso a informações e ferramentas (incluindo dados de escala regional) e falta de prioridade organizacional.

A respeito do potencial de perda de bilhões de dólares, a possibilidade de impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura de transporte tem recebido pouca atenção. Grande parte do foco sobre clima e transporte tem sido sobre os impactos ao meio ambiente, causados por fontes de transporte, tais como emissões de automóveis. No entanto, considerações sobre adaptação aos impactos potenciais do aumento do nível do mar, mudanças na precipitação e temperatura, aumento na magnitude e frequência de tempestades severas são igualmente importante, a forma como a infraestrutura de transporte e seus sistemas associados de governança irão responder às mudanças vem sendo relegado ao segundo plano. Isto é particularmente importante em áreas vulneráveis à elevação do nível do mar, tempestade e inundações (Lindquist, 2007).

Estudo desenvolvido pela Universidade de Cambridge avaliou o efeito das mudanças climáticas e seus impactos no sistema de transporte da costa do golfo, e conclui que os projetos de infraestrutura de longo prazo, principalmente para pontes, deverão considerar os impactos das altas temperaturas no futuro. Segundo o estudo, os impactos do aumento do nível do mar serão significativos para algumas regiões, e rodovias situadas em áreas de risco deverão ser redesenhadas para adaptar às mudanças como parte de estratégia de redesenho urbano. Os efeitos mais intENSOs sobre as rodovias serão devido ao aumento no número de tempestades severas, que poderão ser tão intensas que esforços de identificar e proteger as pontes devem ser uma prioridade (US TRB, 2008).

Estudos têm identificado os principais setores vulneráveis às mudanças climáticas que podem reduzir significativamente os danos evidenciados. Tais estudos indicaram que os problemas causados à agricultura, silvicultura e outras atividades econômicas podem ser reduzidos se os agentes econômicos se adaptarem de forma eficiente (Repetto, 2008).

Segundo Koetse e Rietveld (2007), a maioria dos estudos relacionados a clima e transporte tem foco no impacto das condições climáticas atuais, embora haja também alguns onde os padrões sazonais são estudados. Com relação ao potencial de longo prazo dos efeitos da mudança do clima para o transporte, os padrões sazonais podem ajudar quanto aos ajustes de longo prazo a essa mudança, contribuir para medidas de adaptação futuras e aumentar a resiliência do setor.

O planejamento de transportes deverá considerar medidas de adaptação para garantir a mobilidade das populações. Mobilidade resiliente se refere à necessidade de aumentar a resiliência climática dos sistemas de transporte (TRL, 2011). Sistemas de transporte resilientes podem também apoiar nos esforços de evacuação e prestação de ajuda no caso de ocorrência de desastres e adaptação à possível mudança do clima futura.

O Brasil já vem experimentando em determinadas regiões episódios de danos causados às ruas e estradas em função de enchentes e deslizamentos de terra, cenário que só tende a agravar-se com a intensificação do fenômeno (INPE, 2010).

O próprio planejamento urbano está intimamente relacionado com o tema. A opção por cidades mais ou menos compactas, a definição da capacidade das vias de circulação para fins de tráfego, bem como, o estudo da localização do traçado, levando-se em conta critérios de drenagem pluvial e áreas de risco, são exemplos que refletem a imprescindibilidade da inserção da variável climática na estruturação das cidades (INPE, 2010).

A falta de integração dos diferentes modos no sistema de transporte constitui uma vulnerabilidade. Países em desenvolvimento como o Brasil, precisarão investir na integração dos diversos modos de transporte, criando assim uma mobilidade resiliente.

Estudo desenvolvido por Meyer (2008) sobre padrões para projetos de infraestrutura de transporte nos Estados Unidos avalia medidas de engenharia para adaptar ao contexto de mudanças ambientais como as mudanças climáticas. Segundo o autor, muitos estudos avaliaram os possíveis efeitos das mudanças climáticas nos projetos de infraestrutura e instalações de transporte. Numa perspectiva regional, três cidades norte americanas foram avaliadas e foi possível concluir que os sistemas de transporte poderão ser impactados especialmente por inundações. Os seguintes componentes do sistema de transporte são mais vulneráveis às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos (So Hoo, 2005; Meyer, 2008) e deverão ser considerados em estratégias e medidas de adaptação:

- Pontes e bueiros (aumento da precipitação média anual, aumento da intensidade de eventos de precipitação, aumento do nível do mar),
- Calçadas e estradas costeiras (aumento do nível do mar e aumento da frequência e intensidade de tempestades),
- Superfícies de pavimento (aumento médio da temperatura anual),
- Drenagem superficial (aumento da intensidade de eventos de precipitação), e
- Estabilidade de encostas (aumento médio da precipitação anual e aumento da intensidade de eventos de precipitação).

Adaptação aparece como um co-benefício do transporte sustentável, e deve contribuir para o aumento da mobilidade. Os sistemas de transportes devem ser eficientes com base na integração modal. O IPCC já adverte para a necessidade de adoção de medidas de adaptação consistentes em novos traçados ou realocação de vias, normas para projetos e planejamento de estradas, ferrovias e outras estruturas, drenagem dos solos, para fazer frente ao aquecimento global (IPCC, 2007).

É importante considerar a adaptação dos sistemas de transporte, seja na integração dos diversos modos, proporcionando assim o aumento da mobilidade. As ferrovias são uma alternativa de significativa importância para redução do número de veículos do sistema viário, reduzindo a queima de combustíveis e a emissão de poluentes. Nesse sentido, investimentos na ampliação das linhas de metrô e trens interurbanos deveriam ser mantidos, uma vez que transportam grandes quantidades de passageiros e reduzem o número de veículos nas ruas e avenidas (INPE, 2010).

#### **5.3.3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS:**

As relações entre transportes e mudança do clima, seja na contribuição do setor para o aquecimento global, como nos efeitos que a mudança climática acarretará sobre a mobilidade e a infraestrutura de transportes correspondente, sinalizam para a importância dos instrumentos de planejamento em diversos níveis, como medidas necessárias para o êxito de ações de mitigação e adaptação.

As oportunidades de adaptação para o setor de transporte podem estar associadas às ações de mitigação, que contribuirão para a melhoria da qualidade do ar, e redução da emissão de GEE, com impacto positivo na saúde das populações, nas condições de transporte, a partir de transporte público mais eficiente e seguro. Todavia, investimentos na infraestrutura e em novos modais de transporte também serão essenciais.

Com relação à adaptação dos sistemas de transportes, as ferrovias são uma alternativa importante para redução do número de veículos do sistema viário, reduzindo a queima de combustíveis e a emissão de poluentes. Nesse sentido, investimentos na ampliação das linhas de metrô e trens interurbanos deveriam ser mantidos, uma vez que transportam grandes quantidades de passageiros e reduzem o número de veículos nas ruas.

No caso do Brasil, embora não seja a opção ideal em termos de mitigação de gases de efeito estufa, a implantação de sistemas de ônibus de alta capacidade operando em faixas exclusivas e segregadas poderiam também contribuir no aumento da mobilidade urbana.

Constata-se a necessidade de elaboração de novos estudos e pesquisas da relação da mudança climática com a vulnerabilidade da infraestrutura de transporte que permitam trazer subsídios mais conclusivos, que possam ser aplicados nas políticas públicas e que contribuam para estratégias alternativas em planejamento no setor de transporte.

A ausência de estudos sobre vulnerabilidades, possíveis impactos das mudanças climáticas e alternativas de adaptação para transportes no Brasil configura-se como uma lacuna na literatura nacional sobre mudança do clima e transportes. O conhecimento de vulnerabilidades associadas às previsões climáticas, os possíveis impactos e medidas de adaptação poderão subsidiar a elaboração e implementação de políticas públicas para transportes, bem como a integração com políticas de desenvolvimento e ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, R.M. *et al.*, 2003: The effects of spatial scale of climate scenarios on economic assessments: an example from US agriculture. *Climatic Change*, 60, 131-148.

Adger, W.N. *et al.*, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity, pp. 717-743. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Parry, M.L. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Alexander, L.V., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *J. Geophys. Res.*, 111.

Andreae, O.M. *et al.*, 2005: Strong present-day aerosol cooling implies a hot future, *Nature*, 435(7046), 1187-1190, doi:10.1038/nature03671.

Antonini, G. *et al.*, 2002: Surface deposits and landslide inventory map at the area affected by the 1997 Umbria-Marche Earthquakes, pp.843-853. *Boll. Sociology Geology*. Special Volume, Number 1, Parte II.

Apolo11.com, 2004: Furacão Catarina: ciclone ou furacão extratropical. [http://www.apolo11.com/furacao\\_catarina.php](http://www.apolo11.com/furacao_catarina.php).

Ardizzone, F. *et al.*, 2008: Landslide hazard assessment: estimation and risk evaluation at the Basin Scale, pp. 70-74. *Proceedings of The First World Landslide Forum*, United Nations University, Tokyo, November, ISDR.

Arnell, N.W., 1999: Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9 (Supplement 1), S31-S49.

Arnell, N.W., 2004: Climate change and *global water resources*: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1), 31-52.

Arrieta, F.R.P. e E.E.S. Lora, 2005: Influence of ambient temperature on combined-cycle power-plant performance. *Applied Energy*, 80(3), 261-272.

Assad, E. e H.S. Pinto, 2008: Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. Embrapa-Cepagri, São Paulo, 82 pp.

Atkinson, N. *et al.*, 2006: Long-term wind speed trends in Northwestern Europe. *BWEA 28 Conference Proceedings*. British Wind Energy Association (BWEA), Glasgow. Disponível em <http://www.docstoc.com/docs/27944172/LONG-TERM-WIND-SPEED-TRENDS-IN-NORTHWESTERN-EUROPE>

Augusto Filho, O. 1994: *Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 167 pp.

Australia, 2011: *Climate Change Risks to Australia's Coast, A First Pass National Assessment*. Australian Government Report, Department of Climate Change and Energy Efficiency, Sydney, Australia, 172 pp.

Baptista, M. e N. Nascimento, 2002: Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(1), 29-49.

- Baptista, M. *et al.*, 2005: *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: EdiçõesABRH, 266 pp.
- Barbieri, A. *et al.*, 2010: Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025 2050. *Population and Environment*, 31(5), 344-370.
- Barbieri, A. F. e U. Confalonieri, 2010: Migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050, pp. 45-65. In: *Viabilização do semiárido do Nordeste: um enfoque multidisciplinar* [Batista Filho, M. e T.C. Miglioli. (Org.)]. Recife, PE: Linceu.
- Barbieri, A. F. e U. Confalonieri, 2011: Climate change, migration and health: exploring potential scenarios of population vulnerability in Brazil, pp. 49-73. In: *Migration and Climate Change* [Piguet E. *et al.* (Orgs.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Barbieri, A. F.: 2011: Mudanças climáticas, mobilidade populacional e cenários de vulnerabilidade para o Brasil. *Rev. Interdiscip. Mob. Hum. (REMHU)*, 36, p. 95-112.
- Barbieri, F.A., 2011: Vulnerabilidade às mudanças climáticas: perspectiva regional de impactos demográficos e socioeconômicos. *SNT*, 8 pp.
- Bartók, B., 2010: Changes in solar energy availability for South-Eastern Europe with respect to global warming. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(1-2), 63-69.
- Betts, R.A. *et al.*, 2007: Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142(2-4), 216-233.
- Bigarella, J.J. *et al.*, 1996: *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*, vol. 2. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 448 pp.
- Boer, G.J. *et al.*, 2004: Is there observational support for an *El Niño*-like pattern of future global warming? *Geophys. Res. Letters*, 31(L06201), 1-4, doi:1029/2003GL018722.
- Boorman, D.B. e C.E. Sefton, 1997: Recognising the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. *Climatic Change*, 35(4), 415-34.
- Brasil, 2007. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007 176 p.  
ISBN 978-85-60133-81-9
- Brázdil, R. *et al.*, 2009: Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. *Int. J. Climatol.*, 29(2), 223-242, doi:10.1002/joc.1718.
- Brennan, E., 1994: Megacities management and innovation strategies: regional views, pp. 233-255. In: *Mega-city Growth and the Future* [Fuchs, R.J. *et al.* (Eds.)]. Bookwell Publications (New Edition, September, 2002), 436 pp.
- Breslow, P.B. e D.J. Sailor, 2002: Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States. *Renewable Energy*, 27(4), 585-598.
- Brodribb, T.J., 2009: Xylem hydraulic physiology: The functional backbone of terrestrial plant productivity. *Plant Science*, 177(4), 245-251.



Brunetti, M.T. *et al.*, 2010: Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards Earth System Science*, 10,447-458.

Bull, S.R. *et al.*, 2007: Effects of climate change on energy production and distribution in the United States, Chapter 3, pp. 30-72. In: *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States* [Thomas, J.W. *et al.* (Eds.)]. A Report by the US Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research. Expert Peer Review Draft, Washington, DC. Disponível em [http://web.ornl.gov/sci/sap\\_4.5/energy\\_impacts/sap4.5draft.pdf](http://web.ornl.gov/sci/sap_4.5/energy_impacts/sap4.5draft.pdf)

Caesar, J. *et al.*, 2006: Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: creation and analysis of a new gridded data set. *J. Geophys.Res.*, 111(D5), D05101, doi:10.1029/2005JD006280.

Cafaro, P., 2012: Climate ethics and policy. *WIREs Climate Change*, 3, 45-61, doi:10.1002/wcc.153.

Calliari, L.J. *et al.*, 2000: Classificação da costa gaúcha com base nos padrões de refração de ondas de tempestades e evidências geomorfológicas de erosão costeira, pp.195-198. Anais, Simpósio Brasileiro Sobre Praias Arenosas: Morfodinâmica, Ecologia, Usos, Riscos e Gestão, Univali, Itajaí, SC, 3-6 de setembro.

Cançado, V. *et al.*, 2006: Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais e princípios metodológicos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11, 135-147.

Carter, R.W.G., 1988: Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, 617 pp.

Castro, L.M.A., 2007: *Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

CCPS, 2007: *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*. A Report by the US Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research [Thomas, J.W. *et al.* (Eds.)]. Department of Energy, Office of Biological, Environmental Research, Washington, DC, USA, 160 pp.

Cedeplar e Fiocruz, 2008: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050. Relatório de Pesquisa: Belo Horizonte, Cedeplar/Fiocruz, Julho de 2008.

Cedeplar/ Fiocruz, 2008: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Relatório de Pesquisa. Belo Horizonte, MG.

Cetesb, 2010: Qualidade do ar no Estado de São Paulo. Série de Relatórios. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), Secretaria do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>.

Chang, H. *et al.*, 2009: Potential impacts of climate change on urban flooding: implications for transportation infrastructure and travel disruption, pp. 72-79. Road Ecology Center, eScholarship, University of California, Davis, CA, USA. Disponível em <http://escholarship.org/uc/item/0xr0p0ff> Acessado em 28/07/2010.

Chang, H. *et al.*, 2009: Potential impacts of climate change on urban flooding: implications for transportation infrastructure and travel disruption, pp. 72-79. Road Ecology Center, eScholarship, University of California, Davis, CA, USA. Disponível em <http://escholarship.org/uc/item/0xr0p0ff>. Acessado em 28/07/2010

Chau, K.T. *et al.*, 2004: Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. *Computers and Geosciences*, 30, 429-443.

Climatempo, 2011. Disponível em <http://climatempo.uol.com.br/>.

CNT, 2010: The value of green infrastructure. A guide to recognizing its economic, environmental and social benefits. Center for Neighborhood Technology (CNT). Disponível em <http://www.cnt.org/repository/gi-values-guide.pdf> Acessado em 2010.

Confalonieri, U.C e M. Barata, 2011: Mapa de vulnerabilidade da população do Estado do Rio de Janeiro aos impactos das mudanças climáticas nas áreas social, saúde e ambiente. Relatório 4, versão final. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 162 pp. Disponível em [http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312228/DLFE-56321.pdf/04\\_relatório\\_vulnerabilidade.pdf](http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1312228/DLFE-56321.pdf/04_relatório_vulnerabilidade.pdf)

Confalonieri, U.E.C. (Coord.), 2005: Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Resultados obtidos. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva (Abrasco), Plano Plurianual de Governo (PPA), Programa de Mudanças Climáticas, Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 201 pp. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/50785.html>

Confalonieri, U.E.C. *et al.*, 2009: Public health vulnerability to climate change in Brazil. *Climate Research*, 40, 175-186.

Costa, G.M. *et al.*, 2009: The role of municipal committees in the development of an integrated urban water policy in Belo Horizonte, Brazil. *Water Science and Technology*, 60(12), 3129-3136.

Costa, H.S.M. e R.L.M. Monte-Mór, 2002: Urbanization and environment, pp. 127-146. In: Rio+10: Population and Environment in Brazil [Hogan, D. *et al.* (Orgs.)]. Campinas: CNPD/ABEP/NEPO.

Cutforth, H.W. e D. Judiesch. 2007: Long-term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie. *Agricultural and Forest Meteorology*, 145(3-4), 167-175.

Cutter, S.L., 2003: GI science, disasters, and emergency management. *Transactions in GIS*, 7(4), 439-445.

Cutter, S.L. *et al.*, 2000: Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 653-831.

DAEE, 2009: Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Governo de São Paulo, São Paulo, SP.

De, U.S. e V.K. Soni, 2009: Climate change, urbanization. What citizens can do? *Journal of Indian Geophysical Union*, 13(1), 43-48.

Denig, S. (Org.), 2007: Megacity challenges: a stakeholder perspective. GlobeScan, MRC McLean Hazel, Siemens AG Corporate Communications (CC), Gareth Lofthouse, Economist Intelligence Unit, Toronto, Canada. Disponível em [http://sd-cite.iisd.org/cgi-bin/koha/opac\\_detail.pl?biblionumber=37508](http://sd-cite.iisd.org/cgi-bin/koha/opac_detail.pl?biblionumber=37508)

Domingues, E.P. *et al.*, 2008: Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Texto para Discussão, 340, 25 pp.

Domingues, E.P. *et al.*, 2010: Impactos econômicos da mudança do clima no Brasil. 38º Encontro Nacional de Economia, Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia (Anpec), Salvador, BA. Disponível em <http://www.anpec.org.br/encontro2010/inscricao/arquivos/000-7b-96492838d085e952fcb78337f4ce23.pdf>

Dufek, A.S.e T. Ambrizzi, 2008: Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(3-4), 167-178.

Dvorak, V. *et al.*, 1997: Climate change hydrology and water resources impact and adaptation for selected river basins in the Czech Republic. *Climatic Change*, 36, 93-106.

Eichelberger, S. *et al.*, 2008: Climate Change Effects on Wind Speed. *North American Windpower*, July, 2008, pp. 1-4.

EM-DAT, 2012: Emergency Events Database (EM-DAT). Centre for Research on the Epidemiology of Disasters Cred. Disponível em <http://www.emdat.be/country-profile>

Emery, K. *et al.*, 1996: Temperature dependency of photovoltaic cells, modules and systems, *Record of the 25th IEEE*, pp. 1275-1278. Photovoltaic Specialists Conference, Washington, DC, 13-17 May, doi:10.1109/PVSC.1996.564365.

EPE, 2007: Plano Nacional de Energia 2030. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx> Acessado em agosto de 2007.

Fankhauser, S., 1995: Protection versus retreat: the economic costs of sea-level rise. *Environ. Plann. A*, 27(2), 299-319.

Feeley, T.J *et al.*, 2008: Water: a critical resource in the thermoelectric power industry. *Energy* 33(1), 1-11.

Ferreira Filho, J.B.S. e M.J. Horridge, 2010: Climate change impacts on agriculture and internal migrations in Brazil In: 2010 *Conference Papers*, Thirteenth Annual Conference on Global Economic Analysis, Penang, Malaysia.

Fouchier, V., 1997: Les densités urbaines et le développement durable: le cas de l'Île de France et des Villes Nouvelles. Paris: Éditions du Secrétariat Général du Groupe Central des Villes Nouvelles.

Gersonius, B. *et al.*, 2011: Accounting for climate change in urban drainage and flooding: contrasting alternative approaches to devising adaptive strategies. *Proceeding of the IWA-IAHR 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre, RS: ABRH.

Gilgen, H. *et al.*, 2009: Decadal changes in shortwave irradiance at the surface in the period from 1960 to 2000 estimated from Global Energy Balance Archive Data. *Jour. Geophys. Res. A*, 114(D10), doi:10.1029/2008JD011383.

Glickman, T.S., 2000: *Glossary of Meteorology*. Boston: American Meteorological Society, 855 pp.

Golgher, A.B. e P. Slaviero, 2009: The selectivity of migration and poverty traps in rural Brazil. In: XXVI IUSSP Annals, International Population Conference 26, Marrakesh, Morocco. Disponível em <http://iussp2009.princeton.edu/papers/92128>

Guan, L., 2009: Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. *Building and Environment*, 44(4), 793-800.

- Guidicini, G. e C.M. Nieble, 1984: *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo, SP: 2a ed., Edgard Blücher, 194 pp.
- Guzzetti, F. *et al.*, 2009: Central Italy seismic sequences-induced landsliding: 1997-1998 Umbria-Marche and 2008-2009, L'Aquila Cases. The Next Generation of Research on Earthquake-induced Landslides: An International Conference in Commemoration of 10th Anniversary of the Chi-Chi Earthquake, *Proceedings*, number 300, published by the National Central University, September National Central University, Taiwan.
- Hamlet, A.F. *et al.*, 2010: Effects of projected climate change on energy supply and demand in the Pacific Northwest and Washington State, Chapter 4: Energy, pp. 165-90. In: *The Washington Climate Change Impacts Assessment. Evaluating Washington's Future in a Changing Climate* [Littell, J.S. *et al.* (Eds.)]. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (Jisao) Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, 2010. Disponível em <http://ces.washington.edu/cig/files/waccia/ch4energy.pdf>
- Harrison, G.P. e H.B.W. Whittington, 2002: Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *Journal of Hydrology*, 264(1-4), 230-241.
- Haylock, M.R. *et al.*, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490-1512.
- Hervás, J., 2007: Guidelines for mapping areas at risk of landslides in Europe. *Proceedings of the Experts Meeting*, October, Institute for Environment and Sustainability Joint Research Centre (JRC), Ispra, Italy, 50 pp.
- Hogan, D.J., 2001: Demographic aspects of global environmental change: what is Brazil's contribution? pp.15-41. In: *Human Dimensions of Global Environmental Change* [Hogan, D.J. e M.T. Tolmasquim, (Eds.)]. Rio de Janeiro, RJ: Academia Brasileira de Ciências.
- IBAMA, 2002. GEO Brasil 2002 – Perspectivas de meio ambiente no Brasil. Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara. - Brasília: Edições IBAMA 440p.: il. ISBN 85 - 7300 - 144 – 5 Disponível em [https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site\\_cnia/geo\\_brasil\\_2002.pdf](https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site_cnia/geo_brasil_2002.pdf)
- IBGE, 2010: CENSO 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro (IBGE), RJ. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/primeiros\\_resultados/default\\_primeiros\\_resultados.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/primeiros_resultados/default_primeiros_resultados.shtm)
- Innocentini, V. e F.O. Arantes, 2001: Ondas do mar: conhecer para explorar. *Ciência Hoje*, 1(39). 40-46.
- Inpe, 2010: Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 32 pp. Disponível em [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo\\_megacidades.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo_megacidades.pdf). Acessado em 28/07/2010.
- Inpe, 2010: Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo, pp. 27-28. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Disponível em <http://www.planetaverde.org/mudancasclimaticas/index.php?ling=por&cont=documentos>. Acessado em 28/07/2010
- IPCC, 2000: *IPCC Special Report on Emission Scenarios. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Vienna, Austria.

IPCC, 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability. In: *Climate Change 2007, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 976 pp.

IPCC, 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: *Climate Change 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 976pp.

IPCC, 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: *Climate Change 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 900 pp.

IPCC, 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: *Climate Change 2007, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* [Parry, M.L. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 976 pp.

IPCC, 2007a: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 18 pp.

IPCC, 2007b: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. *Climate Change 2007, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report (AR-4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 23 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, e New York, NY, USA, 582 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp.

IPCC: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 582 pp.

Jacob, K. et al., (2007, in press): Vulnerability of the New York City Metropolitan Area to coastal hazards, including sea level rise. Inferences for urban coastal risk management and adaptation policies, Chapter 9. In: *Managing Coastal Vulnerability: Global, Regional, Local* [McFadden, L. et al. (Eds.)]. Amsterdam, London, New York: Elsevier Science.

Jacob, K. et al., (2007, in press): Vulnerability of the New York City Metropolitan Area to Coastal Hazards, Including Sea Level Rise – Inferences for Urban Coastal Risk Management and Adaptation Policies, Chapter 9. In: *Managing Coastal Vulnerability: Global, Regional, Local* [McFadden, L. et al.

(Eds.). Amsterdam, London, New York: Elsevier Science.

Jiang, T. *et al.*, 2007: Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336, 316-333.

Kendall, M.G. e F.Y. Edgeworth, 1968: 1845-1926. *Biometrika*, 55(2), 269-275.

Kobiyama, M. *et al.*, 2006: Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba, PR: Editora Organic Training, 124 pp.

Koch, H. e S. Vögele, 2009: Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change. *Ecological Economics*, 68(7), 2031-2039.

Koch, J. e J. MacArthur, 2013. Assessing public transportation agencies' climate change adaptation activities and needs. Submitted for presentation and publication to the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Disponível em <http://docs.trb.org/prp/13-4525.pdf>

Koch, J. e J. MacArthur, 2013. Assessing public transportation agencies' climate change adaptation activities and needs. Submitted for presentation and publication to the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Disponível em <http://docs.trb.org/prp/13-4525.pdf>

Koetse, M.J. e P. Rietveld, 2007: Climate change, adverse weather conditions, and transport: a literature survey. Disponível em [http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange\\_Sea\\_LevelRise-references/Koetse\\_Rietveld\\_2007.pdf](http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange_Sea_LevelRise-references/Koetse_Rietveld_2007.pdf)

Koetse, M.J. e P. Rietveld, 2007: Climate change, adverse weather conditions, and transport: a literature survey. Disponível em [http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange\\_Sea\\_LevelRise-references/Koetse\\_Rietveld\\_2007.pdf](http://ced.berkeley.edu/faculty/ratt/readings/ClimateChange_Sea_LevelRise-references/Koetse_Rietveld_2007.pdf)

Kopytko, N. e V Perkins, 2011: Climate change, nuclear power, and the adaptation-mitigation dilemma. *Energy Policy*, 39(1), 318-333.

Kundzewicz, Z.W. *et al.*, 2007: Freshwater resources and their management, pp. 173-210. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Parry, M.L. *et al.*, (Eds.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Lehner, A.B. *et al.*, 2005: The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energy Policy*, 33, 839-855.

Lemos, M. B. *et al.*, 2009: Perspectivas do investimento na dimensão regional. Relatório final do estudo transversal, integrante da pesquisa Perspectivas do Investimento no Brasil, Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 241 pp.

Lindquist, E., 2007: Climate change and adaptive strategies in sub-national transportation planning agencies in the United States. Prepared for presentation at the 2007 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Amsterdam, Netherlands, Vrije Universiteit, May 24-26, 8 pp.

Lindquist, E., 2007: Climate Change and Adaptive Strategies in Sub-national Transportation Planning Agencies in the United States. Prepared for presentation at the 2007 Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change, Amsterdam, Netherlands, Vrije Universiteit, May 24-26, 8 pp.

- Lombardo, M.A., 1985: *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo, SP: Editora Hucitec, 210 pp.
- Lucena, A.F.P. et al., 2009b: The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. *Energy Policy*, 37, 879-889.
- Lucena, A.F.P. et al., 2009a: Renewable energy in an unpredictable and changing climate. *Modern Energy Review*, 1, 22-25.
- Lucena, A.F.P. et al., 2010a: The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. *Renewable Energy*, 35, 904-912.
- Lucena, A.F.P. et al., 2010b: Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system. *Global Environ. Change*, 20, 342-350.
- Lucena, A.F.P. et al., 2010c: Estudo de vulnerabilidade do sistema hidroelétrico brasileiro às mudanças climáticas. Relatório Técnico para a Segunda Comunicação Nacional para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. GEF-PNUD/Brasil-MCT.
- Marcelino, E.V., 2008: Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Caderno Didático nº 1, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS), Santa Maria, RS: Inpe /CRS.
- Marengo, J.A. et al., 2010: An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: historical trends. *Climatic Change*, 98, 509-529.
- Marengo, J.A., 2007: Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF, 2007.
- Marengo, J.A., 2009: Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the precis regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 15, 2241-2255.
- Marengo, J.A., 2009: Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciências do Sistema Terrestre, São Paulo, Brasil. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC), 8(Edição especial), 1-5.
- Margulis, S. et al., 2010: Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades / editado por Sergio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch. – São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82 p.
- Maricato, E., 2000: As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias. Planejamento urbano no Brasil, pp. 121-192. In: A cidade do pensamento único: desmanchando consENSOs [Arantes, O. et al. (Eds.)]. Petrópolis, RJ: Editora Vozes.
- Marques, E. (Coord.), 2007: Assentamentos precários no Brasil urbano. Centro de Estudos da Metrópole/Cebrap; Secretaria Nacional de Habitação (SNH) do Ministério das Cidades.
- Martelloni, G. et al., 2011: Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. *Landslides*, 9(4), 485-495.

- Martins, F.R. e E.B. Pereira, 2006: Parameterization of aerosols from burning biomass in the Brazil-SR radiative transfer model. *Solar Energy*, 80(3), 231-239, doi:10.1016/j.solener.2005.03.008.
- Martins, F.R. *et al.*, 2008: The influence of cloud cover index on the accuracy of solar irradiance model estimates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 99(3-4), 169-180, doi:10.1007/s00703-007-0272-5.
- McVicar, T.R. *et al.*, 2008: Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison surface reanalysis output. *Geophys. Res. Letters*, 35(20), doi:10.1029/2008GL035627.
- Mendiondo, E.M., 2005: Flood risk management of urban waters in humid tropics: early-warning, protection and rehabilitation. In: *Workshop on Integrated Urban Water Management in Humid Tropics*, Unesco IHP-VI (Int. Hydrol. Program), 2-3 April, Foz de Iguaçu, Brazil, [C. Tucci e J. Goldenfum (Orgs.)].
- Meyer, M. D., 2008: Design Standards for U.S. Transportation Infrastructure: The Implications of Climate Change. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 30 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Meyer.pdf> Acessado em 28/09/2010.
- Meyer, M.D., 2008: Design standards for US transportation infrastructure: the implications of climate change. Georgia Institute of Technology, Atlanta, 30 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Meyer.pdf> Acessado em 28/09/2010.
- Mideksa, T.K. e S. Kallbekken, 2010: The impact of climate change on the electricity market: a review. *Energy Policy*, 38(7), pp. 3579-3585.
- Milanez, B. e M.F.S. Porto, 2008: A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990. IV Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Anppas). Brasília, DF, 4-6 de junho. Disponível em <http://anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT6-61-8-20080509163054.pdf>
- MME, 2010: Balanço Energético Nacional 2010, ano base 2009. Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ: EPE.
- MMS, 2006: Impact Assessment of Offshore Facilities from Hurricanes Katrina and Rita. Minerals Management Service (MMD), Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) News Release.
- Moraes, G.I e J.B.S. Ferreira Filho, 2010: Impactos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira. In: *Anais, 48º Congresso da Sober. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (Sober)*, 48, Campo Grande, MS, 25 a 28 de julho. Disponível em <http://www.sober.org.br/palestra/15/381.pdf>
- Motta, D.M., 2004: As metrópoles e os desafios das políticas urbanas, pp.127-156. In *Metrópoles: entre a coesão e a fragmentação, a cooperação e o conflito* [Lago, L.C. *et al.* (Orgs.)]. São Paulo, SP: Editora Fundação Perseu Abramo, 432 pp.
- Motta, R.S. *et al.* (Orgs.), 2011: Mudança do clima no Brasil: aspectos sociais, econômicos e regulatórios. Instituto de Pesquisas Econômicas (IPEA) Brasília, DF. Disponível em [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&id=10196](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&id=10196)



- Muehe, D., 2010: Brazilian coastal vulnerability to climate change. *Pan-American Journal of Aquatic Science*, 5(2), 173-183.
- Nasa, 2004: The Nameless Hurricane. Disponível em [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/02apr\\_hurricane](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/02apr_hurricane).
- Nascimento, N. *et al.*, 2006: Long term uncertainties and potential risks to urban waters in Belo Horizonte. SWITCH Project. First SWITCH Scientific Meeting, University of Birmingham, UK, 9-10 Jan 2006. Disponível em [http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CBEL\\_PAP\\_Uncertainties\\_and\\_risks\\_to\\_urban\\_waters\\_BH.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CBEL_PAP_Uncertainties_and_risks_to_urban_waters_BH.pdf). Acessado em outubro de 2011.
- Nascimento, N. *et al.*, 2008: Integrated urban water management in Belo Horizonte, Brazil. Semana Temática: Agua y ciudad. Expo-Zaragoza 2008. Zaragoza, España. Disponível em <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/9S2-P3-NiloNascimentoACC.pdf>
- Neves, C. e D. Muehe, 2008: Mudanças do clima e zonas costeiras brasileiras. In: *Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*. Parcerias Estratégicas, número 27, Brasília-DF.
- Nicholls, R.J. e R.S.J. Tol, 2006: Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the 21st Century. *Philos. T. Roy. Soc. A*, 364, 1073-1095.
- Nielsen, J.B. *et al.*, 2011: Decoupling of road runoff water as a tool to ensure climate adaptation and development of recreative areas. *Proceeding of the IWA-IAHR 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre: Edições ABRH.
- NOAA, 2012: Storm Surge Overview. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponível em <http://www.nhc.noaa.gov/ssurge/>. Acessado em fevereiro de 2012.
- Nobre, C. *et al.*, 2007: Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura (SBPC)*, 59, 22-27.
- Nobre, C.A. e A.F. Young (Eds.), 2011: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas. Relatório Final. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo, SP, Brasil, 178 pp. Disponível em [http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades\\_web.pdf](http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades_web.pdf).
- Nobre, C.A. e A.F. Young (Eds.), 2011: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas. Relatório Final. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), São Paulo, SP, Brasil, 178 pp. Disponível em [http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades\\_web.pdf](http://megacidades.ccst.inpe.br/arquivos/megacidades_web.pdf)
- Nobre, C.A. *et al.*, 2011a: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo, Capítulo 13, pp. 233-258. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos sociais, econômicos e regulatórios* [Motta, R.S. *et al.* (Eds.)]. Brasília, DF: IPEA.
- Ohmura, A. e H. Lang, 1989: Secular variation of global radiation in Europe, pp. 298-301. In: *Current Problems in Atmospheric Radiation* [Lenoble, J. e Geleyn, J.-F. (Eds.)]. Hampton, VA, USA: Deepak Publ., 635 pp.
- Oke, T.R., 1987: *Boundary Layer Climates*. Second edition. New York, NY, USA: Routledge.
- Oliveira, L.M. *et al.*, 1999: Perfil da indústria de rochas calcárias. Programa de Desenvolvimento da Indústria Mineral Paranaense. Paraná Mineral, Curitiba, PR. Disponível em [http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios\\_concluidos/05\\_relatorios\\_concluidos.pdf](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/05_relatorios_concluidos.pdf)

Oswald, M.R. e S. McNeil, 2013: Methodology for integrating adaptation to climate change into the transportation planning process. *Public Works Management & Policy* 18(2), 145-166. Disponível em <http://pwm.sagepub.com/content/18/2/145.full.pdf+html>

Oswald, M.R. e S. McNeil, 2013: Methodology for Integrating Adaptation to Climate Change into the Transportation Planning Process. *Public Works Management & Policy*, 18(2), 145-166. Disponível em <http://pwm.sagepub.com/content/18/2/145.full.pdf+html>

Pacheco, C.A., 1998: Fragmentação da nação – 30 anos de economia. Instituto de Economia da Universidade Estadual e Campinas (Unicamp). Fapesp.

Parker, D.S. e T.C. Stedman, 2005: Energy efficient transportation for Florida. Florida Solar Energy Center, University of Central Florida, Cocoa, FL, USA. Energy Note FSEC-EN-19. Disponível em <http://infohouse.p2ric.org/ref/12/11355.pdf>.

Pereira, E.B. *et al.*, 2006: *Atlas brasileiro de energia solar (Brazilian Atlas of Solar Energy)*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). São José dos Campos, SP: Inpe, 60 pp.

Pereira, E.B. *et al.*, 2012: The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. *Renewable Energy*, 49(1-4), 107-110, doi:10.1016/j.renene.2012.01.053. Disponível em [http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/periodicos/RENE\\_4564.pdf](http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/periodicos/RENE_4564.pdf).

Peterson, T.C. *et al.*, 2006: Climate Variability and Change with Implications for Transportation, 90 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf> Acessado em 28/09/2010.

Peterson, T.C. *et al.*, 2006: Climate Variability and Change with Implications for Transportation, 90 pp. Transportation Research Board of the National Academies, TRB Publications Index. Disponível em <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr290Many.pdf> Acessado em: 28/09/2010.

Pinker R.T. *et al.*, 2005: Do satellites detect trends in surface solar radiation? *Science*, 308(5723), 850-854, doi:10.1126/science.1103159.

Pinto, H.S. e E. Assad (Coords.), 2008: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. Relatório de Pesquisa. Contrato FCO-GOF: PGL GCC 0214, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri/Unicamp) e Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPTIA/Embrapa), Campinas, SP.

Pinto, H.S. e E. Assad (Coords.), 2008: Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. Relatório de Pesquisa. Contrato FCO-GOF: PGL GCC 0214, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri-Unicamp) e Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPTIA-Embrapa), Campinas, SP.

PMSP, 1999a: *Atlas ambiental da cidade de São Paulo*. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) e Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (Sempla). Revisado em 2000. Disponível em <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/?id=1>.

PMSP, 1999b: Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo. [Ramos, C.L. *et al.* (Coords)]. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP. Disponível em [http://www.usp.br/fau/docentes/dep-tecnologia/r\\_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf](http://www.usp.br/fau/docentes/dep-tecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf).

- Porto Alegre, 2005: Cadernos de encargos. Prefeitura Municipal, Departamento de Esgotos Pluviais (CE-DEP).
- Pryor, S.C. e R.J. Barthelmie, 2010: Climate change impacts on wind energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 430-437.
- Pryor, S.C. et al., 2009: Wind speed trends over the contiguous United States. *J. Geophys. Res.*, 114(D14), doi:10.1029/2008JD011416
- Queiroz, B. e A. Barbieri, 2009: Os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre as condições de vida e a dinâmica populacional no Nordeste Brasileiro. In: *População e mudança climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais* [Hogan, D.J. e E. Marandola Jr. (Orgs.)]. Núcleo de Estudos de População da Universidade Estadual de Campinas (Nepo/Unicamp) / United Nations Population Fund (UNFPA). Campinas, SP / Brasília, DF.
- Reichenbach, P. e A. Günther, 2010: Methods and strategies to evaluate landslide hazard and risk. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2197-2198, doi:10.5194/nhess-10-2197-2010.
- Reilly, J. et al., 2003: US agriculture and climate change: new results. *Climatic Change*, 57, 43-69.
- Repetto, R., 2008: The climate crisis and the adaptation myth. Yale School of Forestry & Environmental Studies, Working Paper Number 13, New Haven, Connecticut, USA, 24 pp. Disponível em <http://www.yale.edu/environment/publications>. Acessado em 26/09/2010.
- Repetto, R., 2008: The Climate Crisis and the Adaptation Myth. Yale School of Forestry & Environmental Studies, Working Paper Number 13, New Haven, Connecticut, USA, 24 pp. Disponível em <http://www.yale.edu/environment/publications>. Acessado em 26/09/2010.
- Ribeiro, W.C., 2008: Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. *Parcerias Estratégicas*, 27, 297-321.
- Richardson, A.J., 2000: Seasonal and weather impacts on urban cycling trips. TUTI Report 1-2000, The Urban Transport Institute, Victoria, Australia.
- Richardson, A.J., 2000: Seasonal and Weather Impacts on Urban Cycling Trips. TUTI Report 1-2000, The Urban Transport Institute, Victoria, Australia.
- Righetto, A. (Org.), 2009: *Manejo de águas pluviais urbanas*, vol. 4. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes)/ Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). Rio de Janeiro, RJ: Editora Abes/ Prosab.
- Rosenzweig, C. e M.L. Parry, 1994: Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367, 133-138, doi:10.1038/367133a0.
- Rosenzweig, C. et al., 2011: Responding to Climate Change in New York State: The ClimAID Integrated Assessment for Effective Climate Change Adaptation in New York State, Final Report. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1244, 2-649, doi:10.1111/j.1749-6632.2011.06331.x.
- Ross, J. L., 2004: Águas pluviais urbanas. In: *Geografia de São Paulo 2. A metrópole do séc. XXI*. [Carlos, F. e A.U. Oliveira (Orgs.)]. São Paulo, SP: Editora Contexto.
- Roujol, S. e R. Jounard, 2009: Influence of passenger car auxiliaries on pollutant emission factors within the Artemis model. *Atmospheric Environment*, 43(5), 1008-1014.

- Russak, V., 1990: Trends of solar radiation, cloudiness and atmospheric transparency during recent decades in Estonia. *Tellus B*, 42(2), 206-210, doi:10.1034/j.1600-0889.1990.t01-1-00006.x.
- Salati, E. et al., 2007: Tendências de variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI. Relatório no4, Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)/ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Rio de Janeiro, RJ/ São Paulo, SP.
- Salati, E. et al., 2009: Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS).
- Schaeffer, R. et al., 2008: Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Technical Report, PPE/COPPE/UFRJ. Nova Brasileira, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro. 67 pp. Disponível em [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA\\_E\\_SEGURANCA-ENERGETICA\\_FINAL.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA_E_SEGURANCA-ENERGETICA_FINAL.pdf)
- Schaeffer, R. et al., 2010. Economia das mudanças climáticas no Brasil: segurança energética. Relatório técnico, PPE/COPPE/UFRJ.
- Schaeffer, R. et al., 2012: Energy sector vulnerability to climate change: a review. *Energy*, 38(1), 1-12.
- Scott, M.J. e Y.J. Huang, 2007: Effects of climate change on energy use in the United States, Chapter 2, pp.2-19. In *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States*. [Thomas J.W. et al. (Eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research. Expert Peer Review Draft, Washington, DC. Disponível em [http://web.ornl.gov/sci/sap\\_4.5/energy\\_impacts/sap4.5draft.pdf](http://web.ornl.gov/sci/sap_4.5/energy_impacts/sap4.5draft.pdf).
- Siekman, T. e K. Müller, 2011: Adaptive potential of the stormwater management in urban areas faced by climate change. *Proceeding of the IWA-IAHR 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre: Edições ABRH.
- Silva Dias, M.A.F., 2011: An increase in the number of tornado reports in Brazil. *Weather, Climate and Society*, 3, 209-217.
- Silva, G.L., 2005: *Redução de corante em efluente de processo de tingimento de lavanderias industriais por adsorção em argila*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP, 120 pp.
- Silva, J.M.C. et al., 2008: Impactos ambientais da exploração e produção de petróleo na Bacia de Campos, RJ. IV Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Anppas). Brasília, DF, 4-6 de junho.
- Siqueira, O.J.W. et al., 2001: Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas, Capítulo 2, pp. 33-63. In: *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 397 pp.
- SooHoo, W. K. e M. Sumitani, 2005: Climate Change will Impact the Seattle Department of Transportation. Office of City Auditor, Susan Cohen, City Auditor, Seattle, Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 49 pp. Disponível em <http://www.tuti.com.au/2000veloschweiz.pdf> Acessado em 26/09/2010.

SooHoo, W.K. e M. Sumitani, 2005: Climate change will impact the Seattle Department of Transportation. Office of City Auditor, Susan Cohen, City Auditor, Seattle, Climate Impacts Group, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 49 pp. Disponível em <http://www.tuti.com.au/2000veloschweiz.pdf>. Acessado em 26/09/2010.

Spirn, A., 1995: *O jardim de granito: a natureza no desenho da cidade*. São Paulo, SP: Edusp, 360 pp.  
Stott, P.A. et al., 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432, 610-614, doi:10.1038/nature03089.

Szklo, A.S. et al, 2005. *Fundamentos do refino de petróleo. Tecnologia e economia*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 344 pp.

Takeda, M., 2011: Mental healthcare and East Japan Great Earthquake. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 65, 207-212.

Tatham, P. et al., 2012: Cyclone preparedness and response: an analysis of lessons identified using an adapted military planning framework. *Disasters*, 36(1), 54-82.

Tebaldi, C. et al., 2006: Going to extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 79: 185-211, doi:10.1007/s10584-006-9051-4.

Thomas, B.R. et al., 2008: Trends in ship wind speeds adjusted for observation method and height. *Int. J. Climatol.*, 28(6), 747-763, doi:10.1002/joc.1570.

Thomas, P. et al., 2009: Long-term wind speed trends in Northwestern Europe. *EWEC 2009 Proceedings*. European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC), Marseille, France, 16-19 March, 5 pp.

Tolmasquim, M. et al. 2003: *Mercado de gás natural na indústria química e no setor hospitalar brasileiro*. Rio de Janeiro, RJ: Edições Cenergia.

Tominaga, L.K. et al., 2009: *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, Secretaria de Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, SP: Instituto Geológico, 197 pp. Disponível em <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>

Travassos, L., 2010: *Revelando os rios. Novos paradigmas para a intervenção em fundos de vale urbanos na cidade de São Paulo*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo (Procam/USP), São Paulo, SP.

TRB, 2008: The potential impacts of climate change on US transportation. National Research Council of the National Academies. Transportation Research Board (TRB) Special Report 290, 280 pp.

TRB, 2008: The Potential Impacts of Climate Change on US Transportation. National Research Council of the National Academies. Transportation Research Board (TRB) Special Report 290, 280 pp.

TRL, 2011: *Resilient Mobility: Creating an Adaptive Future for Transport*. UK, 1 p. Transport Research Laboratory (TRL).

TRL, 2011: *Resilient Mobility: Creating an Adaptive Future for Transport*. UK, 1 p. Transport Research Laboratory (TRL), Disponível em [http://www.trl.co.uk/transport\\_consultancy/climate\\_change\\_in\\_the\\_transport\\_sector/resilient\\_mobility](http://www.trl.co.uk/transport_consultancy/climate_change_in_the_transport_sector/resilient_mobility) Acessado em 26/07/2010.

Tucci, C.e D.M. Marques, (Orgs.), 2001: *Avaliação e controle da drenagem urbana*, vol. 2, Porto Alegre: Edições ABRH.

Unctad, 2009: Multi-year expert meeting on transport and trade facilitation: maritime transport and the climate change challenge. Summary of Proceedings. *United Nations Conference on Trade and Development* (Unctad), Geneva, 16-18 February, pp.1-47.

UNFPA - *United Nations Population Fund*, 2007: The State of World Population. Unleashing the Potential of Urban Growth. (UNFPA). New York, (NY), USA. Disponível em [http://www.unfpa.org/public/cache/bypass/home/publications/search\\_pubs](http://www.unfpa.org/public/cache/bypass/home/publications/search_pubs).

*United Nations*, 2008: Nations Expert Group Meeting on Population Distribution, Urbanization (UN/POP/EGM-URB), Internal Migration and Development, Economical and Social Affairs. 21-23 January, New York, NY, USA.

US DOT Center, 2002: The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Workshop Summary, pp. 3-28. US Department of Transport (DOT) Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Federal Research Partnership Workshop, Summary and Discussion Papers, October 1-2, USA.

US DOT Center, 2002: The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Workshop Summary, pp. 3-28. US Department of Transport (DOT) Center for Climate Change and Environmental Forecasting, Federal Research Partnership Workshop, Summary and Discussion Papers, October 1-2, USA.

Valverde, M. e J.A. Marengo, 2010: Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais IPCC AR-4. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(1), 125-145.

Veissid, N. e E.B. Pereira, 2000: Estimativa do albedo planetário empregando dados do Experimento Célula Solar do satélite brasileiro SCD2. *Brazilian Journal of Geophysics*, 18(1), 25-38.

Veissid, N., 2002: Variabilidade climática caracterizada pelo desvio padrão do albedo planetário. Anais no 2142-1, CD-ROM. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia: A Meteorologia e a Gestão de Energia, Foz do Iguaçu, PR, 4-9 de agosto.

Vicuña, S. *et al.*, 2006: Climate change impacts on high elevation hydropower generation in California's Sierra Nevada: A case study in the Upper American River. California Climate Change Center, California Energy Commission, CEC-500-2005-199-SF.

Vincent, L.A. *et al.*, 2005: Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18, 5011-5023.

Wilbanks, T.J. *et al.*, 2007: Introduction, pp.2-6. In: *Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States* [Thomas J.W. *et al.* (Eds.)]. A Report by the U.S. Climate Change Science Program (CCPS) and the Subcommittee on Global Change Research. Expert Peer Review Draft, Washington, DC. Disponível em [http://web.ornl.gov/sci/sap\\_4.5/energy\\_impacts/sap4.5draft.pdf](http://web.ornl.gov/sci/sap_4.5/energy_impacts/sap4.5draft.pdf).

Wild, M. *et al.*, 2007: Impact of global dimming and brightening on global warming. *Geophysical Research Letters*, 34(4), doi:10.1029/2006GL028031.

World Bank, 2010: Brasil: país de baixo carbono. Programa de Apoio à Gestão do Setor Energético. Estudos de Baixo Carbono para Países. Mitigação da Mudança Climática por Meio do Desenvolvimento. Nota Informativa 005/1, 30 pp. Disponível em: [http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/2011000172BRAbra001\\_LowRes.pdf](http://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/2011000172BRAbra001_LowRes.pdf)

Xiaopei, Y. *et al.*, 2006: Urbanization research in China: many opportunities and challenges. IHDP Update. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP), Bonn, Germany.

Ye, J., et al., 2009: Solar dimming and its impact on estimating solar radiation from diurnal temperature range in China, 1961-2007. *Theor.Appl. Climatol.*, 101, 137-142, doi:10.1007/s00704-009-0213-y.

Yevdokimov, Y. 2010: Climate change and transportation, pp. 427-438. In: *Climate Change and Variability*, [Simard, S. (Ed.)], Sciyo Publisher. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/climate-change-and-variability>.

Yevdokimov, Y. 2010: Climate Change and Transportation, pp. 427-438. In: *Climate Change and Variability*, [Simard, S. (Ed.)], Sciyo Publisher. Disponível em <http://www.intechopen.com/books/climate-change-and-variability>

Yohe, G.W. e M.E. Schlesinger, 1998: Sea-level change: the expected economic cost of protection or abandonment in the United States. *Climatic Change*, 38, 447-472.

Zimmerman, R. e C. Faris, 2010: Infrastructure impacts and adaptation challenges, Chapter 4. In: Volume 1196, *Climate Change Adaptation in New York City: Building a Risk Management Response*. New York City Panel on Climate Change 2010 Report, pages 63-86. Disponível em <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nyas.2010.1196.issue-1/issuetoc>.

## CAPÍTULO 6

### SAÚDE HUMANA, BEM-ESTAR E SEGURANÇA

**Autores principais:** Paulo Hilário Nascimento Saldiva- USP; Roberto Luiz do Carmo – UNICAMP; Pedro Dantas Fernandes- UFCG; Roberto Germano Costa-UEPB

**Autores colaboradores:** Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho –USP; Samya de Lara Pinheiro –USP; Hélio dos Santos Silva – FURB; Alfredo Kingo Oyama Homma-EMBRAPA; Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer-CETESB;

**Autores revisores:** Ulisses Eugenio Cavalcanti Confalonieri – FIOCRUZ; Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer-CETESB; Norma Felicidade Lopes da Silva Valencio- UNICAMP; Alberício Pereira de Andrade- INSA; Jair do Amaral Filho-UFC



## ÍNDICE

<b>6.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SAÚDE HUMANA: UMA PERSPECTIVA BRASILEIRA</b>	<b>266</b>
6.1.1. INTRODUÇÃO	266
6.1.2. CLIMA, POLUIÇÃO E OS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA	269
6.1.2.1. ESTUDOS NO BRASIL	269
6.1.2.2. DOENÇAS VEICULADAS POR VETORES: DENGUE	270
6.1.2.3. ESTUDOS NA METRÓPOLE: SÃO PAULO	271
6.1.3. COBENEFÍCIOS IMEDIATOS E LOCAIS À SAÚDE HUMANA DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.	274
6.1.4. CIDADES COMO CAMINHO PARA AS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	275
6.1.5. RECOMENDAÇÕES	275
<b>6.2 SEGURANÇA HUMANA</b>	<b>275</b>
6.2.1. INTRODUÇÃO	275
6.2.2. SEGURANÇA HUMANA A PARTIR DA PERSPECTIVA DOS CONCEITOS DE RISCO E VULNERABILIDADE	277
6.2.3. PERCEPÇÃO AMBIENTAL E RISCOS	278
6.2.4. EM SÍNTESE	280
<b>6.3. SUBSISTÊNCIA E POBREZA</b>	<b>281</b>
6.3.1. INTRODUÇÃO	281
6.3.2. SUBSISTÊNCIA	282
6.3.2.1. SUBSISTÊNCIA EM EXTRATIVISMO AGRÍCOLA	284
6.3.2.2. FRUTAS DO SEMIÁRIDO	285
6.3.3. SUBSISTÊNCIA – POBREZA E FOME	287
6.3.4. SUBSISTÊNCIA E SAÚDE	289
6.3.5. AMAZÔNIA: AÇÕES PARA REDUZIR A SUBSISTÊNCIA, A POBREZA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	290
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>304</b>

## 6.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SAÚDE HUMANA: UMA PERSPECTIVA BRASILEIRA

### 6.1.1. INTRODUÇÃO

Em se tratando das mudanças climáticas de origem antrópica, paradoxalmente o próprio homem é um dos alvos preferenciais dos impactos dos desequilíbrios ambientais por ele causados. Em áreas urbanas, a população vivenciará os impactos das inundações, dos deslizamentos de terra, do recrudescimento de doenças veiculadas por insetos, da carência de água e alimentos e dos deslocamentos de grande número de pessoas (Hopp e Foley, 2003; Saldiva, 2010). A vulnerabilidade ambiental dos grandes centros urbanos é mais acentuada nas megacidades dos países em desenvolvimento que experimentaram crescimento muitas vezes caótico, criando cinturões de pobreza onde a qualidade dos serviços ambientais é precária. Ilhas de calor, moradias situadas em áreas críticas de declividade ou de enchentes, transporte e saneamento básico precários são a regra na periferia das grandes cidades do mundo em desenvolvimento, aumentando a vulnerabilidade dos mais desfavorecidos às mudanças climáticas e criando as bases da desigualdade socioeconômica e ambiental (Tarifa e Armani, 2001; Ribeiro, 2005; Martins *et al.*, 2004, Saldiva, 2010).

A magnitude e intensidade dos impactos à saúde humana que podem advir das mudanças climáticas tornam imperativas medidas de mitigação e adaptação, que envolvem investimentos de monta, bem como mudanças significativas de comportamento humano em relação aos seus hábitos de consumo. Mantido o atual padrão de consumo energético excessivo e insustentável, incorreremos em riscos importantes para a saúde humana. O acúmulo de poluentes primários emitidos a partir de termoelétricas e escapamentos de veículos aumentará a taxa de mortalidade por câncer e doenças dos sistemas cardiovascular e respiratório. O aumento do ozônio troposférico causará danos aos nossos pulmões (Saldiva *et al.*, 1995; Braga, 2002; Coelho-Zanotti, 2010). Maior dose de radiação ultravioleta elevará o risco para tumores de pele. O consumo de água de pior qualidade levará a uma maior taxa de doenças de veiculação hídrica, como a diarreia ou intoxicação por metais pesados (McMichael e Githeko, 2001). Os mosquitos transmissores de doenças infecciosas, como a malária e a dengue, proliferarão mais rapidamente e invadirão áreas hoje de clima temperado, aumentando o número de vítimas (Reiter *et al.*, 2004; Patz *et al.*, 2005; Sutherst, 1998). Outro ponto a merecer atenção é que as cidades vêm apresentando alterações do seu perfil climático, que embora dependam de fenômenos locais, como alterações do uso e ocupação do solo e aumento da frota automotiva, reproduzem em micro escala algumas das alterações globais esperadas frente ao aquecimento global. Neste cenário, as alterações do clima urbano, de caráter regional, podem fornecer indicações quantitativas de como os seres humanos, respondem às variações do clima. Finalmente, as megacidades, notadamente aquelas situadas nos países em desenvolvimento, possuem elevada heterogeneidade socioeconômica, configurando um verdadeiro “laboratório natural” para obter parâmetros sobre como as condições de privação econômica e cultural influenciam as alterações climáticas. Em resumo, o estudo das relações entre saúde e mudanças regionais do clima urbano pode fornecer importantes indicações sobre as consequências futuras das alterações climáticas globais sobre a qualidade de vida de nosso planeta. Infelizmente, informações extraídas dos laboratórios nossos, tanto no contexto das vulnerabilidades como das medidas de adaptação quando da ocorrência de eventos que resultaram em impactos danosos, ou até em catástrofes. Em novembro de 2008, o Estado de Santa Catarina foi surpreendido por um evento de precipitação intensa onde, aproximadamente, 700 mm de chuva em 4 dias devastaram parte do Vale do Itajaí. O Centro de Operações de Defesa Civil de Santa Catarina estimou que 1,5 milhões de pessoas afetadas, sendo 135 mortes (CIRAM, 2009). Assim, houve um esforço das esferas técnico-científica e governamental da região para compreender a dinâmica do desastre ocorrido. Concluiu-se que além do volume pluviométrico anômalo, a vulnerabilidade dos municípios da região contribuiu para a gravidade do evento. Capacitação e treinamento de pessoas, tratamento da concepção de risco na população, investimentos na infraestrutura de estações meteorológicas, radares, modelagem numérica, implementação de um sistema de informações integrado são algumas das ações implementadas para no futuro minimizar os efeitos dos fenômenos extremos na região. Santa Catarina trouxe um importante exemplo de como adaptar ideias para a mitigação e prevenção

de desastres à realidade brasileira, evidenciando a importância do investimento e o co-benefício associado. Em 2011, a região serrana fluminense enfrentou situação similar. Dado um período chuvoso de 10 dias que atingiu toda a região Sudeste, inclusive a região de Teresópolis e Nova Friburgo, iniciou-se um processo de encharcamento do solo, seguido por fortes chuvas pré-frontais e advecção de umidade amazônica via Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Esta região do Estado do Rio de Janeiro é geologicamente instável e possui rios muito erosivos. Devido ao crescimento desordenado, o número de pessoas que viviam em áreas de risco era preocupante. Assim, aliando estes fatores, na primeira quinzena de janeiro de 2011, a área foi atingida por fortes precipitações, contabilizando mais de 800 mortes. O evento recebeu atenção nacional, e logo o governo federal se mobilizou para enviar fundos para reconstrução e auxílio aos afetados. A COPPE/UFRJ, desde então, procurou organizar-se para estabelecer medidas, ações e estudos de apoio à esfera governamental no processo de tomada de decisão e alocação de recursos em prevenção e mitigação a desastres naturais no estado (COPPE/UFRJ, 2011). Com objetivos semelhantes ao plano feito pelos catarinenses, a COPPE/UFRJ ressalta a importância do mapeamento de risco mais realista, juntamente com o aprimoramento dos sistemas de alerta, do plano de contingência e da política de ocupação urbana, que deve estar comprometida em primeira instância com a realocação de pessoas que vivem em áreas de risco.

Outro exemplo de ações para o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas foi a reconstrução de áreas atingidas por desastre natural ocorrido em Alagoas. Em junho de 2010 a região sofreu com enchentes que afetaram cerca de 268.000 pessoas, sendo 37 mortes, gerando prejuízos materiais, ambientais e econômico-sociais estimados em R\$ 954 milhões. O Programa de Reconstrução teve início desde a tragédia. Na etapa inicial o foco foi assegurar condições de sobrevivência às vítimas. Na etapa seguinte, a reconstrução propriamente dita foi instituída. Neste programa procurou-se delinear ações de forma sustentável, a exemplo que os próprios moradores estão sendo capacitados para a construção das casas.

No decorrer de 2011, novos eventos extremos atingiram Santa Catarina e o Nordeste Brasileiro. Grandes áreas foram destruídas novamente, contudo, o número de mortes foi reduzido significativamente. Este fato reforçou a importância da observação do “laboratório natural” para a identificação das vulnerabilidades frente à ocorrência de eventos deste tipo e na estruturação de uma política efetiva de prevenção e mitigação adaptada à heterogênea realidade brasileira.

Após as enchentes de 2011, o nordeste brasileiro convive novamente com uma forte seca em 2013. Em torno de 10 milhões de pessoas estão sendo atingidas e várias cidades declararam estado de emergência. A região nordeste do Brasil, apresenta grande variabilidade espacial (500 mm/ano de precipitação no semi-árido e em torno de 1.500 mm/ano de precipitação na costa leste) e temporal da precipitação. Além disso, apresenta um alto potencial de evaporação devido às altas temperaturas e disponibilidade de energia solar. Anos de secas e enchentes se alternam de forma irregular, causando morte, doenças e perdas econômicas.

Cenários socioeconômicos de emissões globais de gases do efeito estufa (GEE) propostos pelo IPCC mostram os principais resultados científicos consensuais das projeções regionalizadas de clima envolvendo os diferentes biomas do Brasil. Os cenários consideraram os períodos de início (2011-2040), meados (2041-2070) e final (2071-2100) do século XXI. Especificamente para o bioma Caatinga que representa grande parte do Nordeste brasileiro, as projeções indicam aumento de 0,5° a 1°C na temperatura do ar e decréscimo entre -10% e -20% na chuva durante as próximas três décadas (até 2040). No período de 2041-2070, os modelos indicam aumento gradual de temperatura para 1,5° a 2,5°C e diminuição entre -25% e -35% nos padrões de chuva. No final do século (2071-2100), as projeções indicam condições significativamente mais quentes (aumento de temperatura entre 3,5° e 4,5°C) e agravamento do déficit hídrico regional, com diminuição de praticamente metade (-40 a -50%) da distribuição de chuva. Para o bioma Mata Atlântica onde está inserido outra parte do Nordeste, as projeções são aumento relativamente baixo nas temperaturas de 0,5° a 1°C e decréscimo nas chuvas em torno de -10% até 2040. Para meados do século (2041-2070) a tendência de aquecimento entre 2° e 3°C e diminuição pluviométrica entre -20% e -25%. No final do século (2071-2100), esperam-se

condições de aquecimento intenso (aumento de 3° a 4°C) e diminuição entre -30% e -35% nos padrões de chuva regional (Marengo *et al.*, 2012).

Diante destas previsões, independente do que possa vir a ocorrer com o regime de precipitação no Nordeste, o aumento previsto das temperaturas já seriam suficientes para aumentar as taxas de evaporação (lagos, açudes e reservatórios) e de evapotranspiração. Isto significa que a água se tornará um bem mais escasso, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional. Como consequência a produção agrícola e de subsistência de grandes áreas poderá tornar-se inviável colocando em risco a sobrevivência das pessoas e favorecendo a migração para cidades costeiras e grandes centros urbanos, agravando os problemas urbanos já existentes (CGEE, 2008).

Objetivando estudar a região mais vulnerável do Brasil frente às mudanças climáticas, foram utilizados os modelos climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Marengo *et al.*, 2012) para mapear algumas das possíveis consequências sociais e econômicas das mudanças climáticas sobre a Região Nordeste do Brasil, nas próximas décadas até 2050. Os resultados indicaram queda na taxa de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do Nordeste em torno de 11,4%. Com relação às terras cultiváveis os modelos mostraram o encolhimento de 79,6% para o Ceará, 70,1% para o Piauí, de 66,6% para Paraíba e 64,9% para Pernambuco. Com relação às doenças, estima-se maior suscetibilidade ao surgimento de casos de desnutrição infantil no Maranhão e de mortalidade infantil por diarreia no Maranhão, em Alagoas e em Sergipe. Entre 2030 e 2050, os modelos mostraram aumento significativo (até 24%) na taxa de migração das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos do Nordeste e de outras regiões. Maior suscetibilidade à ocorrência de esquistossomose na Bahia, de leishmaniose tegumentar no Maranhão, de leishmaniose visceral no Maranhão e no Ceará, de leptospirose no Ceará e em Pernambuco, doença de Chagas em Sergipe (CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ, 2008).

Na Região Norte do País, as alterações climáticas causaram a seca na Amazônia no ano de 2005/06 que foi uma das mais intensa e extensa dos últimos 100 anos (Marengo *et al.*, 2008). Novamente em 2010 ocorreu outra seca de magnitude semelhante à de 2005 (Marengo *et al.*, 2011), porém em outra área da Amazonia, sugerindo o aumento na frequência de eventos extremos (Cox *et al.*, 2008). Nos últimos anos que os padrões de precipitação na região Amazônica estão se alterando, em 12 anos a Amazônia apresentou três secas intensas 1998, 2005 e 2010. O aquecimento anormal do Atlântico Tropical Norte pode explicar parte da seca. Quando o Atlântico esquenta demais, ele concentra as chuvas sobre a água mais quente e conseqüentemente inibe as chuvas na Amazônia. A seca de 2010 especificamente, também sofreu a influência do *El Niño* (aquecimento da superfície das águas do Pacífico). Como consequência, o Rio Negro atingiu o nível mais baixo da sua história deixando pessoas ilhadas e provocando alterações no bioma de difícil mensuração (CPTEC, 2012). Em 2005/06 a falta prolongada de chuvas nos leitos dos rios Solimões, no Amazonas, e Madeira, em Rondônia, fez cair o nível da água e deixou muitas cidades da região Amazônica praticamente isoladas. Para a população ribeirinha os reflexos foram a falta de água potável, surtos epidêmicos de doenças e dificuldade de acesso a outras cidades (Ambrizzi *et al.*, 2007). Três epicentros atingiram a Amazônia na seca de 2005: o sudoeste da Amazônia, a região central norte da Bolívia e o estado brasileiro do Mato Grosso. A morte de árvores devido ao impacto da seca interfere no estoque de carbono em floresta primária. Com isso, uma parte do dióxido de carbono na atmosfera não é absorvida, e mais: uma quantidade extra do gás é liberada na atmosfera, o que pode acentuar os efeitos do aquecimento global. Ao analisar a relação da morte de árvores com a intensidade e extensão da seca, estima-se que a floresta não irá absorver 1,5 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> estimados que são lançados na atmosfera nos anos de 2010 e 2011, e que um adicional de 5 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> será liberado para a atmosfera durante os próximos anos. O impacto é comparável as emissões dos Estados Unidos em 2009, referente aos combustíveis fósseis que foi de 5,4 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (Davison *et al.*, 2008). Por outro lado, a forte cheia de 2009 também reflete um extremo climático e, é uma evidência dos efeitos do desequilíbrio do clima nesta região, em menos de uma década houve alternância de extremos de seca e cheia na Amazônia com impactos ainda difíceis de serem estimados (Marengo *et al.*, 2010). As perdas no ecossistema são irreparáveis e para os moradores da Amazônia que dependem dos rios para suas atividades mais básicas (locomoção, fonte de alimentação) estes impactos são imensuráveis.

Além disso, após a diminuição das chuvas a população convive com as ameaças das doenças como a leptospirose, doenças diarreicas e hepatites.

## 6.1.2. CLIMA, POLUIÇÃO E OS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA

### 6.1.2.1. ESTUDOS NO BRASIL.

- **Doenças Respiratórias – Afecções das Vias Aéreas Inferiores (AVAI)**

No Brasil, alguns trabalhos mais específicos foram feitos utilizando modelagem estatística para estimar risco de internações a partir de variáveis meteorológicas. Os resultados permitem estimar cenários para extremos de temperatura e umidade. Na tabela 1, estão descritos as capitais brasileiras e as estimativas de risco relativo a partir de variação de temperatura. O estudo fornece ferramentas para prevenção de eventos extremos a partir de informações de previsão de tempo, desta forma contribuindo para a tomada de decisões por parte dos órgãos públicos (Coelho-Zanotti, 2010). De acordo com a Tabela 1, a cada variação de 4 graus de temperatura pode-se estimar o risco relativo de internações nas capitais brasileiras descritas. Nota-se que para grande parte das capitais brasileiras, o decréscimo de temperatura provoca um aumento no risco de internações por doenças respiratórias. Contrariamente, as cidades de Fortaleza, Belém e Manaus, mostram um padrão diferente, sugerindo que estas cidades não são impactadas pelas variações de temperatura. Este resultado sugere que outros fatores sejam responsáveis pelo aumento das internações por doenças respiratórias.

**Tabela 1** Risco Relativo (RR) de internações hospitalares por doenças respiratórias (asma e bronquite) a partir da variação de Temperatura do ar. IC<sub>95%</sub> (+0,99 a -0,99).

Cidades	Variação de temperatura (°C)				
	Δ1(20 – 16)	Δ2(16 – 12)	Δ3(12 – 8)	Δ4(8 – 4)	Δ5(4 – 0)
Porto Alegre	0.61	0.67	0.74	0.82	0.91
Florianópolis	0.58	0.65	0.72	0.81	0.90
Curitiba	0.74	0.74	0.74	0.82	0.91
São Paulo	0.74	0.79	0.84	0.89	0.94
Vitória	0.82	0.85	0.89	0.92	0.96
Belo Horizonte	0.70	0.75	0.81	0.87	0.93
Goiânia	0.71	0.76	0.82	0.87	0.93
Brasília	0.60	0.66	0.73	0.81	0.90
Salvador	0.61	0.67	0.74	0.82	0.91
São Luiz	0.17	0.24	0.34	0.49	0.70
Fortaleza	1.08	1.07	1.05	1.03	1.02
Belém	1.79	1.59	1.42	1.26	1.12
Manaus	2.46	2.05	1.72	1.43	1.2
Palmas	0.71	0.76	0.82	0.87	0.93

\*Ajuste pela sazonalidade de longa e curta duração, dias da semana, feriados e estação do ano.

Fonte: Coelho-Zanotti & Saldiva, 2011a

### 6.1.2.2. DOENÇAS VEICULADAS POR VETORES: DENGUE

O Índice de Breteau (IB) é um valor numérico que define a quantidade de insetos em fase de desenvolvimento encontrada nas habitações humanas pela quantidade de total vistoriada. Este índice é utilizado no Brasil para a determinação de infestação do mosquito da dengue. Apesar das limitações do índice com respeito à contaminação do mosquito pelo vírus da dengue, este índice revela informações importantes para o Brasil (Fig. 6.1.1). Os mapas mostram a distribuição de IB semelhante à distribuição das chuvas no País, sugerindo uma relação importante entre precipitação e transmissão de dengue (Silva *et al.*, 2008). O estudo mostra que **região Norte** apresentou núcleos intensos do IB no verão e outono. No norte de Rondônia (Fig 6.1.1a), noroeste do Pará (Fig.6.1.1b) e sudoeste do Amazonas/Acre o IB apresenta altos valores durante todo o ano. O período chuvoso da região é compreendido entre Novembro e Março, com período de seca entre Maio e Setembro (Figueroa e Nobre, 1990). Há regiões na fronteira entre Brasil e Peru, Colômbia e Venezuela em que o total anual atinge 3500 mm (Marengo, 1995). Nestas regiões não existe período de seca e os elevados valores de precipitação próximos à Cordilheira dos Andes, explicam a persistência dos altos valores de IB observado no sudoeste da Amazônia brasileira. A temperatura mostra pequena amplitude, com valores médios entre 24 e 26 °C, condição ideal para vida do mosquito.

No **Nordeste**, na época do verão e do outono (Fig. 6.1.1 a e Fig. 6.1.1 b) toda a região apresenta valores significativos do IB (período de chuvas convectivas do semiárido). A faixa litorânea da região é favorecida por fatores de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (Coelho-Zanotti, 2002), Frentes Frias e de sistemas de mesoescala (brisa marítima, linhas de instabilidade e Sistemas Convectivos de Mesoescala). A alta incidência do IB no inverno (Fig. 6.1.1c) na costa leste é associada às ondas de leste (Yamazaki, 1975). Há um enfraquecimento do IB na faixa litorânea apenas na primavera, época mais seca do Nordeste.

Nas regiões **Centro-Oeste e Sudeste** verificam-se núcleos significativos no sul de Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul e Noroeste de Minas Gerais e São Paulo na época do verão. Este é o período mais chuvoso destas regiões, com maior atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Rocha e Gandú, 1996). Áreas isoladas em Minas Gerais e São Paulo são observadas persistindo até o inverno (Fig. 6.1.1b e Fig. 6.1.1c). A **região Sul** do Brasil não mostrou estar sujeita a altas taxas do IB, pois o mosquito da dengue não sobrevive a temperaturas abaixo de 16°C. A transmissão ocorre preferencialmente em temperaturas superiores a 20°C e a temperatura ideal para proliferação é em torno de 30 a 32 °C (SUCEN, 2004). Segundo Marengo *et al.* 2007, a Região Sul do Brasil apresenta uma redução na frequência de dias frios, ou seja, indicando que a região está ficando mais aquecida, desta forma, tornando-se um ambiente favorável para o vetor da dengue. Talvez esta alteração no clima da Região, possa explicar os casos de dengue autóctone já observados no sul do País (Mendonça, 2005)

**Figura 6.1.1** Distribuição do índice de Breteau (IB) médio para o período de (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera no período de 2001-2005.



Fonte: Silva e Coelho-Zanotti *et al.*, 2008

### 6.1.2.3. ESTUDOS NA METRÓPOLE: SÃO PAULO

No Brasil, vários estudos têm sido feitos, principalmente em São Paulo. Grande parte destes estudos foi iniciada e continuam sendo feitos pela Faculdade de Medicina da USP, por meio do Laboratório de Poluição Atmosférica e Experimental (LPAE). Diante das inúmeras pesquisas feitas sobre a influência da poluição na saúde humana, ficou claro que a poluição em São Paulo é um problema de Saúde Pública (Imai *et al.*, 1985; Saldiva *et al.*, 1994; Sharovsky, 2001; Lima *et al.*, 2001; Lin *et al.*, 2004). Muitos destes estudos usaram as variáveis meteorológicas como variáveis de controle, pois o interesse era filtrar apenas o impacto dos poluentes. Contudo, com os recentes eventos extremos ocorridos na cidade, despertou-se para o entendimento de como a meteorologia poderá interferir na saúde da população, pois estes eventos extremos meteorológicos fugiram do padrão sazonal, levando os pesquisadores a observar a meteorologia não só como variáveis de controle, e sim, como um potencial causador de desfecho na saúde (Gonçalves e Coelho-Zanotti, 2010; Coelho-Zanotti, 2010).

A sinergia entre poluentes e variáveis meteorológicas é evidente e, se faz necessário evidenciar esta sinergia em forma de índice que represente o ar das metrópoles. Desta forma a modelagem se torna mais realística. Coelho-Zanotti e Saldiva (2011b) utilizaram uma técnica estatística multivariada, a fim de obter um índice que reflita a sinergia entre as variáveis meteorológica e os poluentes atmosféricos para cidade de São Paulo, denominado “Índice de Ar Urbano”. Este índice pondera a influencia de cada variável do ar paulistano, produzindo um índice que reflita com mais realidade o ar que respiramos. Desta forma a modelagem utilizada se torna o mais próximo da realidade. Estudos iniciais para a cidade de São Paulo mostram que as doenças respiratórias podem ser influenciadas pelos poluentes Material Particulado (PM<sub>10</sub>), SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, temperatura e umidade mínimas. Estas variáveis juntas explicam 71.5% do processo. Para doenças cardiovasculares, além dos poluentes acima citados o NO<sub>2</sub> também participa do processo e a temperatura máxima e umidade mínima são as variáveis meteorológicas que compõe o índice. Todas as variáveis juntas explicam 74.4% do processo.

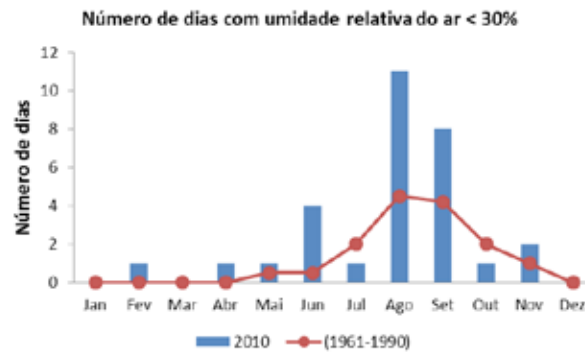
- **Doenças cardiovasculares**

Na época do inverno, a cidade de São Paulo é uma localidade de alto risco para doenças respiratórias.. A falta de chuva característica desta época do ano seria um problema menor se não fosse o excesso de poluentes no ar da cidade. Mais uma vez, a cidade de São Paulo tem um ar peculiar e estudar as condições atmosféricas nesta cidade não é trivial, tanto na ótica de saúde como no entendimento das interações de escala dos fenômenos meteorológicos que ocorrem da cidade.

Em 2010, um evento de baixa umidade relativa do ar ocorrido em agosto (Fig. 6.1.2) chamou atenção pela quantidade de dias em que a umidade relativa do ar ficou abaixo de 30%, no total foram 11 dias consecutivos. Evento semelhante só ocorreu antes em 1999, desde que se tem registro da série histórica que é desde 1961 (INMET, 2010). Agosto de 2010 foi um mês atípico, marcado por evento meteorológico extremo da cidade de São Paulo, ou seja, este evento fugiu da sazonalidade esperada para o inverno. Ao analisar os dados de autopsia do SVOC<sup>1</sup>, verificou-se que este evento pode ter influenciado a morte de idosos por doenças cardiovasculares na cidade. Utilizando análise estatística, verificou-se que houve acréscimo de internação de 0,26% para 0,64% quando a umidade diminui de 100% para 10%, independentes da influência dos poluentes (Coelho-Zanotti *et al.*, 2011a). Apesar de parecer um valor pequeno, este resultado é independente de outros fatores, como a poluição. Desta forma, além da influencia da poluição na cidade o evento meteorológico extremo parece ter contribuído para as mortes na cidade.

<sup>1</sup> SVOC - Compostos Orgânicos Semi Voláteis, sigla em Inglês.

Figura 6.1.2 Número de dias com umidade relativa abaixo de 30% em 2010.



Fonte: Estação Meteorológica do IAG-USP.

- **Doenças Respiratórias: Afecções Vias Aéreas Superiores**

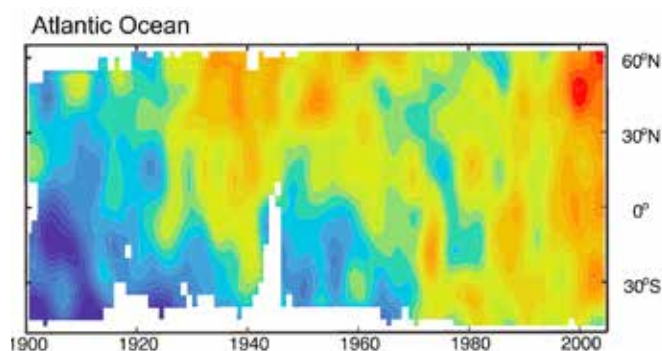
Gonçalves e Coelho-Zanotti (2010) analisaram a série histórica das temperaturas medidas na estação Meteorológica do IAG-USP da cidade de São Paulo no período de 1930 a 2009. As análises mostraram que o mês de abril está ficando mais quente (taxa de aumento de 0,04). Já para o mês de maio, o aquecimento é mais suave (taxa de aumento de 0,03). Antes das alterações climáticas na cidade, este contraste de temperatura era mais suave, visto que o mês de abril não estava tão “quente” como atualmente. Este fato mostra a alteração do padrão da temperatura da cidade e, isso é uma evidência do impacto da alteração climática local (Xavier, 2008). Como consequência na saúde da população, observou-se um pico de internação por Afecções das Vias Aéreas Superiores (AVAS) em maio, possivelmente devido ao problema de termo-regulação em indivíduos adaptados ao clima/tempo mais ameno de abril, antes da mudança no clima (Gonçalves e Coelho-Zanotti, 2010).

- **Doenças Respiratórias – Afecções das Vias Aéreas Inferiores (AVAI)**

Analisando a série de afecções vias aéreas inferiores (asma e bronquite) na população paulistana no período de 1998-2005, notou-se um aumento na tendência de internações a uma taxa de 0,02% (Fig. 6.1.3). Este resultado chama atenção, uma vez que o tratamento para doença tem evoluído positivamente, principalmente devido ao desenvolvimento de medicamentos (ECRHS, 1996). Neste estudo, resultados iniciais mostraram que quando as internações ultrapassam 33% da média esperada (por dia) as variáveis associadas são a temperaturas menores que 17°C e MP10 acima de 56.0 µg/m<sup>3</sup>. Segundo o modelo, estes dois fatores juntos poderão aumentar em 4.5 vezes a chance de internação por asma. Quando as internações ultrapassam 62% da média esperada (por dia) a variável associada é o O<sub>3</sub>. A concentração de O<sub>3</sub> a partir de 76.87 µg/m<sup>3</sup> poderá aumentar em 9.7 vezes a chance de internação por asma. Este resultado tem algumas implicações importantes dentre elas o fato do padrão ideal para o poluente está diferente do adotado pelos órgãos reguladores. Por outro lado, com a melhoria de previsão de tempo no País é possível avisar com antecedência quando a temperatura cairá no patamar menor que 17°C (Veja São Paulo, 2011).



**Figura 6.1.3** Número de internações diárias por Afecções das Vias Aéreas Inferiores (asma e bronquite) para cidade de São Paulo no período de 1998-2006.

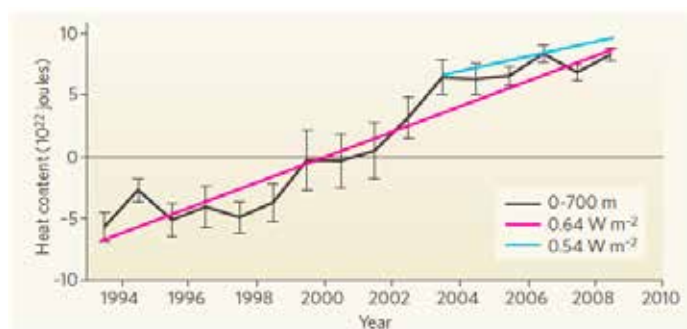


**Fonte:** Dados provenientes do DATASUS

- **Doenças veiculadas por vetores: Leptospirose**

Além do caos urbano, perdas de produtividade, prejuízos econômicos provocados pelas enchentes de verão em São Paulo, estudo feito por Coelho-Zanotti e Massad (2012) mostra que depois de 14 dias de exposição à água contaminada de uma enchente, os moradores de São Paulo tem risco de adoecer por leptospirose (Fig. 6.1.4). Por exemplo, para uma chuva de 100 mm ocorrida em um determinado dia, depois de 14 dias é possível que ocorra um acréscimo de aproximadamente 150% nas internações por Leptospirose. O estudo mostrou que os meses de primavera e verão são os mais relacionados com a leptospirose e o mês de fevereiro se mostrou com maior número de internações.

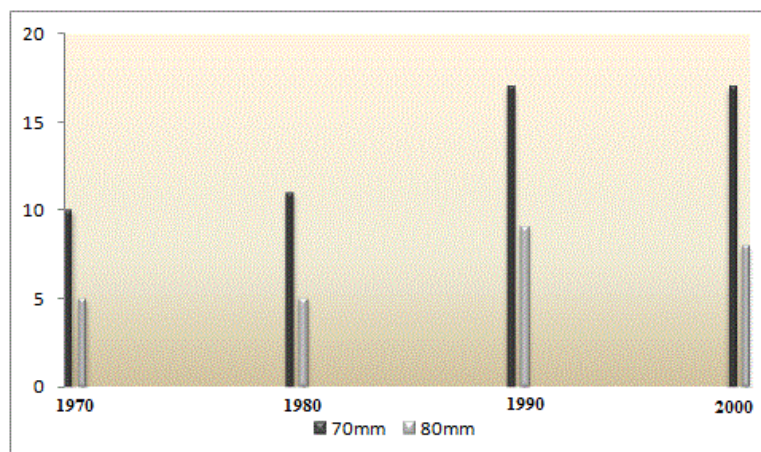
**Figura 6.1.4** Gráficos dos acréscimos para os respectivos lags. A linha preta contínua é a média dos acréscimos.



**Fonte:** Coelho-Zanotti & Massad, 2012.

As doenças veiculadas por vetores é uma preocupação diante de eventos extremos de precipitação, principalmente em grandes centros urbanos onde os impactos de uma enchente podem acarretar além de mortes por desmoronamento, afogamentos, óbitos por doenças veiculadas pelas águas. Na cidade de São Paulo esta preocupação se faz necessária, pois os eventos extremos de precipitação estão se tornando mais frequentes e localizados nas áreas centrais da cidade. Utilizando a Distribuição Gumbel para analisar os dados de precipitação de São Paulo, verificou-se que as chuvas com valores de 70 mm e 80 mm, estão mais frequentes (Fig. 6.1.5), Ambrizi *et al.* (2007).

**Figura 6.1.5** Frequência de precipitação de 70 mm e 80 mm por décadas para a cidade de São Paulo.



Fonte: Dados INMET – 7º Distrito de Meteorologia São Paulo.

### **6.1.3. COBENEFÍCIOS IMEDIATOS E LOCAIS À SAÚDE HUMANA DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA.**

Há uma percepção generalizada de que as medidas necessárias para mitigar as mudanças climáticas terão alto custo social e econômico. Este conceito pode não ser necessariamente verdadeiro. Estudos recentes indicam que as políticas voltadas para mitigar as mudanças climáticas promovem, ao mesmo tempo, benefícios à saúde da população nas áreas onde são adotadas. Os cobenefícios de saúde, que se somam àqueles já descritos na escala global, têm o potencial de reduzir, ou mesmo absorver com sobras, os custos das medidas tomadas visando à redução das mudanças climáticas. Por exemplo, um estudo recente de meta-análise focalizando os efeitos das políticas climáticas sobre a qualidade do ar indica um ganho entre US\$ 2,00 a US\$196,00 (média de US\$49,00) por tonelada de redução de emissões locais de CO<sub>2</sub>, sendo que os maiores benefícios, neste caso, seriam sentidos nos países de menor renda (Nemet et al., 2010). Estes resultados apontam que os cobenefícios locais representam um ganho da mesma ordem de magnitude dos custos inerentes às medidas de abatimento das emissões, fornecendo argumentos adicionais em favor da redução de emissões e, ao mesmo tempo, incentiva as nações a adotar políticas de abatimento o mais rapidamente possível (Haines et al., 2009). Alguns exemplos pontuais de cobenefícios à saúde das políticas de mitigação às mudanças climáticas são apresentados a seguir.

A adoção de uma política de transporte ativo, como a caminhada ou ciclismo, reduz a emissão de gases de efeito estufa e, ao mesmo tempo, reduz o risco de doenças como a hipertensão arterial, obesidade, osteoporose e diabetes nos seus praticantes. Uma rede eficiente de transporte coletivo aumenta a eficiência energética da mobilidade urbana, como também promove a caminhada (da casa aos pontos de ônibus e estações de metrô e destes ao trabalho) trazendo os benefícios do exercício regular e redução dos poluentes tóxicos de efeito local e acidentes de trânsito. Estudo realizado em São Paulo indica que o Metrô, como alternativa modal de alta capacidade movida à energia elétrica, reduz as emissões de poluentes em 75% e o risco de mortalidade cardiorrespiratória de sua população, com um ganho de US\$ 36 a 50 milhões/ano com as mortes evitadas (Bastos, 2009; 2010).

A disposição e manejo adequado dos resíduos sólidos reduzem a emissão de metano e, ao mesmo tempo promove melhorias da saúde humana. Os resíduos sólidos orgânicos que sofrem processo de decomposição constituem um meio apropriado para a proliferação de agentes infecciosos (bactérias e parasitos), conseqüentemente a exposição da população a esse tipo de resíduo pode dar origem a doenças, principalmente as gastrointestinais e dérmicas (PAHO 2005; Ribeiro e Gunther, 2003). Portanto medidas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos orgânicos, como compostagem, são relevantes para reduzir o risco à saúde da população.

## 6.1.4. CIDADES COMO CAMINHO PARA AS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As grandes cidades possuem responsabilidade para a causa do aquecimento global e também é nestas metrópoles que os impactos das mudanças do clima afetam a população, através de extremos meteorológicos. As metrópoles consomem 75% de toda energia produzida no mundo e emitem 70% de CO<sub>2</sub> (C40, 2011). Com base nessa realidade, foi formado em outubro de 2005 o C40, Grupo de Liderança das Grandes Cidades pelo Clima, que reúne as 40 maiores metrópoles do planeta (São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba são as três cidades brasileiras participantes), lideradas por Londres e Nova York, para discutir e unir forças no combate à neutralização do aquecimento global. É a quarta vez que os prefeitos das maiores cidades do mundo se reúnem, através da Rede C40, no São Paulo C40 Large Cities Climate Summit para discutir medidas de combate às mudanças climáticas. A edição de 2011 é um marco, por dois motivos: o primeiro é a primeira oportunidade na qual a reunião de líderes acontece na América do Sul. O segundo é a decisão do Comitê Gestor Internacional de acatar a sugestão de São Paulo de incorporar de forma incisiva o tema da Saúde Humana na pauta do evento. Após a participação no evento de 2007, a Prefeitura do Município de São Paulo aceitou o desafio e estruturou de forma pioneira no Brasil sua Política Municipal sobre Mudança do Clima (Saldiva *et al.*, 2011).

## 6.1.5. RECOMENDAÇÕES

A melhoria das condições de saúde, tanto localmente como globalmente, deve ser um dos critérios para a adoção de procedimentos de mitigação das mudanças climáticas. O tema de saúde humana deve ser ampliado para além das convencionais considerações sobre a adaptação das populações afetadas, passando também a contemplar os cobenefícios potenciais de saúde que devem ser considerados quando da formulação de políticas de mitigação.

As relações entre saúde e clima, nos domínios de adaptação e cobenefícios da mitigação de gases de efeito estufa devem ser profundadas em escala regional e local, com ênfase na maior vulnerabilidade das populações, tendo em conta as características físicas e geográficas das diferentes regiões, bem como as importantes diferenças culturais e econômicas das populações, fatores sabidamente modificadores das vulnerabilidades regionais frente às mudanças climáticas globais.

A comunidade de saúde deve assumir papel de liderança pelo exemplo, por meio da redução das emissões dos sistemas de saúde. Compete à saúde também discutir de forma clara os aspectos éticos embutidos nas relações entre mudanças climáticas e saúde humana, dada à realidade objetiva que a maior parte dos efeitos adversos sobre a saúde ocorrerão em regiões com menor potencial de adaptação e com menor responsabilidade pelas emissões.

## 6.2 SEGURANÇA HUMANA

### 6.2.1. INTRODUÇÃO

O quarto relatório do IPCC (2007) utilizou ferramentas e metodologias computacionais mais precisas para evidenciar a existência e extensão das mudanças climáticas. Com isso houve no âmbito científico assim como na sociedade em geral, uma diminuição significativa das incertezas em relação à efetividade e as decorrências das mudanças climáticas.

Dentre as principais decorrências das mudanças climáticas estão, por um lado, a probabilidade de aumento do número e da intensidade de eventos climáticos extremos, como precipitações intensas, períodos de seca prolongados, oscilações de temperatura e ressacas marítimas (Meehl *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2007). Por outro lado, a elevação do nível do mar, com implicações importantes para um país com mais 8 mil quilômetros de extensão da zona costeira, conforme apontam Carmo e Silva

(2009). Os aspectos relativos às características geológicas das variações do nível do mar, assim como da variação dos sedimentos e efeitos sobre os ecossistemas, possuem ampla abordagem, conforme mostram os trabalhos de Suguio *et al.* (1988), Cohen *et al.* (2005), Angulo *et al.* (2006) e Mesquita e Harari (2011).

As consequências negativas dos eventos climáticos extremos são bem conhecidas pela população brasileira, através de suas implicações em termos de inundações, alagamentos, deslizamentos de encostas e deslocamentos populacionais das regiões atingidas (por enchentes ou períodos de seca prolongados). Estas situações afetam tanto as áreas rurais quanto as áreas urbanas, com impactos e implicações diferenciadas. Por um lado, com o histórico do rápido processo de urbanização brasileiro, o maior volume de pessoas expostas está concentrado nas áreas urbanas, assim como grande parte dos investimentos sociais em infraestrutura. Por outro lado, também são afetadas as populações rurais e as atividades produtivas primárias, agricultura e pecuária, que são muito susceptíveis às variações climáticas.

No contexto das mudanças climáticas, a segurança humana estará sujeita a um número crescente de ameaças, com perdas de vidas e perdas materiais, com efeitos que perduram ao longo do tempo, uma vez que são afetadas moradias e também as atividades geradoras de empregos. A perspectiva de maior incidência dos eventos climáticos extremos exige atenção da sociedade, no sentido de se organizar para enfrentar essas situações, o que envolve múltiplos aspectos a serem considerados, conforme apontam a WHO (2003) e WHO (2009). Dentre estes aspectos destaca-se a necessidade de cuidados em relação à saúde mental dos grupos sociais afetados, OPAS (2010).

Para se compreender a segurança humana no contexto das mudanças climáticas destacam-se dois conjuntos temáticos de abordagem: riscos e desastres. Em ambos os casos evidencia-se como fundamental o conceito de vulnerabilidade, em suas várias acepções. A mediação através da percepção dos indivíduos e das representações sociais sobre as decorrências das mudanças climáticas também são aspectos importantes a considerar.

No caso brasileiro essa discussão sobre as decorrências das mudanças climáticas, seja através da abordagem dos riscos ou da abordagem dos perigos, desenvolve-se em um contexto de transições importantes. Por um lado, a transição demográfica, que aponta no sentido da diminuição das taxas de crescimento da população brasileira para as próximas décadas. Por outro lado, o processo de urbanização, que faz com que a população esteja concentrada em determinados espaços, ou que amplos espaços passem a ter características de ocupação urbana.

Assim, a população do Brasil chegou, conforme o Censo Demográfico 2010 realizado pelo IBGE, a 190,7 milhões de habitantes, tendo aumentado 21 milhões de habitantes durante a primeira década do século XXI. Embora o crescimento na última década tenha sido expressivo em valores absolutos, verificou-se que a diminuição das taxas de crescimento da população brasileira foi sensivelmente mais acentuada do que as projeções apontavam. Os dados confirmam que o Brasil já se encontra em uma fase adiantada da Transição Demográfica. As taxas de natalidade e mortalidade foram reduzidas de maneira significativa, o que indica que, nas próximas décadas, a população brasileira deverá atingir um volume populacional máximo de cerca de 206 milhões de habitantes no ano 2030, tendendo a diminuir o volume populacional na década seguinte.

A redistribuição espacial da população é outro aspecto que deve ser considerado, dado que a Transição Demográfica se faz acompanhar pela Transição Urbana. Em 1950, a população residindo em áreas urbanas no Brasil era da ordem de 18,7 milhões de pessoas (36% do total da população). Em 2010, segundo os resultados do Censo do IBGE, a população residente em áreas urbanas alcançou 160,8 milhões de habitantes (84% da população). O aumento do volume da população urbana e do grau de urbanização recoloca a preocupação com a relação entre desigualdade social e problemas ambientais, principalmente no contexto das mudanças climáticas, especificamente no caso dos eventos climáticos extremos.

Nesse contexto, mesmo considerando a diminuição do crescimento populacional, permanecem os déficits históricos de infraestrutura urbana, que ainda vão exigir esforços significativos para o seu equacionamento. Ao mesmo tempo, é importante considerar que o processo de expansão urbana foi realizado em grande parte sem planejamento adequado, com ocupações em grande parte espontâneas, determinadas pela ação do mercado imobiliário por um lado, e pela necessidade premente e falta de acesso ao mercado por outro lado. O resultado desse processo foi a ocupação de áreas inadequadas, suscetíveis a inundações e deslizamentos de terra. O acirramento dos eventos climáticos traz uma nova emergência para o enfrentamento dessas questões.

Mesmo com essa importante concentração populacional nas áreas urbanas há que se destacar que existe um significativo volume populacional residente em áreas rurais. São 30 milhões de pessoas que se encontram em áreas relativamente isoladas ou remotas. E essas populações também vão estar sujeitas aos efeitos dos eventos climáticos extremos, em uma situação que pode ser ainda de maior vulnerabilidade, tendo em vista as dificuldades de acesso em caso de desastre. Grupos populacionais específicos, devido a suas características culturais e de organização econômica, como os grupos indígenas e as comunidades quilombolas, são especialmente suscetíveis aos eventos climáticos extremos, exigindo uma atuação específica. Principalmente após situações de desastre, quando a rearticulação de sua estrutura de organização social pode levar muito tempo para se reorganizar. Neste sentido, D'Antona e Carmo (2010) discutem a transição demográfica e a questão ambiental, mostrando como os debates e problemas da Demografia podem ser pensados à luz da relação população e ambiente no que tange à localização, distribuição no espaço e uso dos recursos pela população.

### **6.2.2. SEGURANÇA HUMANA A PARTIR DA PERSPECTIVA DOS CONCEITOS DE RISCO E VULNERABILIDADE**

As causas das mudanças climáticas e seus impactos para a população já haviam sido sistematizados por O'Neill *et al.* (2001). Nesse contexto, os impactos sociais dos eventos climáticos extremos evidenciam a necessidade de se pensar a segurança humana a partir da perspectiva dos riscos decorrentes do novo conjunto de perigos configurados a partir das mudanças climáticas. Em sentido amplo, reafirmam o que havia sido apontado por Beck (1992), ao definir a "sociedade de risco":

"(...) in the risk society the unknown and unintended consequences come to be a dominant force in history and society". (p.22)

No Brasil as discussões sobre o conceito de risco foram desenvolvidas especialmente no âmbito dos estudos de saúde e epidemiologia, como apontam Freitas e Gomez (1996). Para estes autores a partir de 1980:

"Com a crescente mobilização em torno dos riscos tecnológicos e o aumento dos casos relacionados ao assunto que alcançaram a esfera judicial, o Estado foi impelido a ampliar o seu papel institucional mediante o desenvolvimento da legislação no campo da saúde, segurança e do meio ambiente, tendo como consequência o crescimento das agências públicas encarregadas do problema (Covello e Mumpower, 1985). As indústrias, em alguns casos obrigadas a arcar com os custos de indenizações pelos danos causados, passaram a montar equipes e instalar laboratórios capazes de fornecer dados científicos para se contrapor aos seus críticos no governo e nos movimentos sociais e às regulamentações mais restritivas de proteção da saúde e do meio ambiente (Gillespie, 1979)." (Freitas e Gomez, 1996, p. 491)

Ao ser ampliado para abarcar as questões ambientais, o conceito de risco passa a ter conotações que remetem a uma ampla gama de fatores. Especificamente remete à relação entre dinâmica social e aspectos ambientais, passando a ser importante a perspectiva da vulnerabilidade. As vulnerabilidades, que podem ser de diversas ordens, são definidas a partir dos riscos, que também podem ser diversificados, dependendo o perigo ao qual estão referidos.

A discussão teórica sobre riscos e vulnerabilidade avançou de maneira significativa durante as décadas recentes, com vários trabalhos que sistematizam os conceitos e a aplicação que é realizada desses conceitos em várias disciplinas científicas, como Marandola Jr. e Hogan (2009), Moser (2006) e Feito (2011).

A vulnerabilidade pode ser do lugar, indicando maior susceptibilidade aos riscos, ou pode ser social, que incorpora além da susceptibilidade a perspectiva da capacidade de enfrentamento dos riscos de diversas ordens, principalmente através dos ativos (sociais, econômicos ou outros) que podem ser mobilizados nesse processo.

Entretanto, a operacionalização do conceito de vulnerabilidade não é fácil. Principalmente em função da dificuldade de obtenção de dados adequados. Principalmente quando se trabalha em escalas de detalhe, como é geralmente o caso em que ocorrem os eventos climáticos extremos.

Uma das dificuldades é a inexistência de mapeamentos de áreas de risco em escalas detalhadas que sejam acessíveis à população. Mesmo quando a informação existe nem sempre é divulgada de maneira acessível. Assim, dois elementos são fundamentais para que se avance no sentido da segurança humana: o efetivo mapeamento das áreas de ocupação humana, para fins residenciais ou produtivos, que estão em situação de risco. E a possibilidade de acesso direto a essas informações.

Mapear ajuda a conhecer as áreas sujeitas aos perigos que podem ser potencializados pelas mudanças climáticas, e a planejar a ação em casos de incidência de eventos extremos. Entretanto, é importante salientar que o mapeamento em si não é a solução para os problemas relacionados com a vulnerabilidade, porque não implica necessariamente em evidenciar as origens do problema, nem em apontar soluções. Esses dois aspectos centrais possuem um cunho social e político, que necessitam de um ferramental teórico e metodológico das Ciências Sociais para ser compreendido. Evidencia-se assim a necessidade de abordagens que sejam interdisciplinares, de maneira a tornar possível o conhecimento capaz de subsidiar políticas e ações sociais efetivas. Nesse sentido, por exemplo, é importante conhecer os processos de uso e ocupação do espaço urbano e rural, especialmente no que diz respeito aos condicionantes envolvidos na localização espacial e construção das habitações

### **6.2.3. PERCEPÇÃO AMBIENTAL E RISCOS**

O encontro das Nações Unidas sobre Meio Ambiente realizado no Rio de Janeiro em 1992 foi um marco para as discussões ambientais. Diferentemente do que havia acontecido em Estocolmo em 1972, havia já um acúmulo maior de experiências sobre a questão ambiental, com uma estruturação também maior dos movimentos ambientalistas (Conca, 1995; Najam, 2005; Biermann *et al.*, 2009).

Nesse novo contexto, ganhou importância também à necessidade de realizar no Brasil esforços mais sistemáticos de avaliação sobre a percepção e o comportamento dos brasileiros sobre a questão ambiental. Crespo (2003) apresenta o resultado de pesquisas amostrais, representativas para o conjunto do país, que foram realizadas nos anos de 1992, 1997 e 2001. Nessas pesquisas foram utilizadas questões com o objetivo de: entender o conceito predominante de meio ambiente para a população; medir o conhecimento sobre os problemas ambientais; medir a disposição da população em ajudar na solução dos problemas identificados; avaliar o desempenho dos atores e instituições com atribuições de proteger o meio ambiente. Crespo aponta que as questões foram constituídas de maneira a serem comparáveis com as realizadas em outros países, o que também significava a aplicação de questões que já haviam sido previamente testadas. Dentre os resultados encontrados no Brasil, Crespo (2003) destaca que, primeiramente, a variável “nível de escolaridade” é a mais importante, funcionando como preditor, ou seja, como determinante no padrão de respostas. Quanto mais alto o nível de escolaridade, mais consistente é o interesse, o conhecimento e a preocupação com as questões ambientais. Os grupos com maior nível educacional apareceram como os mais preocupados com o meio ambiente desde os estudos realizados durante a década de 1970, conforme aponta Ester *et al.* (2005).

De acordo com MMA (2010), o Ministério do Meio Ambiente brasileiro vem realizando a cada quatro anos, desde 1992, pesquisa nacional que acompanha a evolução da consciência ambiental no País. Os dados da pesquisa têm revelado que a consciência cresce em todas as classes sociais e regiões brasileiras, mas que ainda existe um abismo entre a preocupação e o comportamento efetivo, sendo que persiste a tendência dos brasileiros considerarem como “meio ambiente” apenas flora e fauna, deixando de fora o ambiente humano por excelência que são as cidades. Um dos objetivos primordiais da pesquisa foi identificar de um lado, o potencial de adesão da população a comportamentos ambientalmente responsáveis, e de outro, as contradições, mitos e erros de informação, que levam milhares de cidadãos a agirem de modo ainda predador e pouco engajado.

É importante destacar que grande parte dos estudos sobre percepção ambiental, especialmente no Brasil, abordam especialmente populações residindo em áreas urbanas. Nesse sentido, o conhecimento prático das populações tradicionais, assim como o acúmulo de experiências dos grupos sociais residentes em áreas rurais, podem contrabalançar essa importância que é atribuída ao nível de escolaridade da população para uma atitude mais preocupada com as questões ambientais.

Entretanto, essas pesquisas realizadas até o início da década de 2000 não perguntaram especificamente sobre a questão do aquecimento global. Em um levantamento realizado no âmbito do Projeto Clima, desenvolvido pelo NEPO/UNICAMP, foi acrescentada uma questão específica sobre aquecimento global. Essa pesquisa teve como objetivo compreender a situação de vulnerabilidade da população residente em duas regiões metropolitanas do estado de São Paulo: Região Metropolitana de Campinas e Região Metropolitana da Baixada Santista. Guedes e Carmo (2012) apontam que o questionário foi aplicado em 1.823 domicílios dos 19 municípios da Região Metropolitana de Campinas (RMC) e 1.595 domicílios nos nove municípios da Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), no segundo semestre de 2007. Seu desenho amostral foi feito a partir de Zonas de Vulnerabilidade (ZVs), que foram compostas a partir dos dados do Censo 2000, sem representação espacial, mas permitindo uma análise domiciliar (Cunha *et al.*, 2006). A pergunta sobre aquecimento global foi a seguinte: “O aquecimento global é um problema ambiental muito grave, pouco grave ou nada grave?”. Os resultados mostraram que os residentes nas áreas definidas como de mais elevada vulnerabilidade social e residencial (definida a partir de um conjunto de indicadores socioeconômicos e de características do entorno domiciliar), 78% dos residentes dessa categoria na RMBS e 82% dos residentes na RMC consideraram o aquecimento global como um problema muito grave. Dentre aqueles com vulnerabilidade intermediária, 80% dos residentes dessa categoria na RMBS e 87% dos residentes na RMC consideraram o aquecimento global como um problema muito grave. E os entrevistados residentes nas áreas de menor vulnerabilidade, 93% dos residentes dessa categoria na RMBS e 94% dos residentes na RMC consideraram o aquecimento global como um problema muito grave. A crença nas informações científicas que fundamentam o Aquecimento Global não é unânime. Entretanto, os desastres relacionados à ocorrência de eventos extremos suscitam maior preocupação social com o tema das mudanças climáticas. Principalmente os desastres que afetam comunidades inteiras com óbitos e prejuízos materiais acima da capacidade de sobrevivência individual dos Municípios e Estados.

Para entender a percepção das comunidades e suas representações sociais com relação aos efeitos do aquecimento global e nas mudanças climáticas, faz-se necessário se, primeiramente, a adoção de paradigmas mais amplos, que sejam capazes de incorporar as relações que se estabelecem em variáveis complexas, decorrentes da dinâmica social. E a partir daí estabelecer um novo diálogo, que possibilite a troca de informações que permita como trabalhar com as comunidades as questões relativas à melhoria das suas condições de segurança, que envolvem aspectos tais como mudança de endereço, exercícios frequentes de evacuação, retirada de comunidades inteiras e de forma definitiva para áreas mais seguras ou menos vulneráveis dos municípios. Neste sentido, Toscana Aparício (2011) analisa a forma na qual o nível de governo municipal atua frente aos “pequenos desastres” associados a fenômenos naturais, entendendo por “pequenos desastres” aqueles que impactam na escala local, mas suas consequências não transcendem o âmbito municipal. Neste sentido, Giddens (2010) reflete sobre algumas experiências específicas, em especial em países da União Europeia. Ele considera que esta é uma equação difícil: englobar indivíduos, empresas, organizações e setor público. Para resolução,

Giddens opta por demonstrar porque o Estado é um ator fundamental e deve ser protagonista da convergência, não hesitando em mostrar que pouco ou nada foi feito para alterar hábitos e modelos que podem nos conduzir a uma catástrofe de proporções épicas. No seu entender, isso decorre da ausência de políticas concretas e de análises bem desenvolvidas, seja em âmbitos nacionais ou internacionais. E que as iniciativas mais relevantes têm brotado de ações pessoais e da energia da sociedade civil. Ester *et al.* (2004) afirma que fatores culturais exercem um impacto considerável sobre as atitudes públicas e comportamentos para o ambiente e a forma como os quadros públicos questões ambientais, e que além de atender o desafio objetivo de degradação ambiental, alterações de valores culturais têm provocado expressão pública de preocupação e determinado a sua disposição de fazer sacrifícios e empreender ações para ajudar a proteger o ambiente. Sua pesquisa indica que a mudança de valor em determinadas regiões culturais originaram o mais alto nível de consciência ambiental e de apoio à proteção ambiental do mundo. Mudança cultural gradual, associada a crescente prosperidade e a segurança material, conseguiu gerar públicos altamente sensíveis aos problemas ambientais, como ocorre hoje na Europa.

Segundo Hogan e Marandola Jr., (2005), riscos e perigos naturais sempre intervieram no relacionamento entre população-ambiente (P-E). Tendo em conta que os riscos e perigos sempre influenciam, em certa medida, os padrões de assentamento de populações humanas, eles fazem parte da mediação entre as pessoas e seu meio ambiente.

#### **6.2.4. EM SÍNTESE**

Aspectos objetivos decorrentes da discussão sobre a segurança humana, os perigos, os riscos e vulnerabilidades decorrentes das mudanças climáticas:

- as mudanças climáticas, embora em uma escala ampla atinjam a população humana como um todo, vão afetar de maneira mais incisiva a determinados grupos populacionais que já subsistem em situações de risco. Estas situações de risco decorrem principalmente da ocupação de áreas do espaço urbano marcadas pela ocupação sem direcionamento planejado, resultante de um tipo de ocupação espontâneo por exclusão de opções;
- não existe um mapeamento sistemático das áreas que são mais sujeitas aos perigos e riscos decorrentes das mudanças climáticas;
- os mapeamentos existentes não estão disponibilizados, ou não são de acesso simples aos residentes ou aos indivíduos que estejam interessados em residir nas áreas;
- além do mapeamento é importante compreender a realidade social em que se encontram os grupos mais vulneráveis, de maneira a construir políticas mais efetivas de redução dessa vulnerabilidade;
- A bibliografia sobre desastres e suas abordagens já está bem consolidada internacionalmente, embora no Brasil ainda seja uma discussão ainda pouco desenvolvida.
- a relação da Defesa Civil com a população ainda é assimétrica, calcada em uma linguagem que dificulta o entendimento entre as partes, com fluxo de informação em sentido único (ou seja, os técnicos são conhecedores dos riscos e impõem a sua perspectiva analítica). - dependendo da vinculação em que se encontra a origem (bombeiros, polícia, planejamento urbano) da Defesa Civil, muda a perspectiva de atuação do órgão, enfatizando a setorialidade à qual está mais afeita.
- a importância da organização do sistema de Defesa Civil ganhou expressão nos últimos anos, especialmente com os esforços de reorganização do sistema, e com a realização no ano de 2010 da Primeira Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária. Seria importante a criação de instrumentos que garantissem a implementação das deliberações que são geradas nessas conferências, para que estas possam ser efetivadas na prática.
- ainda não existe um sistema nacional de registro dos desastres. Tendo em vista as recorrências dos fenômenos, seria importante construir inclusive um arquivo histórico no qual estivessem armazenadas as informações sobre a ocorrência dos desastres, as atitudes que foram tomadas (durante e depois dos desastres), assim como uma contextualização detalhada dos aspectos característicos da região antes do desastre.



- Seria importante também, um acompanhamento da evolução da situação de desastre ao longo do tempo, o que aconteceu com a área de ocorrência do desastre, o que aconteceu com as populações atingidas, qual foi a efetividade das ações tomadas pelo poder público no que diz respeito aos vários fatores envolvidos. Certamente um acompanhamento dessas situações de desastre e uma avaliação crítica dos procedimentos seriam fundamentais para garantir a melhoria do sistema de segurança social frente a situações de risco, principalmente na conjuntura atual, quando se começam a sentir os efeitos das mudanças climáticas.

## 6.3. SUBSISTÊNCIA E POBREZA

### 6.3.1. INTRODUÇÃO

Na história da humanidade, há registros e evidências de ter o planeta Terra passado por períodos de mudanças em seu clima, estendendo-se por ciclos de duração variável, alguns abrangendo períodos longos. Nesse contexto, há os registros bíblicos de uma gigantesca inundação – o dilúvio – narrativa inspirada no texto épico babilônico de ‘Gilgamesh’, sobre uma grande enchente que teria acontecido no Oriente Médio e na Ásia Menor (Kadanoff, 2001); em anos recentes, os geólogos da Columbia University, Professores William Ryan e Walter Pitman, realizaram estudos no Mar Mediterrâneo e no Mar Negro, descobrindo evidências que dão suporte a essa estória da Babilônia (Ryan e Pitman, 2000).

Na Idade Média foram observados fenômenos de aquecimento e esfriamento, caracterizando o que foi denominado de ‘Pequena Era do Gelo’. Algumas das grandes ondas de migração humana, como as chamadas “invasões bárbaras” de povos do norte e leste em direção ao sul da Europa, e a entrada de grupos asiáticos no continente americano pelo Estreito de Bhering foram, em parte, decorrentes de fenômenos climáticos (Barcellos *et al.*, 2009).

Ao longo de toda a história natural, períodos quentes se intercalaram com períodos frios. Com base em princípios físicos, se sabe que a atmosfera terrestre é responsável pelo aprisionamento de calor emitido pela superfície terrestre, que se aquece com a radiação proveniente do sol, fenômeno natural, denominado efeito estufa. Vale ressaltar que o efeito estufa já ocorria na Terra, antes mesmo de surgir o ser humano, sendo responsável por efeitos benéficos, como a filtragem de raios solares, a estabilização da temperatura da atmosfera e ciclagem de gases essenciais para a vida (Nordel, 2007).

Tais ciclos de aquecimento do planeta podem ter sua origem explicada por processos naturais, ligados a alterações no eixo de rotação da terra, explosões solares e dispersão de aerossóis emitidos por vulcões. A grande preocupação da sociedade contemporânea está volume de gases que intensificam o efeito estufa na troposfera (Barcellos *et al.*, 2009).

Os debates mais recentes sobre a questão do aquecimento global dos dois últimos séculos são concordantes, de maneira geral, na tese da intensificação do efeito estufa planetário estar diretamente relacionada ao padrão de produção e consumo da sociedade moderna. A elevação do volume de gases de aquecimento na troposfera – derivados em sua quase totalidade das atividades humanas (indústria, agricultura e transportes, principalmente) – e também daqueles associados à destruição da camada de ozônio, estaria provocando uma considerável transformação da composição atmosférica e da dinâmica dos gases que a compõem (Monteiro e Mendonça, 2003). Corroborando com essa relação antrópica, no âmbito do *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* foi divulgado, recentemente, haver 90% de chance de o aquecimento global, observado nos últimos 50 anos, ter sido causado por ação humana (IPCC, 2007), através de aumento das emissões de gases de efeito estufa. O aumento na emissão desses gases pode induzir um aquecimento da atmosfera, o que pode resultar em uma mudança no clima mundial, em longo prazo. As mudanças climáticas são reflexos do impacto de processos socioeconômicos e culturais, como o crescimento populacional, a urbanização, a industrialização e o aumento do consumo de recursos naturais e da demanda sobre os ciclos bioquímicos (McMichael, 2003).’

De acordo com o IPCC (AR5 WGII Cap 13), dificilmente, as mudanças climáticas são responsáveis sozinhas, pelas condições de pobreza e subsistência encontrada em diversos países. As mudanças climáticas interagem com diversos fatores não climáticos que, devido a este caráter transdisciplinar, faz da detecção de causas e atribuições para pobreza e subsistência, um desafio. (IFAD, 2011)

Na América Latina, durante o período entre 1950 e 1970, o continente presenciou um crescimento econômico anual de 5% no seu produto interno bruto. Estes níveis de crescimento expressivo permitiram o desenvolvimento de parques industriais nacionais, urbanização e a criação ou extensão do desenvolvimento nacional. Entretanto este modelo econômico produziu um parque industrial débil, incapaz de competir com as indústrias estrangeiras, afetando inclusive outros setores, particularmente a agricultura, responsável pela estruturação inicial do parque industrial. Nos anos 80, toda esta região passou uma grande crise financeira, que forçou o continente a adotar regimes macroeconômicos rigorosos onde, controles de inflação e de déficit público, se tornaram as principais medidas implantadas pelos governos. Assim, esta década ficou marcada pela deterioração econômica e de condições sociais, desemprego, crescimento da economia informal e pobreza. Atualmente, a combinação de baixos números de crescimento econômico e grande desigualdade, pode fazer com que populações de regiões se tornem vulnerável economicamente e a desastres naturais também, acentuando as ainda mais as consequências sociais (UNDP-GEF, 2003).

Para o Brasil, alguns cenários de alterações climáticas têm sido destacados por pesquisadores: intensificação do fenômeno ENSO (eventos *El Nino*-Oscilação Sul), refletindo-se em secas no Norte e Nordeste e enchentes no Sul e Sudeste; diminuição de chuvas no Nordeste; aumento de vazões de rios no Sul; alterações significativas de ecossistemas e biomas, com destaques para o semiárido, mangues, pantanal e floresta amazônica (Marengo, 2007; Nobre *et al.*, 2007; Barcellos *et al.*, 2009).

No centro de todos esses debates está o ser humano. Como tem sobrevivido a todas as mudanças e a todos os desastres, as implicações sobre seu modo de vida e sua saúde têm sido objeto de estudos e de preocupações. Tais estudos visam, não apenas, a sua preservação, mas, principalmente, o seu viver com qualidade. Em várias partes do mundo, milhares de pessoas passam privações, as mais diversas, sendo a fome a mais crítica, vinculada, geralmente, a estágios diversos de pobreza, com possibilidades de tal quadro se agravar no contexto de mudanças climáticas em todo o globo.

As preocupações aumentam ao se considerar o contingente de pessoas que apenas sobrevivem – subsistem – conseguindo manter a vida em situações de pobreza. Pode-se dizer que entre o ‘viver com cidadania’ e a ‘morte’ há um estágio intermediário, o de subsistência.

Neste trabalho procurou-se reunir conhecimentos sobre o tema subsistência e pobreza, no contexto das mudanças climáticas, objetivando-se contribuir para um entendimento mais claro e alertar pesquisadores, governantes e a própria sociedade.

### 6.3.2. SUBSISTÊNCIA

Pelo dicionário de Caldas Aulete, subsistir significa ‘existir na sua substância’, ... ‘manter a vida’, ... ‘continuar a existir’... É difícil aplicar tais conceitos a um animal ou a uma planta, por seu significado extremo e radical, sendo incompreensível e inadmissível a sua interpretação no contexto de vida de um ser humano. Subsistência<sup>2</sup> é algo sub-humano...

---

<sup>2</sup> A ideia da subsistência foi cunhada na Inglaterra, a partir de 1890 e primeiras décadas do século XX, aparecendo em leis (Poor Laws) abordando assistência aos pobres. Tal formulação passou a exercer grande influência sobre práticas científicas e políticas em todo o mundo, aparecendo inicialmente em parâmetros estatísticos das condições sociais de vários países e, posteriormente, aplicadas por agências internacionais, como o Banco Mundial e o Fundo Monetário Internacional (Salama e Destremau, 2001; Codes, 2008)

Subsistência está relacionada às questões dos mínimos biológicos, centrada nas necessidades de alimentação, indispensáveis para uma pessoa sobreviver. Podem ser considerados dois contextos de subsistência: (a) a de quem subsiste, vive no limiar da pobreza, sob condições extremas de necessidades, dependendo o seu sustento de ocupações esporádicas (trabalhos de bico) ou de atividades de mineração artesanal, em que o sucesso é ocasional; (b) a situação daqueles que se dedicam a atividades agrícolas, cultivando culturas, explorando florestas (extrativismo ou não) ou criando animais, dependendo sua vida do que conseguem obter dos cultivos e das criações.

No primeiro caso, em que se incluem as pessoas com ocupações ocasionais e esporádicas e aquelas envolvidas em atividades de mineração artesanal, a vida depende muito da esperança de algo positivo acontecer e melhorar o amanhã.

Ao setor agrícola, porém, será dada maior ênfase, por sua fragilidade dentre os outros segmentos da economia, no contexto de uma das mais baixas rendas *per capita*, persistindo unidades de agricultura familiar ao lado de empresas capitalistas de portes variados, abordando-se a subsistência em aspectos relacionados à vida no campo. Subsistência, em tais condições, significa ter algo para sobreviver, não estando exposto ao extremo das penúrias. Paradoxalmente à sua nobre missão de alimentar a todos, inclusive as metrópoles, no campo são identificadas grandes injustiças sociais, fonte de muitas das mazelas das cidades, pelas baixas perspectivas de vida de seus habitantes, dificuldades de acesso a escolas e a serviços de saúde, dentre outros pontos fundamentais para a qualidade de vida das pessoas.

Na perspectiva de mudanças climáticas, comunidades com agricultura dependente de chuvas, que é o caso do Brasil serão muito mais sensíveis a mudanças nos padrões da precipitação, em comparação com outra onde a mineração é o meio de subsistência dominante. Do mesmo modo, um ecossistema frágil, como o Semiárido brasileiro, é mais sensível à diminuição da precipitação do que outros, devido ao impacto subsequente nos fluxos de água. No nordeste do Brasil, é esperado maior impacto das mudanças de clima, com redução da pluviosidade e aumento de temperatura, com consequências sobre a produção de alimentos provenientes das espécies tradicionalmente cultivadas; tenderão a gerar insegurança alimentar, em função da queda na produção da agricultura de subsistência. Em item à frente, sobre Subsistência e Cidadania, serão abordadas as perspectivas que se abrem para comunidades que apenas sobrevivem, no contexto das mudanças climáticas.

No campo, subsistência geralmente significa a garantia de um teto, não importando a sua qualidade, ter algo para comer, ou mesmo salário e renda. Todo ano, naqueles mesmos meses, as esperanças se renovam nas primeiras chuvas e sementes de milho, feijão e jerimum, estacas de batata-doce e de macaxeira são enterradas no chão. No Semiárido brasileiro, práticas agrícolas importadas de outras regiões são, ainda hoje, de uso corriqueiro, e exitoso quando chove regularmente, fato difícil de ocorrer em mais de 60% dos anos; mesmo nos anos de boas chuvas, elas se estendem por, no máximo, 3 a 4 meses, quando se planta, colhe e parte da produção é guardada para servir de alimento nos meses seguintes. A subsistência é garantida com a criação de animais, principalmente, galinhas, cabras e ovelhas, mas só nos casos em que o agricultor é também proprietário da terra, situação caracterizada como agricultura familiar; caso contrário, em muitas situações há restrição para tais atividades criatórias, por parte dos donos da terra.

As consequências disso são quadros de fome e pobreza, nos anos de seca ou quando são poucas as chuvas. A expectativa de vida é baixa, pelas implicações, sobre a saúde, da falta de água tratada e serviços de esgotos, grandes dificuldades de acesso a serviços de atendimento médico e tratamento de doenças. Diante deste cenário, muitos recorrem à migração como último recurso, mudando-se para cidades onde, continuarão a viver na subsistência. Considerando as questões abordadas no penúltimo parágrafo, penúltimo parágrafo, sobre a situação no campo, quando o ano é 'bom de inverno' e foi possível guardar grãos para servirem de alimento no restante dos meses, ocorrerão perdas quantitativas e qualitativas, pois dificilmente escaparão do ataque de pragas de insetos e o resultado será a deterioração da qualidade e quantidade da comida. E quando não chove o suficiente, para garantir colheita? É possível imaginar a seguinte situação: culturas de outras condições climáticas foram im-

plantadas, as plantas começaram a crescer, mas as chuvas não continuaram, ou acontece um longo verão e tudo, ou quase tudo se perde.

A agricultura de subsistência pode conviver com outras formas de produção; como exemplo, embora raro na exploração comercial da cana-de-açúcar, algumas empresas permitem que trabalhadores habitando casas em suas terras tenham uma pequena área de exploração em torno de sua casa, onde plantam hortas e algumas fruteiras e criam pequenos animais; nas grandes plantações de café no Brasil colonial, muitas vezes os escravos praticavam essa forma de cultivo, não só para a sua manutenção pessoal e familiar, mas, também, para a dos seus senhores (Frederico e Castillo, 2004).

### **6.3.2.1. SUBSISTÊNCIA EM EXTRATIVISMO AGRÍCOLA**

O extrativismo constitui um ciclo econômico constituído de três fases distintas. Na primeira fase, verifica-se um crescimento na extração, quando os recursos naturais são transformados em recursos econômicos com o crescimento da demanda. Na segunda fase, atinge-se o limite da capacidade de oferta, em face dos estoques disponíveis e do aumento no custo da extração, uma vez que as melhores áreas tornam-se cada vez mais difíceis. Na terceira fase, inicia-se o declínio na extração, com o esgotamento das reservas e o aumento na demanda, induzindo ao início dos plantios, desde que a tecnologia de domesticação esteja disponível e seja viável economicamente. Muitos plantios foram iniciados pelos indígenas e pelas populações tradicionais identificando as plantas com as melhores características de interesse e, posteriormente, nas instituições de pesquisa. A expansão da fronteira agrícola, a criação de alternativas econômicas, o aumento da densidade demográfica, o processo de degradação, o aparecimento de produtos substitutos são também fatores indutores desse declínio (Homma, 2010a).

A sustentabilidade do extrativismo vegetal também depende do mercado de trabalho rural, onde, com a tendência da urbanização, a população rural está perdendo não só seu contingente em termos relativos mais também em termos absolutos. Com isso, aumenta o custo de oportunidade de trabalho no meio rural, o que tende a tornar inviável a manutenção do extrativismo e da agricultura familiar, dada a baixa produtividade da terra e da mão-de-obra. Em longo prazo, a redução do desmatamento na Amazônia seria afetada pelo processo de urbanização e da redução da população rural em termos absolutos, promovendo a intensificação da agricultura e, com isso, os recursos florestais poderão sofrer menor pressão.

A dispersão dos recursos extrativos na floresta faz com que a produtividade da mão-de-obra e da terra seja muito baixa, fazendo com que essa atividade seja viável pela inexistência de opções econômicas, de plantios domesticados ou de substitutos sintéticos. Na medida em que alternativas são criadas e as conquistas sociais elevem o valor do salário mínimo e, por ser uma atividade com baixa produtividade da terra e da mão-de-obra, torna-se inviável a sua permanência. Um dos erros dos defensores da opção extrativa para a Amazônia é considerar esse setor como sendo isolado dos demais segmentos da economia. A economia extrativa está embutida dentro de um contexto muito mais amplo do que é tradicionalmente analisado. Em geral, a sequência consiste na descoberta do recurso natural, extrativismo, manejo, domesticação e, para muitos, na descoberta do sintético. No caso do extrativismo do pau-rosa, por exemplo, passou diretamente do extrativismo para a descoberta do sintético.

Mesmo com a agregação de inovação tecnológica, é considerado como extrativismo sustentável, quando são envolvidas atividades de cultivo, criação, artesanato e agroindústria, desde que tais atividades se harmonizem com valores, crenças e costumes da população extrativista e com as características do seu ambiente natural; nesse conceito serão incluídos, igualmente, os casos de enriquecimento da vegetação nativa com introdução de plantas das espécies desejadas, desde que não sejam áreas unicamente com plantios implantados pelo homem, muito menos, monoculturas.

Nesse prisma de sustentabilidade, o extrativismo deve: a) basear-se na exploração de espécies de flora e fauna locais; b) integrar o sistema de valores do trabalhador extrativista; c) inserir-se na organização do espaço existente no extrativismo; d) incluir sistema de manejo apoiado em saberes, práticas e tradições do trabalhador extrativista; e) harmonizar-se com os hábitos dos processos de trabalho extrativistas (Rego, 1999).

A crise ambiental, a universalização da consciência ecológica e a revolução tecnológica deste final de século exigem das sociedades modernas uma nova estratégia, o desenvolvimento sustentável aplicável também ao extrativismo agrícola, diferenciando-se das formas em que não há renovação do que é extraído. Dentre os produtos explorados, podem ser incluídos: flores, frutos e sementes; cascas, ramos e folhas, raízes e estruturas subterrâneas das plantas; fibras, madeira e carvão, além da própria terra vegetal (serrapilheira), coletada em matas para ser utilizada em jardins. Igualmente relevante em estudos de subsistência relacionados a extrativismo, é a forma de produção, se é isolada, cada indivíduo por si, ou se é estruturada e organizada, a tecnologia utilizada, a forma de atuação no mercado e o perfil das pessoas envolvidas.

Antes de aprofundar mais esse tema, vale focalizar o quadro atual de crescente conscientização, em curso em todo o mundo, despertando a humanidade para o meio ambiente e tudo que lhe é relacionado, o que aumentou após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento – Eco 92, realizada em 1992 e da Rio +20, realizada em 2012, ambos no Rio de Janeiro. Aumentaram as preocupações, os cuidados e ocorreram avanços em questões de preservação ambiental, valorização de ecossistemas e conservação dos recursos naturais, clima e biodiversidade, relações entre homem-natureza e deveres e responsabilidades perante as gerações futuras e todas as espécies.

Nesse contexto de relevância para a sociedade, ao longo dos anos, a dimensão ambiental da sustentabilidade, conceitualmente de origem nas ciências biológicas, está ganhando contornos ecológicos, culturais, sociais, econômicos e políticos na história da humanidade. Setores empresariais estão, também, se associando aos novos conceitos de valorização do meio ambiente, inserindo em suas agendas discussões sobre desenvolvimento sustentável nos diferentes contextos socioeconômicos e culturais (Tonneau, 2004).

A subsistência através de extrativismo, além de ser uma atividade econômica que subsistiu e subsiste em momentos difíceis de pessoas e comunidades e, inclusive, da economia do país, se constitui, num modo de vida, uma cultura e uma forma diferenciada de ver o mundo. Para Rego (1999), isso ocorre porque os hábitos das populações que vivem no campo, por experimentarem um relativo isolamento geográfico dos centros urbanos e uma forte influência cultural do meio em que vivem, acabam dependentes dos ciclos naturais da natureza.

Existem comunidades de tradição extrativista e tendo como atividade econômica predominante, desde o período colonial, a coleta e venda de matéria prima in natura, predominante, em alguns casos em poucos meses, ou alternando-se com a coleta de outros materiais no restante do ano. São exemplos típicos no Nordeste brasileiro, o umbu, fruto do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara), espécie endêmica da Caatinga, o licuri [*Siagrus coronata* (Martius) Beccari], principalmente no norte da Bahia e em áreas de Alagoas e de Pernambuco e a mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), nos Estados de Alagoas e Sergipe.

### **6.3.2.2. FRUTAS DO SEMIÁRIDO**

O umbuzeiro ocorre em áreas secas de vários Estados do Nordeste, sendo comum a venda de frutos, no período da safra, coincidindo com os primeiros meses de chuvas, ao longo de rodovias e em feiras livres da maioria das cidades da região, inclusive em Salvador, onde há pontos tradicionais de comercialização de umbu.

No norte da Bahia desenvolveu-se muito o extrativismo de umbus, garantindo renda e subsistência de muitas famílias, culminando com a criação, em 2004, da COOPERCUC, Cooperativa Agropecuária Familiar de Canudos, Uauá e Curaçá (BA). Atualmente, são mais de 230 famílias, 15 minifábricas instaladas em comunidades e uma fábrica central no município de Uauá, espaços que possibilitam uma maior qualidade e o aumento do volume produzido pelos grupos (COOPERCUC, 2008). Os produtos, com selo de comércio justo FLO (*Fair Trade Labelling Organization*) e Certificação Orgânica, concedida pela ECOCERT, desde 2005 são exportados para a França, através da Alter Eco; graças à sua presença em feiras internacionais, com apoio da Slow Food e outros parceiros, os produtos 'limpos' ganharam fama em outros países europeus e, a partir de 2008, passaram a serem exportados, também, para a Áustria, Itália e Alemanha (MDA, 2011).

Visando avaliar a importância do cooperativismo em uma atividade extrativista de umbu, Santos e Oliveira (2001) registraram a produção por planta em 2001, e verificaram que, enquanto as pessoas da zona rural recebiam R\$ 5,00 por saco de umbus (60 kg), vendido a fábricas de polpa em Feira de Santana, através da COOPERCUC, o mesmo saco de umbu rendia aos cooperados o total de R\$ 134,35. Mostrando assim quão significativo é o impacto dessa atividade extrativista sobre a vida das famílias organizadas na cooperativa.

Além de produtos do umbu (picles de xilopódios, doces em pastas, compotas, sucos e geléias), está havendo diversificação da produção, incorporando geleia de maracujá do mato, outra espécie nativa da Caatinga, além de produtos mix de frutas, envolvendo umbu, maracujá, goiaba e banana. Uma mudança significativa está ocorrendo na região norte da Bahia, com plantios de umbuzeiros e maracujazeiros, em áreas da Caatinga degradada por outras atividades agrícolas, em anos anteriores, incentivados os extrativistas produtores pelos rendimentos auferidos por suas famílias. Essa é uma manifestação clara e prática de adaptação às situações de estresses provocados pelo clima.

Tendo como pólo a cidade de Capim Grosso-BA, os catadores de licuri se reuniram, também em cooperativa, a COOPES (Cooperativa de Produção da Região do Piemonte da Diamantina), criada em 2005. O interesse maior é pela amêndoa de licuri, utilizada para consumo in natura, por sua riqueza em proteínas, servindo, igualmente, para preparação de bolos, pães, mingau, sorvete, pudim, beiju, doce, aguardente, compota, petiscos, chibata, chocolate, arroz, ovo de páscoa, peixe, bacalhau e etc. As folhas são matéria prima para a fabricação artesanal de bolsas, esteiras e chapéus, dentre outros artigos de palha, sendo utilizadas, também, para a alimentação animal (<http://www.coopes.org.br/>). Vários de seus produtos já foram expostos e degustados em feiras na Itália.

Outra fruteira muito importante para a subsistência de comunidades do Nordeste é o cajueiro, ocupando áreas extensas em vários locais, em plantios realizados pelo homem ou tendo se espalhado naturalmente. O principal é a castanha, tanto por sua boa cotação no mercado internacional como pela facilidade de conservação (baixa perecibilidade). Além de sua coleta, pessoas se especializaram em torrâ-las, acondicionando-as em saquinhos, mais comuns de 100 e 200 gramas, uma forma de agregação de valor à atividade extrativista, vendidos ao longo de várias rodovias que cortam as ocorrências de cajueiros. O maior volume, entretanto, é comercializado na forma de castanhas para agroindústrias especializadas na extração da amêndoa, visando à exportação. Segundo dados do IBGE, em 2009 foram colhidas mais de 200 mil toneladas de castanhas no Brasil, 98,7% no Nordeste brasileiro, com renda superior a 197 milhões de reais. Não é possível ainda estimar quanto desse volume correspondeu a atividades de subsistência de extrativistas.

Além da castanha, há interesses, também, no pedúnculo dos cajus, utilizados em agroindústrias de porte variado, mas, geralmente domésticas, na fabricação de sucos, compotas, licores e passas de caju. Pela quantidade de castanhas colhidas depreende-se ser muito grande a tonelagem de pedúnculos, considerando ser seu peso muito superior ao das castanhas; cada castanha corresponde a um pedúnculo de caju, sendo altíssimos os índices de perda, decorrente de sua perecibilidade, abrindo-se perspectivas de instalação de novas agroindústrias na região.

Baseando-se, igualmente, na flora da região, muitas pessoas subsistem às custas de produtos medicinais coletados de partes renováveis de plantas, como flores, frutos e folhas. Em frutos e folhas, a preocupação é com a quebra de ramos, quando há depredação das plantas. Em geral, os extrativistas, interessados em tais partes dos vegetais, têm consciência – baseados em suas próprias experiências e convicções de sobrevivência – que sua vida e reprodução se assentam, exatamente, na preservação dessas plantas, criando inter-relações pessoais com os recursos naturais e a natureza.

Na subsistência baseada no extrativismo agrícola, são preocupantes as explorações de cascas e raízes de plantas com fins medicinais (angico, caju, pau d'arco, cumaru, papaconha, faveleira, jurema, quixabeira, bom-nome, pereiro, bauhinia, dentre outras), por resultarem em degradação e possibilidades de erosão genética, principalmente, quando não se conhecem iniciativas de reposição ou de plantios comerciais.

Nessa área de plantas medicinais se vislumbram perspectivas promissoras para o futuro, considerando a grande riqueza das plantas de vários biomas, dentre eles as da Caatinga, em princípios ativos a serem utilizados na farmacologia. Com os avanços dos estudos de caracterização fitoquímica das plantas, abrir-se-ão novas oportunidades de renda, associando-se, certamente, a atividade de extrativismo a empresas produtoras de fitoterápicos; para os coletores de plantas o seu trabalho extrapolará a simples atividade de subsistência.

Finalmente, considere-se o elevado apelo social da agricultura de subsistência, pois uma parcela significativa de agricultores depende dessa atividade para a sua sobrevivência. A permanência indefinida de uma agricultura de subsistência corresponde à manutenção de uma situação de penúria, por ser incerta e altamente dependente de fatores diversos, destacando-se dentre eles o clima. O desejável é que esses agricultores consigam, com o tempo, no mínimo evoluir para o cooperativismo ou associativismo (Paterniani, 2001), a exemplo de algumas comunidades do Nordeste brasileiro, já abordadas.

### **6.3.3. SUBSISTÊNCIA – POBREZA E FOME**

Os impactos de mudanças no clima, com reflexos sobre a produção de alimentos e, de forma mais abrangente, sobre as condições de vida, provavelmente, tornarão mais acentuadas as diferenças entre populações detentoras de mais recursos para fazer frente a tais problemas e as populações que não os possuem. A agricultura industrializada, talvez, possa reagir às mudanças do clima, porém, a de subsistência deverá se adaptar, radicalmente, explorando atividades mais apropriadas aos novos tempos.

O problema maior deverá ser a pobreza, a se traduzir em fome e, segundo Celso Castro (Castro, 2006), fome é “a marca de uma morte lenta, consequência indireta de uma alimentação cotidiana presente, mas insuficiente em quantidade e/ou qualidade”. Há muitas fomes, a forma mais visível e cruel é a fome aguda ou crônica, quando se manifesta no físico das pessoas, havendo outras graduações, a fome oculta, fome moderada, ‘invisível’, entre outras. Algumas dessas formas podem afetar pessoas fora do ciclo de pobreza, mais por desvios em hábitos alimentares.

Na subsistência, a noção de pobreza se vincula a questões dos mínimos biológicos, centrada nas necessidades de alimentação indispensáveis para uma pessoa sobreviver. Nesse contexto, está sujeita a várias críticas, referindo-se a principal, ao fato de um indivíduo não necessitar, apenas, de alimentos para viver, ultrapassando as necessidades a dimensão alimentar da vida humana (Rocha, 2006; Codes, 2008).

Segundo Amartya Kumar Sen, Prêmio Nobel de Economia, em 1998, a pobreza é um mundo complexo e a descoberta de todas as suas dimensões exige uma análise clara. “Não se pode estabelecer uma linha de pobreza e aplicá-la, rigidamente, a todos da mesma forma, sem levar em conta as características e

circunstâncias pessoais” (Sen, 1999). Esse autor cita, ainda, ser a fome explicada pela ocorrência de determinadas falhas no sistema econômico-social, detendo, em um determinado grupo de pessoas, direitos sobre a quantidade de comida que outros precisariam para sobreviver; é uma característica de quem não tem o suficiente para comer, porém, não é característica da inexistência de comida, mas de relações envolvendo a propriedade da comida.

Ainda, na visão de Amartya Sen, uma das grandes vergonhas da sociedade mundial são as “fomes coletivas”, consideradas uma das mais revoltosas e cruciais formas de perda de liberdade, por afetar um povo ou comunidades. Salienta que grande parte das “epidemias” de fomes coletivas, sofridas no mundo civilizado, não se deu por escassez de alimentos, mas sim de circunstâncias, aliando a má distribuição de renda e de alimentos a políticas desvinculadas de estratégias, visando ao bem comum (Sen, 2000).

Várias abordagens existem sobre pobreza, sendo uma delas a de necessidades básicas, adotada na década de 1970 pelos organismos internacionais, embora já existisse desde a década de 1950, quando surgiu a idéia de ser o progresso social o melhor meio para ser alcançada a satisfação das necessidades básicas das pessoas, em vez de crescimento econômico (Codes, 2008). Segundo Rocha (2006), insatisfeita a adoção de práticas para atendimento das necessidades das pessoas, é necessário ir além dos itens de alimentação, incorporando uma gama mais ampla de necessidades humanas, tais como educação, saneamento e habitação. Esse novo entendimento sobre pobreza passou a abranger outros aspectos de vida cotidiana, pelo fato de o ser humano não apenas se alimentar, mas, também, se relacionar, trabalhar. Essas outras atividades, a compoem a dimensão da vida, não estão relacionadas, obrigatoriamente, ao critério de renda, ou à condição de alimentação, mas são necessidades básicas na vida de qualquer indivíduo. Fica patente o grande fosso existente entre tais condições e as de pessoas em subsistência.

Ao final dos anos 1970, a abordagem das necessidades básicas (*basic needs*) foi reforçada, investindo na dimensão social da pobreza, “porque as condições de existência não se limitam, unicamente, aos aspectos materiais ou individuais (alimentação, renda), mas incluem as relações sociais, o acesso ao trabalho e aos cuidados, dentre outros” (Salama e Destremau, 2001).

Em anos seguintes, a pobreza passou a ser interpretada como privação relativa, definida através de uma realidade social específica e o padrão de vida em que as necessidades são supridas. A noção de pobreza como privação relativa é entendida pela comparação entre o que se pode considerar como condições normais, com algo que está abaixo de tais condições, ou seja, ser pobre significa não ter determinados meios necessários para atingir de modo satisfatório suas necessidades, no contexto social em que a pessoa vive (Rocha, 2006; Codes, 2008); portanto, para quem vive em uma sociedade desenvolvida, as necessidades para romper o limite de pobreza serão bem maiores que as de alguém vivendo em um contexto pouco desenvolvido. Sendo fácil raciocinar em termos de subsistência.

Para muitos que perdem o emprego, o futuro passa a ser marcado pela instabilidade, à margem do trabalho e nas fronteiras das formas de troca socialmente consagradas; desempregados por período longo, moradores dos subúrbios pobres, beneficiados da renda mínima de inserção, vítimas das readaptações industriais, jovens à procura de emprego e que passam de estágio a estágio, de pequeno trabalho à ocupação provisória (Castel, 1998). As proposições de Castel, segundo Veras (1999), apesar de terem sido forjadas na realidade francesa trazem contribuições importantes para o debate conceitual brasileiro, fundamentalmente porque abarcam questões de vulnerabilidades sociais que se desenrolam, também, em nosso cotidiano; dentre elas, podem ser consideradas as dos contingentes de pessoas que vivem da subsistência.

Em 2000, Amartya Sen (Sen, 2000) introduziu um novo conceito de pobreza, o da privação de capacidades. O termo capacidades se refere a um conjunto de vetores a refletir a liberdade de uma pessoa de levar um ou outro tipo de vida. Nessa perspectiva de análise da justiça social, as vantagens individuais são aferidas em termos de capacidades que uma pessoa possui, ou seja, das liberdades substantivas



de que ela usufrui para levar um tipo valorizado de vida. Disso decorre a noção de que a pobreza não deve ser identificada com o critério padrão da escassez de renda, mas deve ser interpretada como a privação das chamadas capacidades básicas (Sen, 1999). Esse mesmo autor afirma que a disponibilidade de um bem ou serviço à população, não é sinônimo de ser ele acessado, concretamente pelas pessoas. Para tanto, são necessárias capacidades essenciais, em que, muitas vezes, as populações desfavorecidas socialmente não as possuem para poderem buscar a concretização do acesso a esses serviços ou bens. Nos tempos atuais, um exemplo concreto disso são os sistemas de acesso a serviços oferecidos por Universidades através de internet.

A pobreza se revela inicialmente como desigualdade econômica, caracterizada pelo baixo rendimento, mas, é muito mais complexa, podendo ser considerada como uma síndrome multidimensional de carências diversas (Rocha e Ellwanger, 1993). Os estudos mais recentes tendem a se afinar com tal perspectiva, buscando enfatizar sua complexidade, em que pesam vários fatores. É consensual tratar-se de um fenômeno social, referente não apenas a privações em termos de necessidades materiais de bem-estar, mas, também, à negação de oportunidades de levar a vida dentro de padrões aceitáveis socialmente.

A multiplicidade de carências e penúrias impostas àqueles que vivem em situações de pobreza faz com que suas existências possam ser prematuramente encurtadas, além de duras, dolorosas e perigosas. Em suas manifestações subjetivas, o fenômeno provoca nas pessoas pobres sentimentos de impotência diante de seus destinos, de vulnerabilidade, de insegurança e de falta de poder político. Mestrum (2002) defende a “definição multidimensional da pobreza, por ela permitir que se leve em conta um número ilimitado de problemas, tanto em termos de suas causas e consequências, como de seus sintomas”.

Portanto, o cerne da pobreza não está apenas nas restrições quantitativas como renda, mas em, um conjunto de incapacidades qualitativas. Não se limita apenas às esferas do econômico, tais como níveis de renda e consumo; em seu extremo, pobreza significa fome e, repetindo Josué de Castro, “fome é a marca de uma morte lenta”. Acima de tudo, a fome é exclusão a se manifestar no cotidiano e em diversos planos da existência das pessoas, repercutindo sobre comportamentos e todos os sinais de vida.

Em situações onde há deficiência ou ausência do Estado, vem sendo muito positivo o trabalho de grupos religiosos, em articulação com redes sociais, atuando, algumas vezes, em parceria com o Poder Público, com atenuação dos sinais de pobreza (Eide, 2002); em geral, são situações a exigir urgência no encaminhamento de soluções, pela soma de forças e envolvimento de lideranças locais, com resultados positivos no encaminhamento de soluções para os problemas de determinados grupos de risco, como descrito por Sousa (2003), em comunidades do Rio de Janeiro.

De acordo com Eide (2002) e Vasconcelos (2005), ao longo de sua recente história democrática, o Brasil tem despendido esforços para a integração social e a correção da desigualdade, que deram lugar ao desenvolvimento de estratégias para a eliminação da fome e para a promoção do direito humano à alimentação.

Tratar o tema da dificuldade de subsistência alimentar em situação de pobreza ou, como atualmente tem se colocado, sobre o tema da insegurança alimentar, obviamente remete à histórica construção da desigualdade social e econômica, imposta por modelos econômicos.

### **6.3.3.1. LUTA CONTRA A POBREZA**

As lutas contra a pobreza se inserem em uma lógica econômica global que não é inocente, pois favorece a uns e desfavorece a outros, criando dessa maneira, sob as bases constantemente renovadas,

como consequência das novas tecnologias, desigualdades e antagonismos de classes. O liberalismo econômico considera o mercado como um fato natural, por conseguinte, indiscutível, e não como uma construção social que depende das circunstâncias concretas de seu funcionamento (Mestrum, 2002). Na lógica do capitalismo, as relações mercantis só podem ser desiguais, porque se constituem em condição para a acumulação privada do capital (Houtart, 2005).

Na lógica da luta contra a pobreza do pensamento liberal uma parte da humanidade é incapaz de se integrar ao mercado, massas inúteis porque não são produtoras de um valor agregado e não são consumidoras (George, 2002). Sob essa ótica, os pobres devem ser ajudados a se integrar ao mercado, seja tornando-os capazes de vender sua força de trabalho, seja transformando-os em pequenos empresários, o que explica, entre outras coisas, a importância que é dada ao microcrédito integrado ao sistema bancário.

A luta contra a pobreza se insere numa lógica mercantil, possibilitando a setores que haviam ficado de fora da acumulação capitalista, tais como a agricultura camponesa e os serviços públicos, a se inserirem no sistema. É uma forma de inserir os pobres em estratégias individualistas contribuindo para debilitar as lutas sociais coletivas. Enfraquece o perigo potencial para os ricos, como disse Kofi Annan no Fórum Econômico Mundial (Davos), em sua reunião em Nova York, em 2004. Além de contribuir para contenção das desigualdades, indispensáveis para estimular o crescimento, sob limites razoáveis, evita explosões sociais. Em resumo, como diz Francine Mestrum (2002), cria “uma pobreza dócil, respeitosa, que se consola com um pouco de dinheiro”.

A pobreza é mal avaliada, por ser, sobretudo, um problema de injustiça aos pobres, sempre desarmados para fazer frente à desnutrição e às doenças; são carentes de respeito e consideração. O problema dos carentes é sua impotência diante do desprezo, da ignorância e dos golpes do destino, subsistem a todas as injustiças.

Existem alternativas. Antes de tudo, é importante recordar que a luta contra a pobreza é, em primeiro lugar, a luta dos pobres, ou melhor, é a luta dos empobrecidos. São eles que subsistem e conseguem sobreviver e que devem lutar para melhorar suas condições de vida. Uma questão, porém, ecoa: ‘Será possível outra filosofia que suprima os obstáculos à libertação da pobreza, considerando a economia como atividade humana que produz as bases materiais da vida física, cultural e espiritual de todos os seres humanos no mundo?’

Outras políticas podem conduzir a caminhos em direção à emancipação dos empobrecidos. A humanidade de hoje tem os meios intelectuais e materiais para aplicá-los a todos os níveis, desde a utopia do “bem de todos”, até as alternativas a médio e em curto prazo... Por que não o faz?

#### **6.3.4. SUBSISTÊNCIA E SAÚDE**

“A saúde, vista como um estado dinâmico socialmente produzido deve ser compreendida como resultado de um conjunto de fatores e situações biológicas, sociais, econômicas e culturais, cuja interação define a cada momento e em cada lugar o padrão de saúde, inclusive o quadro de transição/polarização epidemiológica contemporâneo” (Carvalho e Santos, 2005).

As populações mais vulneráveis aos efeitos do clima são as que, por razões de ordem social, estão mais expostas aos desastres ambientais, assim como, têm menor capacidade de se proteger e de responder aos impactos adversos pelo limitado acesso das pessoas a bens e serviços básicos, inclusive os de saúde. Em tal quadro se encaixam, facilmente, aqueles que apenas subsistem.

Outra consequência de aumento da vulnerabilidade se relaciona à alta concentração da população em zonas urbanas, principalmente de pessoas dependentes de atividades de subsistência, fugindo das condições adversas de áreas rurais, mais vulneráveis a tais riscos; agravar-se-ão as condições de

sobrevivência, com implicações sobre a pobreza e, conseqüentemente, sobre o tipo e a qualidade de alimentação das pessoas, resultando em graus variados de subnutrição e problemas de saúde. Considerem-se, ainda, os aspectos de insegurança alimentar, em função da queda prevista de produção da agricultura praticada nos moldes tradicionais. As migrações para vilas e cidades agravarão o tipo e a qualidade de alimentação das pessoas, resultando, assim como nas áreas rurais, em graus variados de subnutrição e problemas de saúde, como conseqüência de deterioração das condições sanitárias das periferias dos centros urbanos.

A existência, em território brasileiro, de várias doenças infecciosas endêmicas, sensíveis ao clima, pode resultar em alteração dos respectivos ciclos, favorecendo tanto o aumento como a diminuição de incidências, por variações de temperatura e umidade, entre outros fatores; há também, a possibilidade de se redistribuírem espacialmente, como conseqüência de fenômenos demográficos regionais. Esse foi o caso dos surtos de calazar (leishmaniose visceral), observados em capitais do Nordeste, no início das décadas de 1980 e 1990, como conseqüência da grande migração rural-urbana, impulsionada por secas prolongadas (Confalonieri e Marinho, 2007).

O setor saúde se encontra frente a um grande desafio. As conseqüências epidemiológicas dos processos de transformações climáticas podem ser radicais e imprevisíveis. Possivelmente, o setor saúde deverá ser atingido indiretamente pelos impactos decorrentes das mudanças climáticas, devido à possibilidade dos efeitos decorrentes ameaçarem as conquistas e os esforços de redução de doenças, algumas delas sob controle nos tempos atuais. A emergência de novas doenças, com chances de se manifestarem, também, como epidemias fatais e devastadoras, não é uma possibilidade apenas ficcional (Ceresnia e Ribeiro, 2000).

As ameaças sobre conquistas e redução das doenças transmissíveis e não transmissíveis ocorrerão pela possibilidade da exposição a diversos fatores de risco, não sendo possível evitá-las, em curto prazo. As modificações possíveis para alteração desse quadro, em nível global, podem consumir décadas para se obter um efeito estabilizador do clima (Barcellos *et al.*, 2009). As conseqüências serão drásticas, requerendo providências e intervenções de 'adaptação', para reduzir ao mínimo os impactos via ambiente. Atrasos nas ações se refletirão em vidas. Ainda segundo Barcelos *et al.* (2009), as intervenções de adaptação devem se iniciar por discussões e ações intersetoriais, envolvendo todos os atores relacionados ao setor saúde, com reforço em investimento estratégico em programas de proteção da saúde para populações ameaçadas pelas mudanças climáticas e ambientais, como sistemas de vigilância de doenças transmitidas por vetores, suprimento de água e saneamento, bem como, redução do impacto de desastres.

Certamente, os determinantes das mudanças climáticas globais sobre a saúde poderão ser superados, mas apenas em longo prazo, com medidas de mitigação. Segundo Confalonieri (2005), o modelo atual de desenvolvimento e a própria produção de energia causam problemas à saúde das pessoas, através de acidentes de trânsito (resultam em 1,2 milhão de óbitos/ano) e poluição do ar (mais de 800 mil óbitos/ano), e com mais alto índice no fator sedentarismo (mais de 1,9 milhão de óbitos por ano). Na perspectiva de maiores mudanças no ambiente, deverão ocorrer alterações na infraestrutura de produção, consumo e circulação, com perspectivas de redução na emissão de gases efeito estufa, por uma parte, e por outro lado, diminuição de várias causas importantes de mortalidade.

Barcellos *et al.* (2009) se referem a riscos decorrentes da associação de perigos e vulnerabilidades, ligados as alterações de ordem climática. Os perigos, no caso das mudanças globais, são decorrentes de condições ambientais e da magnitude de seus eventos; já as vulnerabilidades são conformadas por condições e desigualdades sociais, as diferentes capacidades de adaptação, resistência e resiliência. Uma estimativa de vulnerabilidade das populações brasileiras apontou o Nordeste como a região mais sensível a mudanças climáticas, devido aos baixos índices de desenvolvimento social e econômico (Pruss-Ustun e Corvalan, 2006).

Nesse contexto, podem-se analisar condições de subsistência de populações rurais, pobres e sujeitas

a problemas de saúde. Há pressupostos de que grupos populacionais com piores condições de renda, educação e moradia, sofreriam os maiores impactos das mudanças ambientais e climáticas. No entanto, como ressalta Guimarães (2005), as populações mais pobres nas cidades e no campo têm demonstrado uma imensa capacidade de adaptação, por já se encontrarem excluídas de sistemas técnicos; mesmo sendo mais afetadas, já estão acostumadas (aclimatadas) a tais adversidades. Ao contrário, a parcela mais abastada da sociedade, aparentemente isenta de riscos, terá uma resposta imunológica mais baixa, em casos extremos.

A possível expansão de áreas de transmissão de doenças não pode ser compreendida como um regresso de doenças como a malária, febre amarela, dengue, leptospirose, esquistossomose, entre outras. Ou melhor, a possibilidade de retorno dessas doenças se daria sobre bases históricas, completamente distintas, daquelas existentes no século XIX. As transformações sociais e tecnológicas ocorridas no mundo, nas últimas décadas, permitem avaliar que essas doenças adquiriram, ao longo das décadas, outras características, além de distinção nos fatores biológicos intrínsecos. A possibilidade de se prevenir, diagnosticar e tratar algumas pessoas e excluir outras desses sistemas aprofundou as diferenças regionais e sociais de vulnerabilidades e transformou as desigualdades sociais num importante diferencial de riscos ambientais (Barcellos *et al.*, 2009). Cabe ao setor saúde não só prevenir tais riscos, fornecendo respostas para os impactos causados pelas mudanças ambientais e climáticas, mas atuar na redução de suas vulnerabilidades sociais, através de mudanças no comportamento individual, social e político, por um mundo mais justo e mais saudável.

O quadro tradicional já é de distorção dos hábitos alimentares, muitas vezes sendo obrigado, o indivíduo, a trocar alimentos ricos, mas em pequena disponibilidade, por outros em maior volume, perdendo em qualidade, mas conferindo-lhe a sensação de 'barriga cheia'. Em tal contexto, as principais deficiências, decorrentes da subnutrição, são hipovitaminose A, anemia ferropriva, obesidade, carências minerais, dentre outras. As doenças relacionadas à má qualidade de alimentação são várias, citando-se, como exemplos: hipertensão arterial, osteoartroses, intolerância à glicose, diabetes mellitus, dislipidemias, diferentes tipos de câncer e doenças cardiovasculares (Valente, 2002).

Na contemporaneidade, cientistas sociais e pesquisadores buscam, com novos olhares, estudar e entender os valores culturais e sociais de tais relações, para aprofundar o conhecimento sobre suas implicações em problemas de saúde. É necessário um olhar antropológico, com sua perspectiva sócio-cultural, capaz de apreender o entrecruzamento de diferentes laços sociais e a coexistência de uma pluralidade de valores e normas, frequentemente em conflito, característico de uma sociedade complexa.

### **6.3.5. AMAZÔNIA: AÇÕES PARA REDUZIR A SUBSISTÊNCIA, A POBREZA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Vários modelos têm indicado que o ecossistema da bacia amazônica pode ser afetado pelo aquecimento global devido a possíveis mudanças nos regimes de precipitação pluvial e temperatura, assim como na frequência e sazonalidade das chuvas, efeito agravado devido os desmatamentos, queimadas e outras ações humanas. O uso da terra atual associado com mudanças na cobertura vegetal na Amazônia pode estar induzindo modificações no clima e no ciclo hidrológico próprio desse bioma, podendo trazer consequências o futuro da regional e, até global.

O efeito das calamidades climáticas tem afetado de forma indireta a Amazônia onde, com as grandes secas do Nordeste, destacando-se as de 1877-1879, 1942 e 1970, provocou o deslocamento de grande massa de nordestinos para a região. Nas quatro décadas mais recentes, o deslocamento de migrantes para a região tem sido induzido por motivações econômicas e sociais, e pelas políticas governamentais.

No período 1877/1879, uma das mais graves secas atingiu todo o Nordeste. O Ceará, na época,

com uma população de 800 mil habitantes foi intensamente atingido. Desse total de habitantes, 120 mil (15%) migraram para a Amazônia e 68 mil pessoas foram para outros Estados. Esta migração induzida pelas secas promoveu o povoamento da Amazônia, com a anexação do Acre ao estado brasileiro, viabilizou-se a extração da borracha. No período 1943/45, a seca no Nordeste provocou novo deslocamento de 50 mil nordestinos para a Amazônia induzidos para reativar os seringais nativos para atender às necessidades bélicas, que ficaram conhecidos como os “soldados da borracha” (Homma, 2007).

No dia 6 de junho de 1970, durante a visita do Presidente Emílio Garrastazu Médici (1905-1985) ao semiárido nordestino, o Presidente ficou impressionado com o drama da seca e tomou a decisão da abertura da rodovia Transamazônica (“os homens sem terra do Brasil a ocuparem as terras sem homens da Amazônia”). Executada durante o período do Milagre Econômico a ação do governo militar visava entre outros objetivos à transferência de parte da população mais pobre do Nordeste promovendo a ocupação ao longo dos grandes eixos rodoviários que foram abertos.

Na Amazônia, a agricultura das várzeas, sempre tem sido afetada pela magnitude das enchentes ou das vazantes extremas. Em 29/05/2012, a cota do rio Negro, que mantém as medições a partir de 1902, registra o recorde histórico com a cota de 29,97m, suplantando a cheia recorde de 2009 com 29,77m e de 1953, com 29,69m (Tabela 6.3.1).

Em 2005, a despeito da cota do rio Negro indicar 14,75 m, sendo a sétima vazante no ranking, os seus efeitos foram dramáticos: impediu a navegação fluvial para as comunidades, mortandade de peixes e colapsamento da produção das várzeas. Em 24/10/2010 atinge o recorde histórico de menor vazante, com a cota de 13,63m, superando a mínima de 1963, com 13,64m. É impressionante ressaltar que no curto período de 2009 a 2012, ocorreram à primeira (2012) e a segunda (2009) maior enchente, e a maior vazante (2010).

Relacionar os recordes de cheias e vazantes do rio Amazonas com as mudanças climáticas fica um grande questionamento, uma vez que já ocorreram estes mesmos fenômenos no passado. Os seus efeitos estão mais relacionados com a atual magnitude da população residente, tanto urbana como rural. Estes eventos, muito próximos, têm conduzido a discussões, sobretudo, da população leiga e da imprensa, quanto ao fenômeno das mudanças climáticas. Todos estes eventos produziram situações inusitadas que chamaram atenção da imprensa nacional e mundial: decretação de calamidade pública para os municípios atingidos, perda de roçados, fome, impedimento das crianças irem para as escolas e, em 2010, impossibilidade dos eleitores comparecerem aos locais de votação.

Nas áreas de terra firme, a instabilidade das chuvas, na concepção dos agricultores tem provocando ilações muitas vezes contraditórias: secas mais prolongadas, atraso no início das chuvas, escassez e fortes chuvas, ventos fortes com destelhamento de casas. Isto tem sido exteriorizado na seca das pastagens, secamento e rompimento de açudes, igarapés e rios, necessidade de irrigação para culturas como pimenta-do-reino e açaizeiro, proliferação de incêndios florestais, entre outros aspectos. Por outro lado o excesso de chuvas tem traduzido em vicinais intransitáveis, perda de safras agrícolas, proliferação de doenças, inundações das periferias urbanas, ruas alagadas, entre os principais.

**Tabela 6.3.1** Dez cotas máximas e mínimas atingidos pelo rio Amazonas junto à foz do rio Negro (1902-2012)

Ano	Cota Máxima Enchente	Data
2012	29,97	29/05
2009	29,77	01/07
1953	29,69	09/06
1976	29,61	14/06
1989	29,42	03/07
1922	29,35	18/06
1999	29,30	24/06
1909	29,17	14/06
1971	29,12	24/06
1975	29,11	23/06
1994	29,05	26/06
Ano	Cota Mínima Vazante	Data
2010	13,63	24/10
1963	13,64	30/10
1906	14,20	13/11
1997	14,34	04/11
1916	14,42	07/10
1926	14,54	12/10
1958	14,74	18/10
2005	14,75	25/10
1936	14,97	29/09
1998	15,03	30/10

Fonte: <http://www.portodemanaus.com.br/?pg=maxmi.php#>>. Acesso em 01/04/2012.

### 6.3.5.1 PRIMEIRA, SEGUNDA E TERCEIRA NATUREZA

Existem três grandes desafios para a conservação e a preservação da Amazônia sem destruição de novas áreas, mantendo as atividades econômicas e reduzir os riscos de mudanças climáticas. O primeiro refere-se à de como manter a *Primeira Natureza* representada pela floresta prístina. A segunda seria a de transformar a *Segunda Natureza* representada pelas áreas desmatadas em uma *Terceira Natureza* com atividades produtivas mais adequadas. A terceira, a de recuperar ecossistemas que não deveriam ter sido destruídos (Vesentini, 1996; Homma, 2010a; Homma, 2011).

O desafio não está em somente estancar a sangria do desmatamento crônico, mas a de transformar a curva decrescente da cobertura florestal da Amazônia com o reflorestamento das áreas que não deveriam ter sido desmatadas, recompor as Áreas de Reserva Legal (ARL) e de Preservação Permanente (APP). Seria assumir a forma de “U” com já está ocorrendo em diversos países como os Estados Unidos, Japão, Alemanha, Finlândia, Áustria, Itália, Espanha, China, Índia, Chile, Suécia, Ucrânia, Costa Rica, entre outros (Kauppi *et al.*, 2006). A Lei 12.727/2012 que estabeleceu o Novo Código Florestal, apesar dos protestos, deverá induzir a recuperação do passivo ambiental acumulado ao longo do tempo.

A Amazônia representa 60% do território brasileiro no qual seria possível colocar mais da metade dos países europeus. Apesar de ter sido desmatado mais de 74 milhões de hectares (2011), 17% da Amazônia, mais de duas vezes o tamanho do Japão ou da Alemanha, respectivamente, a terceira e a quarta economia do planeta, a contribuição no PIB nacional é inferior a 8% (2009). Nessa região

vivem 25 milhões de habitantes representando 12,8% da população brasileira.

A Amazônia não é homogênea. Ela é dividida em nove Estados e cada Estado, como se fosse um país, apresenta diferentes tipos de atividade econômica, formação histórica, social e política, no qual exige tratamento diferenciado. No que concerne ao setor primário verifica-se a alta participação no PIB estadual para os estados de Mato Grosso, Maranhão, Tocantins, Acre e Rondônia. A participação relativa do setor primário na economia do Estado do Pará vem sendo ofuscado pela magnitude do setor mineral (Tabela 6.3.2). Percebe-se a participação da pecuária e pesca suplantando a agricultura, silvicultura e exploração florestal nos estados de Rondônia, Pará e Tocantins. Quanto ao Estado do Amazonas, a dimensão relativa e absoluta do setor primário é baixa decorrente do pólo industrial da Zona Franca de Manaus. A inclusão das áreas de cerrados na Amazônia Legal tem sido motivo de diversos equívocos na contabilidade da destruição das florestas tropicais (Rebello e Homma, 2009).

**Tabela 6.3.2.** Participação percentual das atividades do setor agrícola no valor adicionado bruto a preço básico (2007).

Estado	Agricultura, silvicultura e exploração florestal	Pecuária e pesca	Total
Rondônia	7,9	12,4	20,3
Acre	11,9	5,3	17,2
Amazonas	3,6	1,2	4,8
Roraima	5,3	1,4	6,7
Pará	3,0	5,5	8,5
Amapá	3,2	1,1	4,3
Tocantins	8,8	9,0	17,8
Maranhão	14,1	4,5	18,6
Mato Grosso	22,2	5,9	28,1
Brasil	3,8	1,7	5,5

Fonte: IBGE

Outro aspecto está relacionado com o fato de que na Amazônia os problemas não são independentes. Estas decorrem de problemas econômicos e sociais e muitas dependem de soluções externas à região. O contínuo fluxo de migrantes em direção a Amazônia na busca de sonhos e esperanças é decorrente da pobreza do Nordeste brasileiro, da falta de alternativas econômicas nos seus locais de origem, da implantação de obras de infraestrutura, do crescimento de mercados, da falta de terras, etc.

Outro fenômeno em curso refere-se à mudança na estrutura da população brasileira que se iniciou a partir da década de 1970. Na Amazônia mais de 75% da população já vivem nas cidades e a partir de 1970 a população rural brasileira vem decrescendo a cada ano e este mesmo fenômeno está ocorrendo com a população rural da Amazônia a partir de 1991. Isto é uma indicação de que é importante aumentar a produtividade da terra e da mão-de-obra, o que não coaduna com atividades de baixa produtividade do extrativismo vegetal e da agricultura familiar.

A despeito da avaliação mundial do país estar enfocado na redução nos desmatamentos e queimadas na Amazônia, em longo prazo, deve aumentar a pressão com relação à segurança alimentar. A população mundial deve passar dos atuais 7 bilhões para 9,2 bilhões de habitantes em 2050 (Nature, 2010), exigindo a necessidade de uma Segunda Revolução Verde, com demanda de produção agrícola de mais de 600 milhões de toneladas de alimentos. A partir de 2004 está ocorrendo a contínua redução dos desmatamentos e queimadas na Amazônia, com variações para Estados, que deveria ser acompanhada do aumento de produção incorporando áreas degradadas na mesma quantia da sua supressão sob o risco de provocar a desativação das atividades produtivas, não permitindo que se atinja maiores produções no Brasil. Não fazer isso, constitui o erro das atuais políticas ambientais no país.

### 6.3.5.2 LIMITAÇÕES DA OPÇÃO EXTRATIVA – FLORESTA EM PÉ

Há muitas propostas visando à salvação da floresta amazônica e que agora associa com a mitigação das mudanças climáticas. Uma que teve grande repercussão refere-se à criação das reservas extrativistas, que ganhou forte impacto, sobretudo depois do assassinato de Chico Mendes (1944-1988) em 22/12/1988. Com o Governo Lula, a partir de janeiro de 2003, essa política foi ampliada com a criação de megareservas extrativistas, com o objetivo de proceder à inclusão social, servir de tampão para conter a expansão da fronteira agrícola, atender a simpatia internacional, servir de compensação ecológica, doutrina partidária, entre outros aspectos. A atividade extrativa é viável enquanto o mercado for pequeno, mas quando o mercado começa a crescer, os agricultores são estimulados efetuar plantações e com isso ocorre o colapso dessa atividade. Isto sucedeu para mais de três mil plantas que são cultivadas e para centenas de animais domesticados. A economia extrativa é um ciclo no qual se inicia a fase da expansão, depois a estabilização e finalmente o seu declínio. Na sequência têm-se os recursos naturais, o início da atividade extrativa, o manejo, a domesticação e que pode evoluir até a descoberta de sintéticos (Homma, 2010b). Daí a importância de desenvolver plantios das espécies da biodiversidade amazônica que apresentem potenciais de mercado, com estoques reduzidos e em conflito com a demanda. Insistir na permanência no extrativismo para produtos com oferta reduzida faz com que consumidores e produtores percam oportunidade de produtos a preços mais baixos, melhor qualidade e quantidade e oportunidade de geração de renda.

Nesta última década acentuou-se a politização da natureza, a mercantilização do carbono e de descarbonizar a economia (Becker, 2010). Nesse contexto, saem duas vertentes com relação à Amazônia, visando à redução dos desmatamentos e das queimadas. Uma capitaneada pelo REDD (*Reduce Emissions for Deforestation and Degradation* ou Redução de Emissões para o Desmatamento e Degradação) no qual se prevê o pagamento para não desflorestar, envolvendo a mercantilização do carbono, conta com o apoio dos governadores da região amazônica, grandes empresas e parte da comunidade acadêmica. A outra vertente defende a utilização da floresta em pé, utilizando a tecnologia de ponta, para produção de fármacos, cosméticos, inseticidas naturais, entre outros produtos.

Para os países desenvolvidos a forma mais barata para reduzir as emissões de carbono seria suprimir os desmatamentos e queimadas nos países tropicais. Dessa forma a região amazônica vem recebendo especial atenção por parte dos promotores do REDD devido às perdas de florestas e as possibilidades potenciais da mitigação das alterações climáticas, sobretudo através do desmatamento evitado. Muitas dessas propostas não passam de um assistencialismo ambiental apoiando grandes negócios ambientais com controle externo. Se estes recursos forem efetivamente colocados à disposição, a internacionalização branca da Amazônia estará em marcha, transformando em paraíso para as ONGs e prescindindo dos investimentos federais na região.

### 6.3.5.3 A DOMESTICAÇÃO DOS RECURSOS EXTRATIVOS

Uma grande oportunidade está reservada para a agricultura familiar no plantio racional dos recursos da biodiversidade amazônica aproveitando o crescimento do mercado. A oferta fixa de muitos produtos extrativos indica que a coleta é viável enquanto o mercado for restrito, mas com o crescimento da demanda, o plantio domesticado torna-se inevitável. Destaque deve ser dado às instituições de pesquisa da rede Embrapa na Amazônia, ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi, no esforço de domesticação da seringueira, guaranazeiro, castanha-do-pará, cupuaçuzeiro, açaizeiro, pupunheira, pimenta longa, jambu, que fazem parte de plantios racionais, gerando renda e emprego para o segmento da agricultura familiar.

Os benefícios econômicos da domesticação de recursos da biodiversidade se forem avaliados, mostrariam grandes retornos dos investimentos da pesquisa que foram realizados. Os esforços da Embrapa e de outras instituições de pesquisa, com o advento da Lei dos Sucos, em 1973, fizeram com que a



produção de guaraná crescesse de 250 t, na década de 1970, para quase 5.500 t (1999). O cupuaçu que estava restrito a coleta extrativa e a produção nos quintais, com a tecnologia gerada pela Embrapa e das experiências dos produtores permitiu o plantio racional de mais de 25 mil hectares na Amazônia.

O discurso da biodiversidade precisa sair do contexto abstrato e dar atenção para a biodiversidade do passado, do presente e, incorporar novas plantas com metas concretas de domesticação para viabilização de plantios racionais. Há dezenas de produtos da biodiversidade como fruteiras, plantas medicinais e aromáticas, que poderiam ser incentivados nas áreas desmatadas e recuperar áreas degradadas. Pode-se mencionar a seringueira, castanheira-do-pará, pau-rosa, açazeiro, cumaruzeiro, entre dezenas de outras.

#### 6.3.5.4 A SOLUÇÃO VIA SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFS)

Outra solução está relacionada com a implantação de SAFs, baseado na experiência dos agricultores nipo-brasileiros em Tomé-Açu. Trata-se um sistema adequado para ocupar as áreas degradadas e o seu sucesso vai depender do mercado das plantas componentes, tais como cacaveiro, seringueira, castanheira-do-pará, cupuaçuzeiro, açazeiro, reflorestamento, dendezeiro, etc. Não se pode esquecer que as culturas anuais e pastagens exigem grandes extensões de área para atender o mercado. No caso de cultivos perenes com um décimo das áreas destinadas aos cultivos anuais é suficiente para garantir o abastecimento interno, suprimir as importações e gerar excedente para exportação (Barros *et al.*, 2009).

As possibilidades dos SAFs são muito maiores do que a opção extrativa. Seria possível ampliar as atuais áreas de cultivos perenes da Amazônia ao dobro, acrescentando no mínimo 600 mil hectares de cultivos como cacaveiro, dendezeiro, seringueira, açazeiro, bacurizeiro, no contexto de uma política de substituição de importações e garantir o abastecimento regional (Tabela 6.3.3).

**Tabela 6.3.3.** Possibilidade de expansão de alguns cultivos perenes e madeireiros.

Espécie	Área projetada (1.000 ha)
Dendezeiro	700
Açazeiro	50
Seringueira*	300
Cacaveiro**	150
Castanha-do-pará***	100
Bacurizeiro	20
Pau Rosa****	2
Madeira carvão*****	1.200
Mogno*****	40
<b>Total</b>	<b>2.562</b>

**Fonte:** Cálculos autor.

Nota: \* Acabar com 70% das importações de borracha vegetal do país; \*\* Reduzir 1/3 das importações de amêndoas de cacau; \*\*\* A produção mundial está estagnada nos últimos 60 anos; \*\*\*\* Considerando a quantidade máxima de óleo essencial de pau-rosa exportado em 1951 (441 t); \*\*\*\*\* Para atender a demanda atual de carvão vegetal para as guseiras ao longo da Estrada de Ferro Carajás; \*\*\*\*\* Garantir a exportação máxima dessa madeira no passado.

Duas plantas da Amazônia: o cacaveiro e a seringueira que foram muito importantes no passado foram levados para os países africanos e asiáticos e tornaram-se cultivos principais nesses novos locais. Atualmente o Brasil importa 1/3 do consumo de cacau e 70% do consumo de borracha natural. Para acabar com as atuais importações é preciso plantar mais de 150 mil hectares de cacaveiro e 300 mil hectares de seringueiras, gerando emprego e renda para a população da Amazônia. O consórcio utilizando o cacaveiro ou a seringueira como planta sombreadora é adequado e apresenta grande possibilidade de expansão em termos de área a ser plantada, com mercado assegurado e apropriado para a agricultura familiar.

Outra atividade promissora refere-se ao cultivo do dendezeiro, no qual o Brasil importa 2/3 do seu consumo para usos nobres, indicando a necessidade de plantar mais de 120 mil hectares dessa palmeira. Com o lançamento do Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil, em Tomé-Açu em 2010, para biodiesel, prevê o plantio de 350 mil hectares de dendezeiros, abre-se a perspectiva de um vasto mercado nacional e externo. A Malásia e a Indonésia, dois maiores produtores mundiais possuem em conjunto 9 milhões de hectares de dendezeiros em produção, alvo de pesadas críticas internacionais.

Como é bastante difícil inventar uma máquina que vá sangrar a seringueira, efetuar a colheita do cacau, cupuaçu, pupunha, açaí, pimenta-do-reino, dendê, estas culturas devem ser exclusivas da agricultura familiar. Algumas atividades onde se aproveitava da presença de mulheres e menores de idade em face da sua agilidade para subir nos pés de açaizeiros, coleta de frutos caídos no chão (murici, tape-rebá, etc.), colheita de pimenta-do-reino, acerola, urucu, etc. tem sido motivo de querelas trabalhistas. Com a aprovação da Emenda Constitucional 20, a partir de dezembro de 1998, estabeleceu a idade mínima de 16 anos para ingresso no mercado de trabalho, faz com que as restrições quanto ao uso da mão-de-obra infantil tornem privativo da agricultura familiar (Ferro e Kassouf, 2005). No Estado do Pará entre o Censos Demográficos de 1991 e de 2010, a população rural manteve praticamente constante e a população urbana dobrou, indicando a escassez de mão-de-obra no meio rural, agravado pelo Programa de Transferências Governamentais. Com a redução absoluta da população rural, aumenta o custo de oportunidade da mão-de-obra rural, tornando-se mais lucrativo a sua venda, sem os riscos que a atividade produtiva apresenta e inviabilizando aquelas atividades com menor produtividade (Rezende, 2005). A elevação dos salários pode levar a um maior assalariamento e subemprego do trabalhador rural e inviabilizando atividades intensivas em mão-de-obra e inviabilizando a própria agricultura familiar se manter com baixa produtividade.

#### **6.3.5.5 DAR ATENÇÃO PARA A AGRICULTURA, PECUÁRIA E REFLORESTAMENTO**

Outro aspecto a considerar refere-se à importância que a agricultura da Amazônia representa no cenário nacional. A Amazônia concentra em termos nacionais: bovinos (36%), bubalinos (70%), dendê (90%), pimenta-do-reino (85%), soja (33%), arroz (30%), mandioca (36%), algodão (49%), entre outras (IBGE, 2006). Dessa forma é crucial modernizar a rotação de culturas baseado no processo neolítico da derruba e queima praticado por mais de 600 mil pequenos produtores que se perpetua desde os primórdios da ocupação, dos assentados do Incra, das invasões dos posseiros e do MST. É importante intensificar a agricultura, utilizar mais fertilizantes e mecanização agrícola, desenvolver tecnologias apropriadas, melhorar a infraestrutura social nas fronteiras abertas e a garantia contra as invasões.

Não se pode esquecer que as pastagens representam a maior forma de uso da terra na Amazônia. Há necessidade de desenvolver uma nova pecuária na Amazônia procurando a sua intensificação reduzindo a atual área ocupada pela metade e mantendo o mesmo rebanho, liberando áreas para a regeneração e para outras atividades mais sustentáveis. Cerca de 51 milhões de hectares, representando 70% da área desmatada até o momento, são de pastagens em diferentes estágios de degradação. Trata-se de uma pecuária (corte e leite) de baixa produtividade na sua maioria, tanto do rebanho como das pastagens. Tem-se 12,8 milhões de hectares de culturas anuais, no qual seria possível manter a

mesma área aumentando a produtividade (Tabela 6.3.4). A produtividade de mandioca no Pará (maior produtor) é de 16 t/ha, enquanto no Paraná (segundo produtor) os agricultores conseguem obter 24 t/ha. A produtividade de arroz é de apenas 1.500 kg/ha nas áreas derrubadas e queimadas, enquanto em mecanizadas é possível obter o dobro dessa produtividade. Em se tratando de cultivos perenes no qual se têm mais de 636 mil hectares, pode-se dobrar ou triplicar essa área, tanto em monocultivos como em Sistemas Agroflorestais (SAFs).

Outra grande possibilidade de utilização para as áreas derrubadas e para recuperação de áreas que não deveriam ter sido desmatadas refere-se ao reflorestamento. Na Amazônia tem-se somente 7,56% da área reflorestada do país, um pouco mais de 492 mil hectares. Isto representa uma vez e meia a área reflorestada no Estado do Espírito Santo. Apresenta potencial de ampliar o reflorestamento até dez vezes e substituir o modelo de extração madeireira de florestas nativas.

**Tabela 6.3.3.** Área das culturas anuais e perenes para a Amazônia Legal, Região Norte e Mato Grosso, 2008/2010.

<b>Culturas anuais</b>	<b>Área 1.000 ha</b>	<b>Culturas perenes</b>	<b>Área 1.000 ha</b>
Amazônia	12.800	Amazônia	636
Região Norte	2.200	Região Norte	525
Mato Grosso	8.900	Mato Grosso	75
Soja	6.900	Cafeeiro	196
Milho	2.600	Bananeira	97
Arroz	0.900	Cacaueiro	150
Mandioca	572	Dendezeiro	140
Algodão	436	Coqueiro	35
Feijão	380	Pimenta-do-reino	22
Cana-de-açúcar	304	Laranjeira	20

**Fonte:** Dados básicos IBGE com cálculos autor.

Com a redução absoluta e relativa da população rural, a agricultura familiar terá que intensificar suas atividades produtivas. A atual população urbana/rural na Amazônia indica que cada trabalhador rural precisa produzir alimento para si e para mais três pessoas que moram nos centros urbanos, sem contar com as exportações. Esta é uma indicação de que é preciso aumentar a produtividade da terra e da mão-de-obra e mudar da agricultura de derruba/queima.

### **6.3.5.6 PISCICULTURA PARA SUBSTITUIR A CARNE BOVINA**

A partir da década de 1960 o país assistiu a uma grande expansão da avicultura tornando-se o maior exportador mundial e a produção de carne de frango suplantou a da carne bovina e com menores impactos ambientais. Há quatro décadas o consumo de aves estava restrito para doentes ou mulheres em resguardo. A liderança mundial nas exportações de carne de frangos e de bovinos é obtida destinando-se 31% (2010) e 16,5% (2011) da produção nacional, respectivamente, para exportação. Infelizmente, o mesmo não ocorre com a pesca, onde 56,1% da produção nacional é de origem extrativa e 43,9% proveniente de criatórios. Em nível mundial essa proporção é 58,7% entre extrativa e 41,3% da aquicultura (Rocha, 2012). Deve-se ressaltar que as estatísticas de pesca extrativa no país estão subestimadas e provavelmente estão no limite de capacidade de captura, indicando a necessidade de ampliar a aquicultura. A produção de pescado no país é de apenas 11% do que é produzido de carne de frango ou 16% de carne bovina (2011). Com certeza o desmatamento da Amazônia teria sido maior se a produção de frango não tivesse alcançado os atuais patamares tecnológicos. Os Estados de Mato Grosso, Amazonas e Rondônia fizeram avanços significativos na produção de pescado via criatórios.

No dia 10/6/2009 o Grupo Pão Açúcar, Carrefour e Walmart decidiram que só iriam adquirir carne-

bovina da Amazônia desde que não forem originadas de áreas desmatadas e obedecendo a aspectos éticos. Nesta ação a responsabilidade do desmatamento foi transferida para os consumidores de carne bovina. Por hipótese, se uma pessoa deixar de consumir carne bovina um dia da semana, durante um ano poderia reduzir 14% seu consumo per capita. Se todos os consumidores deixarem de consumir por dois dias, durante um ano, seria 28% do consumo nacional de carne (quase um terço do consumo nacional total). Esta proposta teria validade se criar uma alternativa barata para a carne bovina. Para os consumidores de baixa renda, a carne bovina representa a fonte de proteína mais econômica ao se comparar o rendimento da quantidade similar de carne bovina, de frango e de peixe.

A disponibilidade de espelhos d'água na Amazônia, sem paralelo no mundo, permitiria promover uma revolução na produção de pescado similar ao que ocorreu com o frango no país. Enquanto a pecuária de corte leva 2 a 3 anos para se conseguir 300 a 500 kg de boi vivo/hectare, nessa mesma área seria possível obter 10 a 15 t de peixe/hectare/ano.

### **6.3.5.7 RECUPERAR ÁREAS QUE NÃO DEVERIAM TER SIDO DESMATADAS**

Outro importante tópico está relacionado com a recuperação de áreas que não deveriam ter sido desmatadas, tais como margens e nascentes dos rios, morros, áreas de interesse da biodiversidade e para compor as APP e ARL, etc. Aqui há dois caminhos: uma pela utilização econômica e a outra deixar a própria Natureza efetuar a recuperação (Homma, 2010a). Com a mudança da civilização das várzeas para a civilização de beira de estradas, que se pode tomar como ponto de referência a abertura da rodovia Belém-Brasília, em 1960, margens de cursos d'água e áreas pedregosas e montanhosas foram desmatadas promovendo um violento processo de redução da cobertura florestal, sobretudo nas décadas de 1960 a 1980.

Outro aspecto é o problema ambiental urbano na Amazônia. Por exemplo, na calha do rio Amazonas e seus afluentes estão localizadas médias e grandes cidades, algumas delas como Manaus e Belém, com mais de dois milhões de habitantes. Como o rio é parte mais baixa, todo o esgoto termina sendo drenado para a calha do rio Amazonas. Como muitos dos afluentes do rio Amazonas tem suas nascentes nos países vizinhos onde também ocorrem desmatamentos nas suas cabeceiras, há necessidade de formar um condomínio dos países da bacia amazônica para garantir a sua integridade (Kinoshita, 1999). Não se descarta dos riscos de vazamentos quanto à extração de petróleo na Amazônia brasileira, peruana e equatoriana.

### **6.3.5.8 CONSTANTE PERDA DE OPORTUNIDADES**

Várias plantas amazônicas foram domesticadas nestes últimos três séculos, destacando-se o cacaueteiro (1746), cinchona (1859), seringueira (1876) e, guaranazeiro, castanheira-do-pará, cupuaçuzeiro, pupunheira, açazeiro, jaborandi, pimenta longa, jambu, sobretudo a partir da década de 1970. É paradoxal afirmar que muitas tentativas de domesticação apresentam chances de sucesso fora da área de ocorrência do extrativismo vegetal como aconteceu com o cacaueteiro e a seringueira.

O ciclo do extrativismo do cacaueteiro foi importante atividade econômica na Amazônia que perdurou até a época da Independência do Brasil, quando foi suplantado pelos plantios racionais da Bahia, levado em 1746, por Louis Frederic Warneaux para a fazenda de Antônio Dias Ribeiro, no município de Canavieiras, Bahia. É interessante frisar que da Bahia, o cacaueteiro foi levado para o continente africano e asiático, transformando-se em principais atividades econômicas nos seus novos locais. Com a entrada da vassoura-de-bruxa nos cacauais da Bahia em 1989, a produção decresceu do máximo alcançado em 1986, de 460 mil toneladas de amêndoas secas, para o nível mais baixo em 2003 com 170 mil toneladas e o início da recuperação com as técnicas de enxertia de copa para 196 mil toneladas em 2004.

A despeito da existência de 108 mil ha de cacaueteiros plantados nos estados do Pará, 32 mil em

Rondônia, 8 mil no Amazonas e um mil hectares no Mato Grosso esta cultura não tem recebido a devida atenção por parte de planejadores agrícolas. No triênio 2008-2010, quase 65 mil toneladas de amêndoa de cacau foram importadas somando mais de 159 milhões de dólares, equivalente a 1/3 da produção brasileira de cacau. Isso indica a necessidade de duplicar a área plantada na Região Norte nos próximos cinco anos, criando uma alternativa de renda, emprego e de recuperação de áreas desmatadas.

A partir de 1951 o Brasil iniciou a importação de borracha vegetal, que atinge 70% do consumo nacional. Em 1990, a produção de borracha obtida de plantios superou a borracha extrativa. No triênio 2009-2011, a participação da borracha extrativa representava apenas 1,39% do total da produção de borracha natural do país. Apesar dos fracassos de planos como o PROHEVEA (1967), PROBOR I (1972), PROBOR II (1977) e PROBOR III (1981) a produção de borracha de seringais de cultivo cresceu de 35.185 t no triênio 1990/92 para 236.362 t no triênio 2009/2011. Neste mesmo período a produção de borracha extrativa despenca de 21.719 t para 3.328 t (Homma, 2011). Não é com o extrativismo da seringueira, mas com a implementação de um Plano Nacional da Borracha é que o país pode atingir a autossuficiência nos próximos 10 a 20 anos.

Em 2010 o Brasil bateu o recorde de importação de borracha natural, atingindo a marca de US\$ 790,4 milhões (260,8 mil toneladas) contra US\$ 283 milhões (161,3 mil toneladas) no ano anterior; aumento de 179,3%. Para suprimir as importações já devia estar em idade de corte cerca de 300.000 ha de seringueiras, que poderia gerar emprego e renda para 150 mil agricultores familiares.

. A Lei dos sucos (73.267 de 06/12/1972) estabeleceu no caso do guaraná, quantitativos de 0,2 grama a 2 gramas de guaraná para cada litro de refrigerante e, de 1 grama a 10 gramas de guaraná para cada litro de xarope. Apesar do quantitativo entre o mínimo e o máximo permitido legalmente ser de 10 vezes, provocou uma grande demanda pelo produto, fazendo com que a produção semi-extrativa do Estado do Amazonas que oscilava entre 200 a 250 toneladas anuais atingisse patamares de até 5.500 toneladas (1999) caindo no quadriênio 2005/08 para 3.100 toneladas, no qual a Bahia, se tornou no maior produtor nacional. Em 2006, a produção brasileira de refrigerantes atingiu mais de 13 bilhões de litros, dos quais 22,8% de sabor guaraná, perfazendo quase 3 bilhões, induzindo uma desconfiança quanto ao real conteúdo de extrato de guaraná, uma vez que a produção não atende ao mínimo exigido na legislação (Homma, 2007).

O plantio de pupunheira para palmito no qual existem mais de 15 mil hectares de pupunheiras no país, dos quais 7.000 hectares em São Paulo e 2.500 hectares na Bahia representa outro exemplo de sucesso no cultivo de plantas amazônicas.

A transferência mais recente está relacionado com o jambu, que faz parte culinária tradicional da região (pato no tucupi, tacacá, pizza), tem 15 patentes registradas na United States Patent and Trademark Office (USPTO) e 6 na World Intellectual Property Organization (WIPO). O alcalóide spilanthol é descrito nessas patentes como apropriadas para uso anestésico, anti-séptico, creme dental, refrigerante, com diversos produtos no mercado, vendidos como remédio e cosmético. O jambu foi levado pela Natura que antes adquiria na Região Metropolitana de Belém, para o Estado de São Paulo, sobretudo nos municípios de Pratânia, Botucatu, Ribeirão Preto e Jaboticabal, desde 2004. Esta produção é adquirida pela Centroflora, que efetua a secagem em Botucatu e a venda para a Natura. O uso do jambu pela Natura destina-se a produção de cremes antissinais da linha Chronos.

### **6.3.5.9 MECANISMOS DE CONTROLE SOBRE A AMAZÔNIA (NACIONAIS E EXTERNOS)**

Estão sendo criados diversos mecanismos de controle dos produtos que são produzidos ou exportados da Amazônia. Estes indicadores de sustentabilidade estão relacionados com o uso de agrotóxicos, produtos orgânicos, transgênicos, rastreabilidade, uso de mão-de-obra infantil ou escrava, desmatamento da floresta, áreas manejadas, adoção de práticas sustentáveis, responsabilidade social, risco de extinção,

entre os principais. Estas atividades de monitoramento vem sendo ocupadas pelas ONGs que estão se tornando em prestadoras de serviços das empresas interessadas em promover o esverdeamento institucional, favorecer as exportação de seus produtos para os países desenvolvidos e da salvaguarda do mercado de direitos difusos.

Com a maior peso e inserção de a partir de 1992 ONGs na administração pública estas passaram a depender de recursos governamentais, reduzindo seu caráter crítico, cujo papel está sendo desempenhado pelo Ministério Público Federal. A redução dos níveis de desmatamentos e queimadas na Amazônia retira das ONGs a bandeira de luta e defesa, obrigando a busca de novas alternativas como o REDD e a certificação.

Entre as grandes entidades internacionais de controle estão às certificadoras de produtos orgânicos, àquelas que regulam o comércio da madeira como a *International Tropical Timber Organization* (ITTO) sediada no Japão e *Forest Stewardship Control* (FSC) na Alemanha e, também a *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* (CITES) com sede na Suíça e, com a expansão do dendezeiro no Estado do Pará, a presença do *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) com sede na Suíça, entre dezenas que tem conexão com a região amazônica.

### **6.3.5.10 AUMENTANDO A PRODUTIVIDADE DA TERRA E DA MÃO-DE-OBRA**

É baixa a produtividade da agricultura familiar na Amazônia, tanto de culturas anuais como permanentes ou da pecuária. Não se justifica a derrubada de um hectare de floresta densa para produzir 1,5 t de arroz com casca, 0,3 t de milho e 16 t de raiz de mandioca e, seguindo da pastagem por 10 ou 12 anos e, depois a transformação em juquira<sup>3</sup>. A maior crítica a essa prática, que envolve derruba e queima, deve-se ao fato de parcelas de floresta densa estão sendo derrubadas para o cultivo por dois ou três anos, visando à subsistência do agricultor. Como resultado dessa atividade, há o surgimento de capoeiras (vegetação secundária) substituindo áreas de floresta densa. Fatores como crescimento populacional e a falta de opções tecnológicas têm contribuído para o encurtamento do tempo de pousio. Como consequência, observa-se o declínio da produtividade agrícola causado pelo tempo insuficiente para que a capoeira acumule biomassa e nutrientes, e melhore a fertilidade do solo. Esse quadro tem provocado instabilidade no uso da terra, resultando no crescimento de áreas abandonadas e pode levar a agricultura de subsistência ao colapso (Vieira *et al.*, 2006). Com as técnicas de recuperação de áreas degradadas desenvolvidas pela Embrapa é possível que a agricultura familiar aumente o tempo de permanência no lote e a produtividade das culturas e criações.

A proposta do governo brasileiro na *United Nations Climate Change Conference 2009* (COP 15), em Copenhague, no período de 7 a 18/12/2009, comprometeu a diminuir as emissões de gases do efeito estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020, isto é, algo como 15 ou 20% em relação a 2005. Não é muito significativo, porque o grande aumento na emissão no país foi no período 1990/2000, quando o desmatamento estava no seu auge. Só a redução do desmatamento já seria suficiente para atingir essa meta. A redução mais significativa é a dos europeus e dos japoneses, em relação a 1990.

Existem diversas práticas agrícolas que poderiam reduzir de forma considerável a emissão de gases de efeito estufa tais como plantio direto, integração lavoura e pecuária, reflorestamento, recuperação de pastagens degradadas, e aumento das áreas cultivadas onde se incentiva a fixação biológica de nitrogênio, entre as principais (Tabela 6.3.5). Visando atender os compromissos do governo brasileiro no COP 15, no dia 7 de junho de 2010, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento instituiu o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC). A iniciativa prevê a aplicação de R\$ 2 bilhões em

---

<sup>3</sup> Vegetação formada de ervas daninhas características de terras em avançado estágio de degradação. Essa vegetação secundária apresenta diversas gradações (juquira, capoeirinha, capoeira e capoeirão) que até a sua transformação em floresta densa pode levar de 50 a 100 anos.

técnicas que garantem eficiência no campo, com balanço positivo entre sequestro e emissão de dióxido de carbono. O crédito será financiado com taxa de juros de 5,5% ao ano e prazo de reembolso de 12 anos. Medidas similares, independente, dos governos que assumirem deverão ser incrementadas nos próximos anos. Ressalta-se o grande encargo do setor agrícola brasileiro no cumprimento das metas estabelecidas, no qual há necessidade de se preocupar com o pós-2020, sobretudo com relação aos demais setores da economia.

**Tabela 6.3.5.** Programa Agricultura de Baixo Carbono

<b>Atividade</b>	<b>Área atual 1.000.000 ha</b>	<b>Área Meta 1.000.000 há</b>	<b>Redução CO<sup>2</sup> 1.000.000 t</b>
Recuperação pastagens degradadas		15	83 a 104
Reflorestamento	6	9	8 a 10
Integração Lavoura Pecuária Floresta		4	18 a 22
Plantio Direto	25	33	16 a 20

**Fonte:** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (documento interno).

### **6.3.5.11. MELHORIA DA INFRA-ESTRUTURA PRODUTIVA**

Estão sendo executados e planejados grandes empreendimentos na Amazônia. Destaca-se a Usina Hidrelétrica de Belo Monte (Pará), no rio Xingu; Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio (Rondônia), no rio Madeira; Usina Hidrelétrica de Estreito (Maranhão e Tocantins), no rio Tocantins; Usina Hidrelétrica de Dardanelos (Mato Grosso), no rio Aripuanã, afluente do rio Madeira; a Siderúrgica Aços Laminados do Pará (Alpa); e o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo (Pará). Outras obras que deverão mudar o cenário da agricultura amazônica referem-se a conclusão das eclusas de Tucuruí que viabilizará a Hidrovia Araguaia-Tocantins e a Ferrovia Norte-Sul, como canais de escoamento para grãos, pecuária, minérios, etc. Todos estes projetos apresentam grandes impactos ambientais e decorrentes da sua inevitabilidade deveriam ser executados mediante programas de compensação ambiental.

Na Amazônia Legal somente 11% das estradas são asfaltadas, 36% das propriedades rurais possuem energia elétrica, quase 2,7 milhões de famílias recebem Bolsa Família, representando quase 20% do total nacional, para uma região com 12,8% da população brasileira, mais de 214 mil infectados com malária e apresenta um baixo IDH.

Há um reduzido contingente de cientistas na Amazônia. Somente seis mil pesquisadores com nível de doutorado envolvidos em todas as áreas do conhecimento, representando 5,88% do total nacional, quando se sabe que no Brasil anualmente são graduados mais de 11 mil estudantes com nível de doutorado. A guisa de comparação somente a USP possui quase 8 mil doutores. O custo social da falta de um agressivo sistema de pesquisa agrícola e de extensão rural é bastante elevado que pode ser trazido pela destruição dos recursos naturais até o momento e da utilização de práticas insustentáveis.

A mitigação das mudanças climáticas na Amazônia vai depender de maiores investimentos visando à melhoria do capital social, da eficiência do setor público e do esforço da ampliação da fronteira de conhecimento científico e tecnológico.

### 6.3.5.12 A GUIA DE CONCLUSÃO

A política agrícola é mais importante para resolver questões ambientais da Amazônia do que a própria política ambiental. A redução da destruição dos recursos naturais na Amazônia vai depender do desenvolvimento de atividades agrícolas mais sustentáveis em áreas desmatadas do que a coleta de produtos florestais e a venda dos serviços ambientais. Muitas comunidades de agricultura familiar estão imaginando que vão sobreviver mediante a venda de serviços ambientais, quando na verdade estes vão seguir as regras da oferta e procura em médio e longo prazos.

A Amazônia Legal apresenta um padrão de ocupação desbalanceado. As pastagens representam a maior forma de uso da terra estimado em 51 milhões hectares. É possível com aumento da produtividade das pastagens e do rebanho, reduzir pela metade a área de pastos e manter o mesmo rebanho. As áreas reflorestadas representam pouco mais de 492 mil hectares, com possibilidade de duplicar esta área. Quanto às culturas anuais, com 12,8 milhões hectares, sobretudo no Estado de Mato Grosso, é importante manter esse patamar mediante aumento da produtividade. No que concerne às culturas permanentes com 636 mil hectares, poderia ser duplicado. Os estudos do TerraClass desenvolvidos pela Embrapa e o Inpe demonstraram em números redondos a existência de 33 milhões de hectares de pastos limpos na Amazônia Legal, 11 milhões de hectares de pastos degradados e 15 milhões de hectares de vegetação secundária. A política adequada seria transformar os 11 milhões de hectares de pastos degradados para outras atividades e manter intacto a vegetação secundária para conversão em Áreas de Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente.

A Amazônia precisa aumentar a produtividade agrícola para reduzir a pressão sobre os recursos naturais, promover a domesticação de plantas potenciais e substituir importações de produtos tropicais (borracha, dendê, cacau, etc.) e incentivos à recuperação de áreas que não deveriam ter sido desmatadas. Os problemas ambientais na Amazônia não são independentes, estão conectados a outras partes do país e do mundo, e a sua solução vai depender da utilização das áreas desmatadas e de um forte aparato de pesquisa científica e de extensão rural. É possível construir o futuro da Amazônia em um cenário sem desmatamento e queimadas, independente de pressões externas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006: CENSO Agropecuário 2006. Resultados Preliminares.

Alagoas, 2011: Programa da Reconstrução dos Atingidos pelas Enchentes. Governo do Estado de Alagoas, Maceió. Disponível em <http://www.reconstrucao.al.gov.br/>.

Ambrizzi, T. et al., 2007: Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais: relatório 3. MMA. Brasília. DF.

Angulo, R. et al., 2006: A critical review of the mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the Eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25(5-6), 486-506.

Barcellos, C. et al., 2009: Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia Serviço Saúde*, 18(3), 285-304.

Barros, A.V.L. et al., 2009: Evolução e percepção dos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos agricultores nipo-brasileiros do município de Tomé-açu, Estado do Pará, Amazônia: *Ciência e Desenvolvimento*, 5(9), 121-151.

Beck, U., 1992: Risk society. *Towards a new modernity*. London, UK: Sage Publications.



Becker, B.K. 2010: Ciência, tecnologia e inovação: condição do desenvolvimento sustentável da Amazônia, 91-106. In: *Anais. Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação*, 4. Sessão Plenária 1: Desenvolvimento Sustentável. Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasília, DF.

Biermann, F. et al., 2009: Environmental policy integration and the architecture of global environmental governance. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 9, 351-369.

Böhm, G.M. et al., 1989: Biological effects of air pollution in São Paulo and Cubatão. *Environ. Res.*, 49, 208-216.

Braga, A.L.F. et al.. 2002: The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 US cities. *Environmental Health Perspectives*, 110, 859-863.

Brasil, 2010: 1ª Conferência Nacional de Defesa Civil e Assistência Humanitária. Por uma ação integral e contínua: relatório final. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: Ceped UFSC. C40, 2011: Disponível em <http://www.c40cities.org/>. Acessado em 20/07/2012.

Carmo, R.L. e C.M. Silva, 2009: População em zonas costeiras e mudanças climáticas: redistribuição espacial e riscos. In: *População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. [Hogan, D.J. e E. Marandola Jr. (Orgs.)]. Campinas: Nepo/UNFPA, Vol. 1, 290 pp.

Carvalho, M.S. e R. Souza-Santos, 2005: Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. *Caderno Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 21(2): 361-378p.

Castel, R., 1998: *Metamorfoses da questão social: uma crônica do salário*. Petrópolis, RJ: Editora Vozes. 611 pp.

Castro, C. (Org.) 2006: *Amazônia e defesa nacional*, pp. 3-24. Núcleo de Altos Estudos Amazônico (Naea), Fundação Getúlio Vargas (FGV). Rio de Janeiro: Editora da FGV.

Cedeplar/UFMG e Floacruz, 2008: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050. Disponível em [http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes\\_saude/MI-GRACAO\\_E\\_SAUDE\\_NORDESTE.pdf](http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes_saude/MI-GRACAO_E_SAUDE_NORDESTE.pdf). Acessado em 8/04/2013.

Central America, Mexico and Cuba. UNPD PIMS ID # 2220, United Nations

Ceresnia, D. e A.M. Ribeiro, 2000: O conceito de espaço em epidemiologia: uma interpretação histórica e epistemológica. *Cadernos de Saúde Pública*, 16(3), 595-605.

CGEE, 2008: Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF. *Parcerias Estratégicas*, 27, 149-176. Disponível em [http://www.defesa.gov.br/projetosweb/livrobranco/arquivos/espaco\\_pesquisador/Revista-Parcerias.pdf](http://www.defesa.gov.br/projetosweb/livrobranco/arquivos/espaco_pesquisador/Revista-Parcerias.pdf). Acessado em 23/03/2012.

Ciram, 2009: Plano Integrado de Prevenção e Mitigação de Desastres Naturais na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Disponível em [http://www.ciram.com.br/ciram\\_arquivos/arquivos/gtc/downloads/PlanoBacialta-jai\\_Publicacao.pdf](http://www.ciram.com.br/ciram_arquivos/arquivos/gtc/downloads/PlanoBacialta-jai_Publicacao.pdf). Acessado em 10/06/2012.

Codes, A.L.M., 2008: A trajetória do pensamento científico sobre pobreza: em direção a uma visão complexa. Texto para discussão do Ipea, 1332. Instituto Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). 33 pp.

Coelho-Zanotti, M.S., 2002: *Estudo da estrutura vertical horizontal da precipitação e da circulação atmosférica na região da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). São José dos Campos, SP.

Coelho-Zanotti, M.S.S e P.H.N. Saldiva, 2011a: Estimate of the hospital admissions for respiratory diseases in Brazil using hybrid model. *Proceedings*. 19th Congress International of Biometeorology, Auckland, New Zealand, December 5-9.

Coelho-Zanotti, M.S.S e P.H.N. Saldiva, 2011b: Use of the Urban Air Index to estimate morbidity and mortality in large cities: case study São Paulo, Brazil. *Proceedings*. 19th Congress International of Biometeorology, Auckland, New Zealand.

Coelho-Zanotti, M.S.S. e E. Massad, 2012: The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 55, 1-9, doi:10.1007/s00484-011-0419-4 Icssn: 0020-7128.

Coelho-Zanotti, M.S.S, 2010: Statistical analysis aiming at predicting respiratory tract disease hospital admissions from environmental variables in the city of São Paulo. *Journal of Environmental and Public Health*, 2010(ID 209270), 11 pp., doi:10.1155/2010/209270.

Cohen, M.C.L. *et al.*, 2005: A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Braganca Peninsula (Northern Brazil). *Wetlands Ecology and Management*, 13(4), 433-443.  
Conca, K., 1995: Greening the United Nations: Environmental organizations and the UN system. *Third World Quarterly*, 16(3), 441-457.

Confalonieri, U.E. e D.P. Marinho, 2007: Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos. 19 pp.

Confalonieri, U.E.C. 2005: Saúde na Amazônia: um modelo conceitual para a análise de paisagens e doenças. *Estudos Avançados*, 19(53).

CooperCuc - Cooperativa Agropecuária Familiar de Canudos, Uauá e Curaçá, 2008 Disponível em [www.coopercuc.com.br](http://www.coopercuc.com.br).

Coppe/UFRJ, 2011: Chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Sugestões para ações de planejamento e engenharia. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe). Disponível em [http://www.coppe.ufrj.br/pdf\\_revista/relatoriochuvas.pdf](http://www.coppe.ufrj.br/pdf_revista/relatoriochuvas.pdf).

Covello, V. e J. Mumpower, 1985: Risk analysis and risk management: an historical perspective. *Risk Analysis*, 5, 103-120.

Cox, P.M. *et al.*, 2008: Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453, 212-215, doi:10.1038/nature06960.

Cptec, 2012: Boletins climáticos. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em <http://www.cptec.inpe.br>. Acessado em 10/10/2012.

Crespo, S., 2003: Uma visão sobre a evolução da consciência ambiental no Brasil nos anos 1990. In: *Meio ambiente no século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento*. [Trigueiro, A. (Coord.)]. Rio de Janeiro: Sextante.

Cunha, J.M.P. *et al.*, 2006: A vulnerabilidade social no contexto metropolitano: o caso de Campinas, pp. 143-168. In: *Novas Metrôpoles Paulistas: população, vulnerabilidade e segregação*. [Cunha, J. M. P. (Org.)] Campinas: Nepo/Unicamp.

- D'Antona, A.O. e R.L. Carmo, (Orgs.), 2011: Dinâmicas demográficas e ambiente. Nepo/Unicamp. Campinas, SP.
- Davison, E.A. *et al.*, 2008: Effects of an experimental drought and recovery on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. *Global Change Biology*, 14, 2582-2590, doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01694.x.  
Development Programme: Global Environmental Facility
- ECRHS, 1996: Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks, and use of asthma medications in the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS). *Eur. Respir. J.*, 9, 687-695.
- Eide, A., 2002: A realização dos direitos econômicos, sociais e culturais. O direito a alimentação adequada e a estar livre da fome. In: *Direito humano à alimentação: desafios e conquistas* [(L.F.S. Valente, (Org.)], 207-260. São Paulo, SP: Editora Cortez.
- Ester, P. *et al.*, 2004: Cultural change and environmentalism: a cross-national approach of mass publics and decision makers. *Ambient. Soc. [online]*.7(2), 45-66.
- Feito, L., 2011: Vulnerabilidad. *AnalesSis San Navarra, Pamplona, ES*.
- Ferro, A.R. e A.L. Kassouf, 2005: Efeitos do aumento da idade mínima legal de trabalho dos brasileiros de 14 e 15 anos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 43(2), 307-329.
- Figueroa, S.N. e C.A. Nobre, 1990: Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise, Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, 5(6), 36-45.
- Frederico, S. e R.A. Castillo, 2004: Circuito espacial produtivo do café e competitividade territorial no Brasil. *Ciência Geográfica*, 10(3), 236-241.
- Freitas, C.M. e C.M. Gomez, 1996: Análise de riscos tecnológicos na perspectiva das ciências sociais. *História, Ciências e Saúde*, 3(3).
- Friel, S. *et al.*, 2009: Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *The Lancet*, 374(9706), 2016-2025, doi:10.1016/S0140-6736(09)61753-0.
- George, S., 2002: *O Relatório Lugano*. São Paulo, SP: Editora Boitempo, 222 pp.
- Giddens, A., 2010: *A política da mudança climática*. 6<sup>o</sup> ed. Rio e Janeiro, RJ: Zahar.
- Gillespie, B. *et al.*, 1979: Carcinogenic risk assessment in the United States and Great Britain: the case of Aldrin/Dieldrin. *Social Studies of Science*, 9, 265-301.
- Gonçalves, F.L.T. e M.S.S. Coelho-Zanotti, 2010: Variação da morbidade de doenças respiratórias em função da variação da temperatura entre os meses de abril e maio em São Paulo. *Ciência e Natura*, 32(1), 103-118. Disponível em [http://cascavel.ufsm.br/revista\\_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/article/view/421](http://cascavel.ufsm.br/revista_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/article/view/421).
- Guedes, G.R. e R. L. Carmo, 2012: Socioeconomic and residential differences in environmental perception and behavior: insights from metropolitan Brazil. In: *Urbanization and the Global Environment* [Turunen, E. e A. Koskinen (Org.)]. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.

Guimarães, R.B., 2005: Health and global changes in the urban environment, pp. 199-204. In: *A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America*. [Dias, P.L.S. et al.. (Orgs.)]. São Paulo, SP: Instituto de Estudos Avançados da USP.

Haines, A. et al., 2009: Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: overview and implications for policy makers. *The Lancet*, 374(9707), 2104-2114, doi:10.1016/S0140-6736(09)61759-1.

Hogan, D. e E. Marandola Jr., 2005: Toward an interdisciplinary conceptualization of vulnerability. *Population, Space and Place*, 11, 455-471

Homma, A.K.O., 2007: Extrativismo, biodiversidade e biopirataria: como produzir benefícios para a Amazônia. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica (Texto para discussão, 27), 101 pp.

Homma, A.K.O., 2010a: Política agrícola ou ambiental para resolver os problemas da Amazônia? *Revista de Política Agrícola*, 19(n.1, 99-102.

Homma, A.K.O., 2010b: Extrativismo, manejo e conservação dos recursos naturais na Amazônia, pp. 353-374. In: *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. [May, P.H. (Org.)] 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier.

Homma, A.K.O., 2011: Amazônia: transformando a segunda natureza degradada para uma terceira natureza mais sustentável, pp. 42-70.. In: *Desafios e potencialidades para a Amazônia do Século XX*. [Diniz, M.B. (Org.)]. Belém, PA: Editora Paka-Tatu.

Hopp, M.J. e J.A. Foley, 2003: Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate variability. *Climate Research*, 25, 85-94.

Houtart, F., 2005: *Délégitimer le capitalisme: reconstruire l'espérance*. Bruxelles, BE: Éditions Colophon, 208 pp.

IFAD, 2011: Rural Poverty Report 2011. *New realities, new challenges: New opportunities for tomorrow's generation*. International Fund for Agricultural Development, Rome, Italy, pp. 1-322.

Imai, M. et al., 1985: A survey of health effects studies of photochemical air pollution in Japan. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 35, 103-108.

Inmet, 2010: Boletim mensal de dezembro [lista de discussão], 20/12/2010. Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Disponível em [sepre7@inmet.gov.br](mailto:sepre7@inmet.gov.br).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014 *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution*. Technical Summary of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Kadanoff, L.P., 2001: Turbulent heat flow: Structures and scaling. *Physics Today*, 27-Aug-2001, pp. 34-39.

Kauppi, P.E. et al., 2006: Returning forests analyzed with the forest identity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(46), 17574-17579.

- Kinoshita, D. L., 1999: Uma estratégia para inserção soberana da América Latina na economia globalizada: a questão amazônica. São Paulo, Ifusp, 1999, 4 pp. (mimeo.).
- Lima, L.P. *et al.*, 2001: Modelos aditivos generalizados: metodologia e prática. *Revista Brasileira de Estatística*, 62, 37-69.
- Lin, C.A. *et al.*, 2004: Air pollution and neonatal deaths in São Paulo, Brazil. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 37(5), 765-770.
- Marandola Jr., E. e D.J. Hogan, 2009: Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. *Rev. bras. estud. popul. [online]*. 26(2):161-181.
- Marengo J.A. *et al.*, 2012: Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta Cptec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River basins. *Clim. Dyn*, 38(9-10), 1829-1848, doi:10.1007/s00382-011-1155-5.
- Marengo, J. A. *et al.*, 2011: Riscos das mudanças climáticas no Brasil. Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio\\_port.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf).
- Marengo, J. A. *et al.*, 2010a: Extreme climatic events in the Amazon Basin: Climatological and Hydrological context of recent floods. *Theor. Appl. Climatol.*, 107(1-2), 73-85.
- Marengo, J., 1995: Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal of Climatology*, 15(9), 995-1010.
- Marengo, J. *et al.*, 2007: Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais: relatório 5. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, DF.
- Marengo, J.A. *et al.*, 2008: The drought of Amazonia in 2005. *J. of Climate*, 21, 495-516, doi:10.1175/2007JCLI1600.1.
- Marengo, J.A. *et al.*, 2011: The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.*, 38(12), doi:10.1029/2011GL047436.
- Marengo, J.A., 2007: Cenários de mudanças climáticas para o Brasil em 2100. *Ciência e Ambiente*, 34, 100-125.
- Martins, M.C.H. *et al.*, 2004: Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil. *J. Epidemiol. Community Health*, 58, 41-46, doi:10.1136/jech.58.1.41.
- McMichael, A.J. e A. Githeko, 2001: Human Health, Chapter 9, pp. 451-48. In: *Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [McCarthy, J.J. *et al.* (Eds.)]*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- McMichael, A.J., 2003: Global climate change and health: an old story writ large. Chapter 1. *Climate change and health: Risks and Responses. World Health Organization*, 322 pp.
- MDA, 2011: Plano Safra da Agricultura Familiar 2011/2012. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), 35 pp.

- Meehl, G.A. et al., 2007: Global climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor e H. L. Miller (Eds.)]. Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press, pp. 747-846.
- Mendonça, F. 2005: Clima, tropicalidade e saúde: uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1(1), 100-112.
- Mesquita, A.R. de e J. Harari, 2011: Early and recent sea level measurements in the Brazilian coast. *Afro America Gloss News*, 15, 1-10.
- Mestrum, F., 2002: Mondialisation et pauvreté: de l'utilité de la pauvreté dans le nouvel ordre mondial. Paris, FR: L'Harmattan, 18 pp.
- MMA, 2010: *Sustentabilidade Aqui e Agora*. Brasileiros de 11 capitais falam sobre meio ambiente, hábitos de consumo e reciclagem. Pesquisa realizada em 2010 por Walmart Brasil, Ministério do Meio Ambiente, com apoio do Instituto de Pesquisa Synovate do Brasil e da Envolverde.
- Monteiro, C.A. e F. Mendonça (Orgs.), 2003: *Clima urbano*. São Paulo: Editora Contexto, 192 pp.
- Moser, C., 2006: Asset-based approaches to poverty reduction in a globalized context: an introduction to asset accumulation policy and summary of workshop findings. Brookings Institution, Washington, DC.
- Najam, A., 2005: Developing countries and environmental governance: From contestation to participation and engagement. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 5, 303-321.
- Nature Special, 2010: How to feed a hungry world. *Nature*, 466(7306), 531-532, July, 29.
- Nemet, G.F. et al., 2010: Implications of incorporating air-quality co-benefits into climate change policymaking. *Environmental Research Letters*, 5(014007). 9 pp., doi:10.1088/1748-9326/5/1/014007.
- Nobre, C.A. et al., 2007: Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, 59(3), 22-27.
- O'Neill, B. et al., 2001: *Population and climate change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 266pp
- Opas, 2010: Apoyo psicosocial en emergencias y desastres: Guías para equipos de respuesta. Organización Panamericana de la Salud (Opas), Washington, D.C.
- PAHO, 2005: Report on the Regional Evaluation of Municipal Solid Waste Management Services in Latin America and the Caribbean. Pan American Health Organization (PAHO), Area of Sustainable Development and Environmental Health. Washington, DC, USA. Disponível em <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/fulltext/informeng/introduction.pdf>. Acessado em 15/06/2012
- Paterniani, E., 2001: Das plantas silvestres às transgênicas. *Cadernos de Ciências e Tecnologia*, 18(1), 169-179.
- Patz, J. A. et al., 2005: Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310-317.
- Prus-Ustun, A. e C. Corvalán, 2006: Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease. World Health Organization (WHO), Geneva, CH, 104 pp.

- Rebello, F.K. e A.K.O. Homma, 2009: Estratégias para reduzir desmatamentos e queimadas na Amazônia, pp. 235-261. In: *Economia socioambiental*. [Veiga, J.E. (Org.)]. São Paulo, SP: Editora Senac.
- Rego, J.F., 1999: Amazônia: do extrativismo ao neoextrativismo. *Ciência Hoje*, 25, 62-65.
- Reiter, P. et al., 2004: Global warming and malaria: a call for accuracy. *Lancet Infectious Diseases*, 4(6), 323-324, doi:10.1016/S1473-3099(04)01038-2.
- Rezende, G.C., 2005: Políticas trabalhista, fundiária e de crédito agrícola e seus efeitos adversos sobre o emprego agrícola e a agricultura familiar no Brasil. In: Anais. Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 43, Ribeirão Preto, SP, 2005.
- Ribeiro Sobral, H., 2005: Heat Island in São Paulo, Brazil: Effects on Health. *Critical Public Health (Online)*, JCR, 15(2), 147-156.
- Ribeiro, H. e W.M.R. Gunther, 2003: Urbanização, modelo de desenvolvimento e a problemática dos resíduos sólidos urbanos, pp. 469-489. In: *Patrimônio Ambiental Brasileiro* [W.C. Ribeiro, (Org.)]. São Paulo, SP: Edusp.
- Rocha, A.M.G.C. e A.W. Gandu, 1996: The South Atlantic Convergence Zone. *Climanálise (Especial)*, 140-142.
- Rocha, C.M.C., 2012: O papel da Embrapa na pesca, na aquicultura e nos sistemas agrícolas integrados. Palestra proferida em Belém, na Embrapa Amazônia Oriental em 14/11/2012.
- Rocha, S. 2006: Transferências de renda focalizadas – evidências recentes sobre implementação e impactos. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade, 30 pp.
- Rocha, S. e R. Ellwanger, 1993: Linhas de pobreza: alternativas metodológicas a partir de estruturas de consumo observadas. *Planejamento e Políticas Públicas*, 9, 227-244.
- Rosdolsky, R. 2001: *Gênese e estrutura de O Capital de Karl Marx*. Rio de Janeiro, RJ: Eduerj/ Contraponto.
- Ryan, W. e W. Pitman, 2000: *Noah's Flood: The New Scientific Discoveries About the Event that Changed History*. New York, NY: Simon e Schuster, 319 pp.
- Salama, P. e B. Destremau, 2001: O tamanho da pobreza: economia política da distribuição de renda. Rio de Janeiro, RJ: Editora Garamond.
- Saldiva, P H et al., 1995: Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in S. Paulo, Brazil. *Archives of Environmental Health*, 50, 159-163.
- Saldiva, P. et al., 2011: Carta de recomendações em saúde São Paulo. São Paulo C40 Large Cities Climate Summit 2011. São Paulo, SP, 31 de maio, 1-2 junho. Disponível em [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio\\_ambiente/Carta\\_de\\_recomendacao\\_em\\_saude\\_sp\\_c40.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/Carta_de_recomendacao_em_saude_sp_c40.pdf). Acessado em 5/04/2013.
- Saldiva, P. et al., 2010: *Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles*. São Paulo, SP: Editora Ex-Libris.
- Saldiva, P.H.N. et al., 1994: Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ. Res.*, 65, 218-25.

Santos, E.O.C. e A.C.N. Oliveira, 2001: Importância sócio-econômica do beneficiamento do umbu para os municípios de Canudos, Uauá e Curaçá. Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA). Juazeiro, BA, 8 pp.

Sen, A. 2000: Social exclusion: concept, application, and scrutiny. Asian Development Bank, Manila, Philipines. *Social Development Papers*, 1, 54.

Sen, A., 1999: *Development as freedom*. Oxford, UK: Oxford University Press, 33 pp.

Sharovsky, R., 2001: *Efeitos da temperatura e poluição do ar na mortalidade por infarto agudo do miocárdio no município de São Paulo*. Tese de Doutorado, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 86 pp.

Silva, C.B.P et al., 2010: Subway's health benefits in terms of air quality in São Paulo. EcoHealth. London, UK.

Silva, C.B.P, 2009: *Valoração dos benefícios do metrô para a saúde pública associados à poluição do ar na cidade de São Paulo*. Dissertação de mestrado, Centro Universitário Senac, SENAC, São Paulo, SP.

Silva, F.D.S. et al., 2008: Relação entre a incidência do dengue e as variáveis meteorológicas no Brasil. Proceedings. XVIII Congresso Internacional de Epidemiologia. Porto Alegre, RS.

Sousa, M.F., 2003: *Agentes comunitários de saúde. Choque de Povo!* São Paulo, SP: Editora Hucitec.  
Sucen, 2004: Saiba mais sobre a dengue. Superintendência de Controle de Endemias (Sucen), Documentos técnicos para download. Disponível em <http://www.sucen.sp.gov.br/doencas/index.htm>. Acessado em 10/09/2004.

Suguio, K. et al., 1988: Quaternary sea-levels of the Brazilian coast: recent progress. *Episodes*, 11, 203-208.

Sun, Y. et al., 2007: How often will it rain? *Journal of Climate*, 20, 4801-4818.

Sutherst, R.W., 1998: Implications of global change and climate variability for vectorborne diseases: generic approaches to impact assessments. *International Journal of Parasitology*, 28(6), 935-945.

Tarifa, J.R. e G. Armani, 2001: Os climas urbanos, pp. 47-70. In: *Os climas na cidade de São Paulo. Teoria e prática* [Tarifa, J.R. e T. R. de Azevedo (Orgs.). Geosp 4, Laboratório de Climatologia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH). São Paulo, SP: Edusp.

Tonneau J.P., 2004: Desenvolvimento rural sustentável: novos paradigmas velhas questões. In: *Globalização e desenvolvimento sustentável: dinâmicas sociais rurais no Nordeste brasileiro* [Wanderley M.N. (Ed.)] São Paulo, SP: Editora Polis, 321p.

Toscana A.A., 2011: Protección civil, población, vulnerabilidad y riesgo en Santiago Miltepec, Toluca. *Invest. Geog. [online]*, 74, 35-47.

UNDP-GEF, 2003: Capacity building for stage II adaptation to climate change in  
Valente, F.L.S., 2002: Direito humano à alimentação: desafios e conquistas. São Paulo, SP: Editora Cortez, 272 pp.

Vasconcelos, P., 2005: Redes sociais de apoio, pp. 599-631. In: *Famílias em Portugal* [Wall, K. (Org.)]. Lisboa, PT: Imprensa de Ciências Sociais (PCP).



- Veras, M. 1999: Exclusão social. Um problema brasileiro de 500 anos, pp. 27-50. In: *As armadilhas da exclusão: análise psicossocial e ética da desigualdade social*. [Sawaia, B. (Ed.)]. Petrópolis, Editora Vozes.
- Vesentini, J.W., 1996: Sociedade e espaço. Geografia geral e do Brasil. São Paulo, SP: Editora Ática, 351 pp.
- Vieira, I.C.G.; *et al.*, 2006: Programa de CeT para recuperação de áreas alteradas no Arco do Desmatamento da Amazônia. Belém, PA: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC)/ Museu Paraense Emílio Goeldi, 105 pp.
- WHO, 2003: Climate change and human health: risks and responses. Summary. World Health Organization (WHO). Geneva, CH.
- WHO, 2009: Protecting health from climate change: connecting science, policy and people. World Health Organization (WHO). Geneva, CH.
- Xavier, T. de M. B. S. *et al.*. Mudanças climáticas nas cidades e interferências com aquecimento global. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, ago-dez, 61-68.
- Yamazaki, Y., 1975: Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. *J. Meteor. Soc. Japan*, 55, 204-207.

## CAPÍTULO 7

### IMPACTO PLURISSETORIAL, RISCO, VULNERABILIDADE E OPORTUNIDADE

**Autores principais:** Eduardo Haddad – USP.

**Autores colaboradores:** Edson Domingues – UFMG; Welem Rodrigues Faria – UFJF; Aline Souza Magalhães – UFMG.

**Autores revisores:** Carolina Dubeux – UFRJ.

## ÍNDICE

<b>7. IMPACTO PLURISSETORIAL, RISCO, VULNERABILIDADE E OPORTUNIDADE</b>	<b>316</b>
<b>7.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>316</b>
<b>7.2 SETORES AFETADOS POR MUDANÇAS CLIMÁTICAS</b>	<b>316</b>
<b>7.3 RISCOS</b>	<b>321</b>
7.3.1 EVENTOS EXTREMOS EM ÁREAS URBANAS E RURAIS	324
7.3.2 MIGRAÇÃO	325
<b>7.4 VULNERABILIDADE</b>	<b>325</b>
7.4.1 REGIONAL	326
7.4.2 SISTEMA DE SAÚDE PÚBLICA	327
7.4.3 SISTEMA DE DEFESA CIVIL	327
<b>7.4 OPORTUNIDADE</b>	<b>327</b>
7.4.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	327
<b>7.5 CONCLUSÃO</b>	<b>331</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>331</b>

## 7. IMPACTO PLURISSETORIAL, RISCO, VULNERABILIDADE E OPORTUNIDADE

### 7.1 INTRODUÇÃO

O conjunto de atividades econômicas afetadas por mudanças climáticas tende a ser amplo, uma vez que seus impactos repercutem tanto direta como indiretamente nas atividades econômicas. Notadamente, a atividade agrícola tende a ser afetada pelas mudanças climáticas no Brasil, mas a repercussão desse efeito nos demais setores produtivos, a exemplo da indústria de alimentos, também é provável ocorrer. Outro foco de impacto está na disponibilidade de recursos hídricos, que pode alterar as condições de produção de energia, cujos custos transmitidos ao sistema produtivo provocam efeitos muito disseminados. Sendo assim, efeitos econômicos sistêmicos merecem especial atenção na avaliação dos impactos das mudanças climáticas globais (MCGs). Não apenas os setores, mas também as regiões, tendem a ser afetados de forma heterogênea, direta e indiretamente, com impactos diferenciados. Ressalta-se, neste contexto, que a economia brasileira não é homogênea, apresentando grande variação entre seus setores e regiões. Espera-se, portanto, que a MCG repercuta em intensidade diferente no sistema de regiões que compõem o Brasil.

Segundo o Terceiro Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001)*, vulnerabilidade é o nível em que um sistema natural ou social é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos de mudanças climáticas. Seria uma função da sensibilidade, da capacidade adaptativa e da magnitude da exposição a riscos climáticos. Populações sempre estiveram expostas a perigos, sejam eles associados aos padrões de produção, à forma de ocupação e uso de solo ou à gestão dos recursos ambientais. Dessa forma, mudanças climáticas podem ser vistas como potencializadoras de situações de risco, uma vez que têm a capacidade de intensificar a ocorrência de doenças tropicais, pobreza e desastres.

Portanto, população também é um componente essencial da complexidade de mudanças climáticas, tanto como sujeito que as influencia – por meio de emissões, uso de terra, e consumo –, quanto como sendo aquele que sofre seus impactos e danos, o que torna necessária a identificação de seus segmentos vulneráveis.

Entende-se como adaptação, tanto as alterações tecnológicas induzidas por aquelas de ordem climática quanto a adequação às condições de vida em espaços urbanos afetados, de alguma forma, por essas mudanças no meio ambiente. Ela envolve, portanto, estratégias de setores produtivos e consumidores, bem como de governos, para minimizar possíveis danos e contornar consequências adversas, ou, ainda, criar novas oportunidades. Algumas de suas formas, são bens públicos, que devem ser proporcionados por decisões governamentais ou de planejamento e, muitos deles, no curto prazo.

Os trabalhos relatados a seguir tiveram como objetivo abordar a questão do impacto de mudanças climáticas ou seus desdobramentos sobre variáveis de relevância econômica. Esta revisão dos trabalhos empíricos realizados sobre o Brasil mostra que o esforço para se quantificar tais efeitos é relativamente recente e que há grande proximidade entre as hipóteses utilizadas, tanto no conjunto dos modelos econométricos, quanto naqueles de equilíbrio geral computável. Os efeitos captados se referem basicamente a indicadores econômicos, como produção e emprego e, também, a variáveis ligadas ao setor agrícola, como valor da terra e mudanças no seu uso.

### 7.2 SETORES AFETADOS POR MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Azzoni *et al.* (2009) analisaram os efeitos do uso de insumos energéticos sobre o crescimento de longo prazo da economia brasileira. Os autores utilizaram projeções macroeconômicas para o período de 2008 a 2035 que forneceram as condições de contorno da evolução da economia mundial.

Consistente com essa evolução e com os cenários A2 e B2 do IPCC (2007), a trajetória da economia nacional foi projetada setorialmente, com e sem mudanças climáticas globais, sendo a diferença entre essas duas situações, o custo ou o benefício obtido. Os principais resultados dessa análise mostraram que os setores tornar-se-iam menos intensivos em energia, devido à adaptação ao uso desse insumo – efeito este, sentido mais fortemente no cenário B2 do que no cenário A2.

Feres *et al.* (2009) buscaram identificar o efeito de mudanças climáticas globais sobre a alocação do uso de terra no Brasil – dividido entre lavoura, pasto e floresta – em estabelecimentos agrícolas. Basearam-se em resultados do modelo *Providing Regional Climates for Impact Studies (PRECIS)* sobre variação de temperatura do ar e precipitação para os cenários de emissões A2 e B2 do IPCC (2007). Os autores utilizaram três períodos para previsão: de 2010 a 2040, de 2040 a 2070 e de 2070 a 2100. Os principais resultados indicaram que, em ambos os cenários, as mudanças climáticas criariam pressão positiva para redução na alocação de florestas, principalmente devido ao aumento da área de pastagem. A expansão da lavoura ocorreria de forma mais significativa a partir de 2050 e, mais concentradamente, na região Sul do País.

Além disso, os efeitos das mudanças climáticas dar-se-iam de forma distinta sobre o Brasil, tendo como consequência maior pressão para a expansão da fronteira agrícola em direção ao bioma Amazônia. Os resultados foram construídos por meio da utilização de um modelo econométrico, especificado a partir da solução de outro exemplar, econômico, que define o comportamento dos agentes quanto a diferentes formas de alocação de terra. Estimativas a partir da mesma metodologia, atualizadas pelo CENSO Agropecuário de 2005/06 e efetuadas por Barbosa (2011), apontaram para resultados na mesma direção.

Sanghi e Mendelsonh (2008) analisaram os efeitos do clima sobre o valor da terra em propriedades agrícolas no Brasil, levando em consideração mecanismos de adaptação que atuam ao longo do tempo. O trabalho foi dividido em duas partes: na primeira, ele obteve resultados econométricos acerca dos fatores determinantes de preço para intervalos quinquenais no período de 1970 a 1985. Os resultados consideraram a adaptação dos proprietários ao clima e indicaram que a temperatura do ar teria consequências significativas na precificação desse insumo produtivo.

Na segunda parte desse estudo, os autores consideraram cenários de aumento de temperatura do ar com intervalo de 1,0° C a 3,5° C e precipitação na faixa de -8% a 14%, com base em informações do IPCC (2007) até 2100. Os resultados indicaram que todos os aumentos de temperatura simulados provocariam queda no valor da terra em todos os níveis de precipitação. E, à medida que a temperatura e a variação da precipitação aumentassem, maiores seriam as perdas de renda agrícola.

No cenário extremo – +3,5 °C e variação de 14% de precipitação –, a queda esperada seria de 40% no valor da terra. As regiões mais afetadas estariam localizadas no Norte e no Centro-Oeste do País; enquanto que as maiores valorizações ocorreriam nos municípios da Região Sul. Utilizou-se para tais projeções, um modelo econômico baseado na renda agrícola.

Sanghi *et al.* (1997) estimaram o efeito de mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira com base em informações municipais obtidas pelos cENSOs agropecuários de 1970, 1975, 1980 e 1985. As variáveis climáticas foram estimadas a partir de um conjunto de outras, relacionadas às características dos municípios. Em um segundo momento, as condicionantes climáticas foram utilizadas para explicar o valor da terra, sendo que os resultados indicaram que elas, realmente, seriam significativas.

Além disso, foram estimados os efeitos de um aumento de temperatura de 2,5° C e de uma variação positiva da precipitação de 7%, baseados em informações do IPCC (2007). Para os quatro anos de análise, estimou-se queda no valor da terra no Brasil em função do efeito conjunto do aumento de temperatura do ar e de precipitação. Em termos regionais, houve redução de preço em quase todos os estados do Brasil, principalmente nos da Região Centro-Oeste. Apenas os estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sergipe, Alagoas e Pernambuco apresentariam elevação em consequência de

mudanças climáticas. O impacto do aquecimento atmosférico contribuiu mais para tais resultados – igualmente obtidos por meio de um modelo econômico baseado em renda agrícola – do que a variação em precipitação.

Ferreira Filho e Horridge (2010) analisaram os efeitos de mudanças climáticas sobre a agricultura e a migração no Brasil, tendo como referência para a simulação os cenários A2 e B2 do IPCC (2007). Para ambos, previram queda de produção em diversas culturas e redução de terra disponível para expansão de produção. Concluíram que os efeitos projetados seriam negativos para indicadores agregados nacionais como PIB, emprego e salários.

Em termos de migração, os resultados – construídos a partir da utilização de um modelo econômico com dinâmica recursiva para análise de projeções intertemporais – mostraram que os maiores impactos sobre os fluxos quanto à origem dos migrantes ocorreriam, principalmente, nos estados do Nordeste e no Mato Grosso do Sul. Já quanto a destino, os mais relevantes estariam no Sul e no Sudeste do País. Moraes (2010) também avaliou o impacto de mudanças climáticas globais sobre a agricultura brasileira a partir de informações dos cenários A2 e B2 do IPCC (2007). Os resultados desse trabalho indicaram que, no cenário A2, o Nordeste e os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul sofreriam perda relativa de produção agrícola.

No cenário B2, ocorreria qualitativamente o mesmo resultado, com perdas localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Em ambos os cenários, a Sudeste apresentaria variação positiva de produção, embora de modo mais significativo no panorama projetado A2. Tais resultados foram obtidos a partir da avaliação de terras aptas e inaptas ao cultivo de diversas lavouras, com informações coletadas no estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2008), dado a variação da situação da linha de base em relação a presença de mudanças climáticas, e utilizando-se um modelo econômico de equilíbrio geral para isolar os efeitos sistêmicos dessas alterações sobre a aptidão agrícola.

O estudo da Embrapa (2008) para avaliação dos efeitos do aquecimento global sobre a configuração espacial da produção agrícola no Brasil mostrou que o aumento da temperatura do ar poderia provocar prejuízo de R\$ 7,4 bilhões para o setor agrícola até 2020 e de R\$ 14 bilhões, até 2070. Previu também, que a soja seria a cultura mais afetada, mas haveria efeitos distintos sobre as culturas, uma vez que elas apresentariam diferentes intensidades de produção nas regiões.

Dessa forma, regiões mais afetadas negativamente, como Nordeste e Centro-Oeste, deveriam ter suas culturas mais prejudicadas. Além disso, mudanças climáticas – como o aumento de temperatura do ar – promoveriam uma espécie de efeito de substituição regional, transferindo culturas de suas áreas tradicionais. Assim, a Região Sul poderia se tornar o destino de cultivos como os de café, mandioca e cana-de-açúcar.

O objeto desse estudo partiu das perspectivas de aquecimento global para os períodos até 2020, 2050 e 2070, tendo como instrumento, uma análise de zoneamento de riscos climáticos – para se definir as áreas aptas e inaptas para cada tipo de lavoura – e simulação de cenários climáticos para o Brasil pelo modelo climático *PRECIS*. Não se considerou, contudo, mudança no regime de chuvas.

Roson e van der Mensbrugghe (2010) avaliaram os efeitos de mudanças climáticas sobre alguns indicadores econômicos para regiões do globo. O horizonte temporal utilizado foi 2100. O cenário traçado incluía aumento de nível do mar, mudança no uso de terra, disponibilidade de água, saúde humana, turismo e energia.

Os resultados para o Brasil indicaram efeito negativo de quase 6% sobre o PIB até o final do período. Os principais determinantes desse recuo seriam as reduções na produtividade de trabalho e de produção agrícola. As conclusões tiveram como base simulações no modelo econômico global *Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium model (ENVISAGE)*, desenvolvido no Banco Mundial.

Lobell *et al.* (2008) analisaram o efeito de mudanças climáticas sobre a produção agrícola no mundo. No que diz respeito ao Brasil especificamente, seis culturas foram estudadas: soja, milho, cana-de-açúcar, arroz, trigo e mandioca. O propósito desse trabalho era o de avaliar em quanto o impacto de alterações do clima poderia afetar a agricultura, tendo em vista o problema mundial de segurança alimentar.

O estudo mostrou que os efeitos de cenários para variação de temperatura do ar e precipitação teriam efeito negativo na produção de alimentos pelo Brasil. No entanto, frente ao impacto observado em outras regiões do planeta, tal redução se mostraria menos significativa. Esses cenários foram elaborados para 2030 e as projeções de mudanças climáticas para as culturas agrícolas utilizaram um conjunto de modelos de circulação geral<sup>1</sup>. Os resultados se referem a projeções que consideraram um valor médio de aquecimento atmosférico nos intervalos de tempo estudados. Assim, alguns modelos projetaram aumento relativamente menor de calor, enquanto outros acusaram elevação maior.

Timmins (2006) estudou como mudanças climáticas poderiam afetar a decisão dos proprietários rurais no Brasil sobre ocupação de terra por floresta, pasto, lavoura permanente ou temporária em seis regiões brasileiras. Além disso, tentou captar seus efeitos no respectivo preço do solo, sobre o qual utilizou informações discriminadas, ao dividi-lo em oito categorias. Os cenários foram construídos de forma a acomodar o regime de chuvas típico do País e as estações do clima.

Quatro cenários foram analisados em relação à distribuição de terra na linha de base:

- aumento de 1 cm no volume de chuvas de verão,
- aumento de 1 cm no volume de chuvas de inverno,
- aumento de 1° C na temperatura de verão e
- aumento de 1° C na temperatura de inverno.

Os resultados desse trabalho indicaram que o aumento de temperatura do ar no verão expandiria a alocação da terra em pastagem em todas as regiões, em detrimento, principalmente, das áreas de floresta e cultura permanente exceto na Região Sul. O aquecimento registrado durante o inverno, por outro lado, mostrou redução de ocupação do solo pastagem e expansão do uso floresta, excetuando-se a já citada região do País, além da ampliação de cultura temporária no Norte, Nordeste e Centro-Oeste, e de permanente, no Sul e Sudeste. Tais previsões foram construídas com base em modelo econométrico especificado para acomodar internamente a decisão dos proprietários.

Cline (2007) consolidou os resultados de diversos trabalhos cujo objetivo era o de verificar como as mudanças climáticas afetariam indicadores econômicos – em especial aqueles relacionados à agricultura, uso e valorização da terra –, a partir do emprego de modelos econométricos aplicados a análise de vários países e regiões, incluindo o Brasil. Além disso, seu trabalho construiu novas conclusões a partir de especificações teóricas e modelagem dos referidos estudos, tomando como base horizonte temporal até 2080.

Os resultados deste trabalho consideraram, de acordo com o cenário analisado, fatores como nível de adaptação dos proprietários a mudanças climáticas e efeitos de fertilização do carbono. Para o Brasil, eles apontaram, quase sempre, queda no valor da terra, na capacidade de produção e no produto agrícola potencial. O segundo fator incluso contribuiria para atenuar tais tendências. Vale destacar que, para diversos outros países, principalmente da África e da América Latina, essas conclusões seriam mais intensas do que para o Brasil. Projetou-se, também, que as nações industrializadas seriam aquelas menos afetadas por alterações do clima.

---

<sup>1</sup> Maiores informações sobre os modelos podem ser encontradas em [http://www.IPCC-data.org/ddc\\_gcm\\_guide.html](http://www.IPCC-data.org/ddc_gcm_guide.html)

Mendelsohn *et al.* (2001) estudaram como o estágio de desenvolvimento dos países condiciona sua sensibilidade às mudanças climáticas. A agricultura foi seu setor de interesse, sendo que a hipótese principal era de que quanto mais alto o nível tecnológico do País, maior sua capacidade de adaptação. A forma pela qual o desenvolvimento poderia afetar a sensibilidade ao clima dependeria de como a tecnologia condicionasse a interação entre o capital e o clima.

A inserção da possibilidade de adaptação dos produtores agrícolas nesse estudo forneceu perspectiva importante sobre o comportamento econômico dos agentes, com implicações quanto aos resultados obtidos. O nível de desenvolvimento dos países foi definido com base nas medidas de renda *per capita* e de quantidade de tratores por hectare – esta última, utilizada também como proxy do nível tecnológico do setor agrícola. Um modelo econômico baseado em renda agrícola foi o instrumento utilizado.

O Brasil, definido em estágio de desenvolvimento médio, apresentou resultados indicando que, ao longo do tempo, o valor de suas propriedades agrícolas por hectare tornar-se-ia menos sensível às mudanças no clima. Assim, países mais desenvolvidos tenderiam a acusar menor sensibilidade à variação climática, uma vez que dispõem de fatores tecnológicos que facilitarão sua adaptação a novas condições de temperatura do ar e precipitação. Um importante resultado colhido na análise intertemporal foi o de que os países analisados se tornariam, com o tempo, menos sensíveis, à medida que alcançassem níveis mais elevados de desenvolvimento. Tal resultado tem implicação política, dado que o contínuo aprimoramento dos sistemas agrícolas no tempo poderia atenuar efeitos climatológicos.

Tendo como principal objetivo avaliar os impactos sistêmicos sobre a economia brasileira causados por mudanças climáticas globais, notadamente em termos de temperatura do ar e pluviosidade, o Estudo de Mudanças Climáticas no Brasil (EMCB), disponível e sintetizado em Margulis *et al.* (2011a,b), considerou cenários alternativos consistentes com as premissas dos cenários do IPCC (2007).

Outro propósito desse trabalho foi o de desenvolver, de maneira inovadora e pioneira no País, uma metodologia integrada de projeção de impactos econômicos de mudanças climáticas e políticas de adaptação e mitigação, considerando explicitamente as diversas escalas territoriais brasileiras – *macrorregiões*, *estados*, *microrregiões* e rede de cidades.

O estudo buscou articular, projeções de alterações climáticas a modelos socioeconômicos, de forma que uma análise integrada dos impactos econômicos desses fenômenos pudesse ser efetuada. Apresentou uma síntese sistêmica da economia brasileira inédita em termos de efeitos espacializados de mudanças climáticas globais (MCG) em trajetórias temporais explícitas.

Ao utilizar uma integração sequencial – em alguns casos semi-interativa – com outros modelos setoriais, o EMCB garantiu a consistência intertemporal dos resultados em seus vários níveis de agregação. O núcleo central da modelagem utilizada foi um exemplar econômico, capaz de lidar de maneira consistente com sua integração a outros, notadamente os aplicados a demanda e oferta de energia, uso de terra e produtividade agrícola –, os quais, por sua vez, foram integrados aos dedicados aos aspectos climáticos e setoriais.

Os resultados das simulações mostraram impacto negativo de mudanças climáticas sobre o Brasil nos cenários analisados. Assim, em termos econômicos, o País não se beneficiaria de nenhum dos dois cenários – o A1 e o B2 do IPCC – de mudanças climáticas.

Dentre os principais resultados do estudo, destacam-se:

- (i) a redução do crescimento econômico;
- (ii) o impacto negativo sobre o bem-estar da população, com diminuição do poder de compra;
- (iii) a ausência de impactos homogêneos sobre setores e regiões;
- (iv) maior sensibilidade da agricultura e da pecuária entre os setores negativamente afetados pela MCG;
- (v) o aumento potencial de concentração espacial da atividade econômica no Centro-Sul do País;



- (vi) a ocupação pela pecuária da zona rural no Nordeste;
- (vii) o aumento potencial das desigualdades regionais e sociais;
- (viii) menor impacto sobre regiões mais ricas, desde que não se considere instabilidade maior associada a eventos extremos;
- (ix) efeitos negativos mais fortes no interior do Brasil; e
- (x) o aumento da pobreza.

Esta metodologia foi replicada em *Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira* publicada pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – Fundação Estadual do Meio Ambiente ((FIPE-FEAM,2011), mostrando que o principal resultado projetado seria a ameaça maior das MCG às regiões mais pobres do Estado de Minas Gerais. Sob a ótica espacial, poder-se-ia concluir que seriam concentradoras e intensificariam as disparidades regionais. Seus custos para o PIB regional seriam proporcionalmente maiores nas áreas onde o indicador é menor e se intensificariam com o tempo.

## 7.3 RISCOS

### 7.3.1 EVENTOS EXTREMOS EM ÁREAS URBANAS E RURAIS

Muitos estudos sobre eventos extremos<sup>2</sup> são diretamente ligados a pesquisas sobre mudanças climáticas. Nesse sentido, são apresentados a seguir, trabalhos cujo foco está na avaliação desses impactos sobre a atividade econômica e em questões gerais, como as da mortalidade e da saúde, destacando-se, quando conveniente, as regiões e os setores envolvidos.

Em um de seus pontos, o trabalho de Marengo (2009b) detectou os efeitos de condições meteorológicas extremas sobre indicadores socioeconômicos no Brasil. Destacou dois fatores principais relacionados: enchentes e secas. Identificou que as primeiras têm provocado danos econômicos consideráveis ao País, tanto a sua população como às suas empresas, além da perda de vidas humanas. As secas, por sua vez, têm comprometido o fornecimento de eletricidade, causando também prejuízos econômicos à atividade produtiva urbana, afetando negativamente a produtividade agrícola e provocando o êxodo populacional de algumas regiões afetadas.

Especificamente no Sul do País, as chuvas ocorridas em Santa Catarina, em novembro de 2008, provocaram inundações e deslizamentos de terra, mais de 120 mortes e milhares de pessoas desabrigadas. Houve ainda, bloqueio de estradas, problemas de abastecimento de energia e água e destruição de casas e empresas. Segundo Silva Dias *et al.* (2009) as estimativas de prejuízos provocados pelo evento podem ter chegado a US\$ 350 milhões.

Com relação à seca, Marengo (2009b) destacou também que a redução das chuvas em 2001 provocou diminuição significativa no nível dos rios nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, o que reduziu a capacidade de produção de energia hidrelétrica pelas mesmas. A seca na região Sul, vem afetando negativamente a produção de soja, milho, feijão e outros grãos desde 2008 tendo, também, comprometido atividades ligadas à produção de leite e à colheita de trigo por mais de um período.

Em seu trabalho, o autor ainda documentou o histórico de secas extensas no bioma Amazônia, relatando, por exemplo, que a seca de 2005 afetou a população local em virtude da redução do nível de vazão dos rios – que impossibilitou a navegação, isolando os vilarejos e prejudicando o turismo. Brown

---

<sup>2</sup> Eventos extremos, como definido por Marengo (2009a), são basicamente friagens, ondas de calor e frio, chuvas intensas, inundações e veranicos, em se tratando de tempo – fenômenos de curto prazo –, e secas, em se tratando de clima – fenômenos de médio prazo.

et al. (2006) relataram ainda que este evento teve uma série de consequências.

- i) Impactos ecológicos afetaram o manejo sustentável da floresta na região e, com isso, a economia regional altamente dependente das atividades relacionadas.
- ii) Incêndios devastaram área significativa de floresta.
- iii) A interrupção do funcionamento de aeroportos, escolas e empresas, em decorrência da fumaça criada por incêndios, levou muitas pessoas aos hospitais por inalação. Estimativa da Defesa Civil do Estado do Acre indica que as perdas econômicas, apenas por conta desses episódios, somaram em torno de US\$ 87 milhões de dólares ou cerca de 10% do PIB estadual.

Marengo (2009a) estudou os impactos socioeconômicos de eventos extremos relacionados a tempo e o clima. Salientou que as regiões mais suscetíveis tenderiam a contabilizar custos em termos sociais e econômicos bastante elevados por conta de aumento na frequência desses fenômenos. Áreas mais secas, como no Nordeste do Brasil, poderiam ter suas terras agrícolas expostas à salinização e à desertificação em longo prazo, com impactos adversos sobre produtividade do gado e de algumas colheitas em horizontes curto e médio. Isso poderia acarretar também, efeitos sobre a segurança alimentar, dado a redução de oferta de bens imposta pela restrição climática.

Duas ocorrências foram citadas com relação ao Estado de Santa Catarina, anteriores às enchentes em 2008 já mencionadas:

- i) chuvas intensas e inundações em 1983, provocadas pelo fenômeno *El Niño*, teriam produzido perdas econômicas de aproximadamente US\$ 1,1 bilhão e
- ii) um furacão que atingiu a região costeira gerou prejuízo estimado em outro US\$ 1 bilhão.

As secas mencionadas anteriormente, ocorridas no Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil em 2001, na região Sul, em 2008, e na Amazônia, em 2005, seriam consequências de eventos extremos relacionados ao clima.

Rebello e Assis (2010) analisaram os efeitos de eventos extremos ocorridos em 2008 no Brasil sobre produção e produtividade de algumas culturas. Associaram sua existência ao processo global de mudanças climáticas e enfatizaram que isso tem afetado, pouco a pouco, o setor alimentício. Esse estudo investigou diferentes culturas:

- i) no Rio Grande do Sul, as de soja, milho e feijão;
- ii) em Santa Catarina, as de soja e arroz;
- iii) no Mato Grosso do Sul, as de soja e feijão e;
- iv) no Espírito Santo, a de café.

Os seguintes eventos extremos foram considerados: temporais, tornados, chuvas intensas e acumuladas em 24 horas e mensais, vendavais, extremos máximos e mínimos de temperaturas, estiagem e seca. O método utilizado para verificar como estes fenômenos teriam afetado as culturas consistiu em relacionar a ocorrência dos eventos às informações de produção disponíveis na Confederação Nacional de Abastecimento (CONAB). Os principais resultados mostraram um aumento da produção de arroz no Rio Grande do Sul entre 2007 e 2008, enquanto que Santa Catarina teve resultado negativo no mesmo período. As produções de soja, milho, feijão e café também foram menores nos estados pertinentes naquele período.

Estudo do Instituto SIAGUA (2005) preocupou-se em quantificar a existência de eventos extremos entre 1980 e 2004 associados a inundações e secas em diversos países, especialmente aqueles localizados na América Latina, e associá-los a prejuízos econômicos e sociais. Para isso utilizou uma base de dados do EM-DAT – *Emergency Disasters Data Base*, criada e mantida pelo CRED – *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* – Centro para a Investigação da Epidemiologia dos Desastres –, associado à Organização Mundial de Saúde. Os eventos que foram considerados na análise seguem alguns critérios:

- i) 10 ou mais vítimas mortais ou desaparecidos registrados;
- ii) 100 ou mais pessoas afetadas – feridas, desalojadas ou evacuadas;
- iii) tenha sido declarado o estado de emergência; e,
- iv) tenha sido solicitada a assistência internacional.

Assim, foi possível identificar os seguintes dados:

- I. o total de mortos ou desaparecidos, com base em registros oficiais;
- II. o contingente de pessoas afetadas para as quais foi requerida assistência imediatamente após o evento, incluindo aquelas, desalojadas ou evacuadas, e
- III. prejuízos estimados em US\$.

No Brasil, identificou-se de 50 a 60 situações de cheias com média aproximada de 100 mortes por ano provocadas por eventos catastróficos e prejuízo médio acima de US\$ 10 milhões no período analisado.

Além disso, verificou-se, entre 1980 e 2004, a ocorrência de cerca de dez situações de secas catastróficas, ocorridas quase exclusivamente no Nordeste do País e que afetaram, em média, mais de 10 milhões de pessoas por ano provocando prejuízo médio de aproximadamente US\$ 100 milhões anuais.

Ahmed *et al.* (2009) buscaram verificar como questões relacionadas a alterações climáticas bruscas poderiam afetar a situação de pobreza nos países de renda menor e mais suscetíveis à ocorrência desses fenômenos. A hipótese principal era a de que eventos extremos de clima poderiam intensificar tal condição, uma vez que os efeitos mais significativos incidem sobre atividades agrícolas, as quais são de alta importância relativa para suas economias. Ao afetarem a produtividade agrícola e, por conseguinte, os preços dos alimentos, prejudicariam as classes com menor poder aquisitivo.

Os autores recorreram a um extenso banco de dados de projeto utilizado para a consolidação do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (2007). Seu objetivo era extrair três informações importantes que poderiam afetar a produção agrícola: excesso de precipitação, número de secas consecutivas e índice de duração de ondas de calor, todas relativas ao período de 1961 a 1990. Com isso, realizaram simulações de mudanças nos índices de incidência de eventos extremos sob três cenários distintos para 2071 até 2100, considerando 108 zonas agroecológicas.

Para o Brasil, os resultados para o Brasil indicaram que ao final de 30 anos de incidência de eventos extremos, a pobreza poderia aumentar em 1% no setor agrícola e 4,1% nos demais, 5,5% entre trabalhadores urbanos e 6,2%, entre rurais.

Considerando-se que mudanças climáticas têm provocado ocorrência cada vez mais frequente de eventos extremos e que os países mais pobres tendem a ser mais vulneráveis, Mirza (2003) apresentou um estudo sobre um cenário de avaliação de medidas de adaptação a tais fenômenos em nações em desenvolvimento. Observou que, em geral, elas tendem a gastar a maior parcela desses recursos em reconstrução do que em medidas de ajustamento para mitigar efeitos negativos.

O autor ressaltou também que, para um rol de 28 países em desenvolvimento no qual o Brasil se inclui, as perdas diretas devido a catástrofes naturais poderiam ser estimadas em mais de US\$ 1 bilhão, o que poderia ter consequências significativas no longo prazo em termos de crescimento sustentável. Além disso, a reversão de tais gastos através da adoção de medidas adaptativas a eventos extremos poderia reduzir a grandeza de prejuízos econômico e social.

Easterling *et al.* (2000) pesquisaram a ocorrência de eventos extremos no século XX e seu deslocamento pelo mundo. Com relação ao Brasil, observaram esse aspecto em relação ao regime de chuvas e encontraram resultados significativos para o período entre 1930 e 1983 que indicaram aumento tendencial de chuvas fortes.

Nesse período, como destacou o *United Nations Environment Programme (UNEP, 2007)*, pode-se observar o fenômeno *El Niño*, que provocou incidência de chuvas fortes e secas prolongadas no Brasil. Ambas essas ocorrências teriam tido efeitos negativos sobre mudanças no uso de terra, produção de culturas agrícolas e, ainda, agravaram o desmatamento. Em 2001, em razão de falta persistente de chuvas, a crise energética se intensificou, com perdas estimadas em 1,5% do PIB, segundo o estudo citado.

O EMCB, já mencionado neste capítulo, retratou cenários de trajetória temporal da economia considerando diferentes perspectivas. Alguns desses cenários foram associados à possível ocorrência de eventos extremos relacionados principalmente a inundações provocadas por ciclones extratropicais ao longo da costa brasileira. Não foi possível, contudo, identificar efeitos específicos desses fenômenos de forma desagregada dos demais.

Alguns estudos, apresentados a seguir, enfocaram a análise de regiões específicas do território nacional quanto à ocorrência de eventos extremos específicos.

Garcia *et al.* (2004) compararam os efeitos do fenômeno *El Niño* de 1982 a 1983 com os registrados de 1997 a 1998 sobre a composição de peixes no estuário da Lagoa dos Patos, no Estado do Rio Grande do Sul. Sua hipótese de trabalho foi a de que, por provocarem mudanças na composição hidrológica, as chuvas influenciariam a composição de espécies de peixes no estuário. Os resultados mostraram que, em ambos os biênios, os impactos foram similares no que tange a variação do aspecto investigado.

Coelho-Netto *et al.* (2009) registraram a ocorrência de desastres, especialmente de deslizamentos de terra, relacionados a chuvas intensas nas regiões Sul e Sudeste do País ao longo das últimas três décadas. Verificaram que as áreas montanhosas com maior declividade tendem a apresentar maiores falhas no solo, o que, em tese, aumentaria a probabilidade de acidentes.

Bouwer (2010) estudou métodos e análises utilizados para projeções futuras de perdas socioeconômicas devidas a eventos extremos, realizadas para as maiores cidades do mundo, incluindo São Paulo. O resultado apontou uma redução potencial em termos de PIB e população dessas cidades de 3,5% a 4,0% ao ano em virtude de desastres.

Em estudo mais específico, Marques e Cunha (2008) buscaram quantificar o impacto causado por uma inundação no município de Laranjal do Jarí, no Estado do Amapá, em 2000. Os dados utilizados referiram-se ao relatório geral sobre serviços prestados pelos governos estadual e federal em ações de resgate, salvamento e assistência social a desalojados e desabrigados. Os resultados colhidos indicaram que elas teriam custado cerca de R\$ 1,7 milhão ao cofre público local, enquanto que os setores de agricultura, indústria e serviços contabilizaram prejuízo de aproximadamente R\$ 7,5 milhões.

### 7.3.2 MIGRAÇÃO

Os movimentos migratórios em função de mudanças climáticas poderão gerar importantes consequências para a economia brasileira, conforme analisado nos trabalhos de Assunção e Feres (2008); Barbieri *et al.* (2010); Ferreira Filho e Horridge (2010) e Timmins (2007).

Na análise de Assunção e Feres (2008), um modelo de migração microeconômico, com as características dos indivíduos e seus locais de origem e destino – incluindo aspectos climáticos, como temperatura e precipitação –, foi utilizado para estudar o processo de tomada de decisão pelos agentes, considerando também respostas a alterações de clima. Os resultados desse trabalho indicaram que o impacto sobre o processo migratório diferia regionalmente no Brasil, de acordo com a capacidade das famílias para migrar e se locomover. Um cenário de mobilidade limitada implicaria impacto mais intenso de mudanças climáticas sobre a pobreza rural do que no caso de panorama onde o aspecto

de maior mobilidade.

Barbieri *et al.* (2010) utilizaram um modelo demográfico acoplado a outro, econômico, para estimar os fluxos de migração no Nordeste derivados de mudanças climáticas, tomando em consideração os cenários A2 e B2 do *IPCC* (2007). Os resultados obtidos para o Brasil indicaram que a Região Nordeste poderia abrigar fluxos migratórios importantes e decorrentes de mudanças climáticas esperadas, especialmente em direção a suas áreas metropolitanas, com pressão significativa sobre a estrutura de serviços de saúde, saneamento e habitação.

Timmins (2007) desenvolveu um modelo microeconômico para avaliar o impacto de mudanças climáticas sobre o Brasil, em que são estimadas funções indiretas de utilidade para cada indivíduo, considerando alterações em atributos locais, mercado de trabalho e preço de *commodities* locais causadas pelas modificações no clima. O autor calculou que o custo anual da migração causada por esses aspectos, em termos de recursos naturais locais, poderia equivaler a 0,4 e 1,5% do PIB. As simulações do trabalho indicaram também, que residentes nos estados do Nordeste com menor nível de educação tenderiam a sofrer mais, por terem menor potencial de mobilidade.

## 7.4 VULNERABILIDADE

### 7.4.1 REGIONAL

Marengo (2008), ao atualizar estudo do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE, 2005), analisou situações de vulnerabilidade associada a mudanças climáticas no semiárido nordestino, que poderiam afetar, sobretudo, a disponibilidade de água, a segurança alimentar regional e a saúde da população. Além disso, revisitou os principais períodos de secas e enchentes ocorridas na região. Os cenários de clima apontariam, nas próximas décadas, para aumento de temperatura do ar e diminuição de chuvas na região. Os agentes mais vulneráveis seriam aqueles com menos recursos e menor capacidade para se adaptar a transformações, tais como trabalhadores de baixa renda, principalmente na agricultura de subsistência.

Nesse quadro, a variabilidade climática

*obrigaria populações a migrarem, gerando 'ondas de refugiados ambientais do clima' para as grandes cidades da região ou para outras regiões, aumentando os problemas sociais já presentes nas grandes cidades.*

Além disso, o autor sugeriu no trabalho citado algumas possíveis ações de adaptação e mitigação.

Baettig *et al.* (2007) desenvolveram um índice de mudança climática (CCI) que buscou capturar sua força potencial relativamente a variabilidade natural corrente. Este índice apontou para as regiões Nordeste e Norte como as que tenderiam a apresentar maiores alterações de clima futuro.

Na mesma linha, os trabalhos de Tompkins *et al.* (2008), Toni e Holanda Jr. (2008) e Krol e Bronstert (2007) avaliaram e alertaram para a vulnerabilidade potencial da região Nordeste, notadamente o semiárido, em decorrência de mudanças climáticas.

A vulnerabilidade econômica a mudanças climáticas nos estados brasileiros foi identificada no EBMC (Margulis *et al.*, 2011ab) e discutida em Haddad *et al.* (2011). Em ambos os cenários analisados em tais estudos – A2 e B2 do *IPCC* (2007) –, a Região Centro-Oeste apresentaria maiores custos, chegando ao equivalente a 4,5% do PIB em 2050 no cenário B2. Já a Região Norte, exibiria perda permanente de 3,1% para esse mesmo indicador, a Região Nordeste, de 2,9%, e a Sudeste, de 2,4%, quando comparadas a um mundo com clima sem modificações. A Região Sul se beneficiaria nos dois panoramas traçados e seu ganho seria bem mais significativo no A2 – da ordem de 2% no PIB regional em 2050.

Esses resultados são bastante expressivos, pois sugerem que nem todas as regiões perderiam com a MGC, gerando elementos adicionais ligados à economia do clima para se pensar em recomendações de políticas relativas a mitigação e adaptação em contexto federativo, no qual alguns entes tenderiam a se beneficiar ao menos economicamente.

A vulnerabilidade econômica da Região Nordeste foi também destacada em Domingues *et al.* (2008). A variação de temperatura indicada em cada cenário analisado foi utilizada para a geração de choques específicos sobre o setor agrícola, a partir da análise das áreas aptas e inaptas de culturas (Embrapa, 2008). Os resultados mostraram um efeito negativo sobre PIB e emprego regionais para quase todos os períodos de projeção, sendo o impacto mais intenso no cenário A2 do que no B2 do IPCC (2007).

Os estados mais afetados em termos de PIB e emprego ao final do período de projeção teriam sido os de Pernambuco, Paraíba e Ceará.

O estudo da FEAM-FIPE (2011) criou outro índice de vulnerabilidade econômica a MGC, que relaciona a participação de uma microrregião nas perdas potenciais de um estado federativo e sua contribuição ao PIB. Índices superiores a 1, sinalizariam impacto mais do que proporcional a sua participação no indicador macroeconômico, apontando uma estrutura produtiva mais suscetível aos efeitos da alteração do clima planetário. Quando inferior a 1, sinalizaria uma microrregião menos vulnerável. Em ambos os cenários para o estado de São Paulo, os valores maiores que o referencial se registraram, sobretudo, em sua porção norte, enquanto que sua região central acusou concentração da situação inversa.

#### 7.4.2 SISTEMA DE SAÚDE PÚBLICA

As alterações climáticas colocam a saúde pública diante de grande desafio neste século pois, há evidências de que representam riscos crescentes para ela, tanto ao se considerar projeções futuras como ao se analisar tendência, já verificada, de aumento de morbidade e mortalidade em várias regiões do mundo, conforme apontam vários estudos (Harlan e Ruddel, 2011; MCMichael *et al.*, 2006; Bosello *et al.*, 2005; Patz *et al.*, 2005; Haines *et al.*, 2006).

As condições de saúde humana no Brasil podem ser severamente afetadas em razão, sobretudo, do histórico de doenças de veiculação hídrica, daquelas transmitidas por vetores e das respiratórias.

Sobre o Brasil, existem alguns trabalhos que analisaram a relação entre mudanças climáticas e saúde. Porém, a avaliação de efeitos é ainda muito complexa por envolver e necessitar de uma abordagem integrada e interdisciplinar, o que a coloca como área promissora para pesquisas. Confalonieri (2008), a partir de estudos financiados pelo Programa de Mudança Global do Clima, criado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, avaliaram a vulnerabilidade da população a consequências sanitárias de mudanças do clima. A partir de uma matriz de impacto sobre doenças endêmicas foram construídos índices para os estados brasileiros e se apurou que se que a Região Nordeste, notadamente no Estado de Alagoas, se mostrava mais vulnerável.

Barcellos *et al.* (2009) avaliaram cenários de mudanças climáticas e ambientais, além de suas respectivas incertezas para o Brasil. Ademais, identificaram, em caráter especulativo, alternativas e recursos que poderiam ser utilizados para se desenvolver uma rede de diagnóstico, modelagem, análise e intervenção a respeito das repercussões dessas alterações sobre condições de saúde.

Peterson e Shaw (2003), através de modelagem ecológica, projetaram a distribuição geográfica potencial de três espécies de leishmaniose no Sudeste do Brasil em cenários de mudanças climáticas. O trabalho sugeriu que as condições de clima para desenvolvimento da leishmaniose visceral tenderiam a melhorar em decorrência do aquecimento global.

Sob diferente ótica, Pattanayak *et al.* (2009) examinaram, a partir de um modelo econômico, os impactos sobre economia e saúde da implementação de uma política de expansão das florestas nacionais (FLONAS) em 50 milhões de hectares. Os resultados alcançados sugeriram queda relativamente pequena de PIB, produção e outros indicadores, ao mesmo tempo em que projetaram maior bem-estar das famílias que vivem no campo exatamente por estarem mais próximas das áreas florestais. Esse artigo propôs uma estratégia para se avaliar as políticas a respeito de efeitos sobre a saúde humana em contexto de mudanças climáticas.

### 7.4.3 SISTEMA DE DEFESA CIVIL

Segundo o IPCC (2007), projeções apontam para aumento de áreas de risco, principalmente em cidades tropicais, cada vez mais sujeitas a chuvas intensas que podem provocar deslizamento de encostas e alagamento. Dessa forma, mudanças climáticas poderiam ser vistas como potencializadoras de situações de risco, uma vez que teriam a capacidade de expandir a incidência de doenças tropicais, pobreza e desastres (Marandola, 2009). Torna-se importante, destarte, estudar a vulnerabilidade associada a essas modificações do clima para se operacionalizar esquemas eficientes de defesa civil. Há, contudo, poucos trabalhos para o Brasil que abordam tal dimensão, que se configura como campo para pesquisas futuras.

A obra *População e Mudança Climática: Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais* (Hogan e Marandola, 2009) traz uma série de artigos que tentaram elucidar as relações entre mudanças climáticas e alguns aspectos ligados a defesa civil em grandes cidades.

Alves (2009), por exemplo, integrou metodologias utilizando dados sociodemográficos e ambientais para a análise de vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas no contexto de mudanças climáticas. Concluiu que o desenvolvimento urbano, tal como se deu, aumentou a exposição da população – substancialmente, a de baixa renda como os moradores de favelas e encostas –, a riscos relacionados aos possíveis efeitos adversos de mudanças climáticas – caso de enchentes e chuvas intensas. Isso, por seu turno, poderia causar impacto sobre a saúde pública por meio de disseminação de doenças, condições de vida, os assentamentos humanos e padrões de suprimento de água e alimento, assim como, de risco quanto a desastres. Ribeiro (2008), em estudo publicado pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE 2005), sugeriu ações para adaptação a mudanças do clima nas cidades brasileiras, no sentido de se reduzir as emissões de GEEs desde áreas urbanas e, também, de diminuir seus impactos socioambientais graves, principalmente aqueles resultantes de eventos extremos que acarretam perdas de vidas humanas e de bens materiais. O autor propôs diversas ações a partir de três eixos principais de discussão: aumento da temperatura, chuvas intensas e elevação do nível do mar, em busca, principalmente, de alternativas para moradia da população de baixa renda e sua imediata retirada de áreas de risco.

## 7.4 OPORTUNIDADE

### 7.4.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Esta seção tem por objetivo identificar estudos para o Brasil que tratam de aspectos, ainda que isolados, relacionados à oportunidade que se coloca em uma trajetória de desenvolvimento sustentável. Os trabalhos são, em sua maioria, de natureza qualitativa. Os resultados devem ser considerados com cautela, apenas como uma primeira aproximação do desenho de hipóteses a serem ainda testadas.

Em linhas gerais, os estudos reconhecem os impactos causados pela MCG e, a partir de tal constatação, discutem estratégias para atuação setorial no Brasil e suas implicações. Foi possível identificar na literatura especializada, uma série de trabalhos relacionados a consumo sustentável – fato relacionado a práticas sustentáveis de desenvolvimento – com foco sobre diferentes áreas – tais como energia e

recursos naturais, meio ambiente e mudanças climáticas, desenvolvimento rural e agricultura, produção em setores específicos da economia como o de siderurgia e educação – como forma de alcançar objetivos ligados à sustentabilidade. Além disso, discutiu-se a sustentabilidade em um contexto urbano. O primeiro grupo de trabalho a ser relatado enfocou, de modo mais amplo, consumo e práticas de desenvolvimento sustentável.

Cavalcanti (1994) mostrou uma série de estudos direcionados à discussão dos caminhos envolvidos em um processo de social de tal ordem. Tais estudos realçaram, de um lado, os principais problemas econômicos dele derivados e devidos a fatores como reformulação de políticas e custos de adaptação. De outro, sugeriram práticas para que medidas sustentáveis sejam incorporadas à trajetória de desenvolvimento socioeconômico do Brasil.

Camargo *et al.* (2002) apresentaram desafios relativos a sustentabilidade colocados para o Brasil com no período pós-Rio-92 até 2002. Observaram que fatores econômicos foram mais importantes no direcionamento da trajetória de crescimento do País em virtude, principalmente, da execução do Plano Real, do processo acelerado de globalização, das privatizações e de algumas crises econômicas.

Ainda com relação ao debate sobre o evento Rio-92, Baroni (1992) destacou que, para alcançar desenvolvimento sustentável, há também a necessidade de se solucionar os problemas socioeconômicos. Observou que uma das principais conclusões do relatório preliminar do governo para a ECO-92 apontava a pobreza como um dos principais problemas ambientais do Brasil. Concluiu ainda, que o desenvolvimento sustentável, principalmente no País, demonstrou que sem crescimento econômico os recursos naturais tenderiam a ser utilizados de forma predatória e que o equilíbrio econômico-ambiental poderia ser alcançado com redução da pobreza e melhoria da distribuição de renda baseada na atividade produtiva.

McAllister (2008) fez uma análise da governança do consumo sustentável na região do bioma Amazônia. Este debate surgiu em virtude do desmatamento causado pela expansão da fronteira agrícola. A conversão de floresta em lavoura decorreu da necessidade de maior quantidade de terra para a produção de *commodities* voltadas, principalmente, para a exportação.

O foco central do estudo foi a associação entre produção e consumo no contexto de uma cadeia produtiva específica, sugerindo que os agentes associados a seus principais elos poderiam promover ações pró-sustentabilidade.

Marx *et al.* (2010) discutiram os requisitos para se alcançar um consumo sustentável no Brasil a partir do desenvolvimento da produção e de políticas públicas. A ideia principal de seu estudo é a de que há grande relação entre a primeira e consumo, de tal modo que se ela fosse dirigida por práticas sustentáveis, o último tenderia a seguir a mesma trajetória, com implicações significativas sobre metas ambientais.

Para verificarem se isto ocorria e se os consumidores tendiam a demandar produtos que exigissem menor degradação ambiental, esses autores aplicaram um questionário qualitativo em amostras de dois grupos de interesse: de consumidores green e tradicionais. Ambas foram coletadas em diferentes localidades, de acordo com seu foco específico.

As respostas foram comparadas para se identificar diferenças e similaridades entre as demandas dos dois grupos. Com isso, os autores julgavam ser possível chegar às ações públicas que fomentariam um consumo sustentável, a partir do levantamento dos fatores que conduzem à compra de seus produtos. No entanto, o estudo não chegou a conclusões claras sobre o comportamento de compra dos integrantes da amostra, o que exigiria obtenção de informações quantitativas.

Portilho (2004) fez uma análise da relação entre impacto ambiental e padrões de consumo sob a ótica do deslocamento do comportamento ambiental da produção para o consumo. O autor destacou os



limites, possibilidades e consequências políticas de se tornar as práticas de consumo mais de acordo com questões ambientais.

Tal análise considerou a transformação recente no pensamento ambientalista, isto é, a crescente percepção social do impacto ambiental sobre os atuais padrões de consumo. Concluiu que uma estratégia desse tipo e centralizada no consumo sustentável, ainda estaria subordinada ao fortalecimento de uma nova cultura política, uma vez que as aquelas baseadas em pensamentos internacionais nessa área dependeriam de fatores relacionados à participação das esferas pública e de governos.

Os trabalhos sob a perspectiva de regulação ambiental ou mudanças climáticas seguem elencados neste subcapítulo.

Ames e Keck (1998) apresentaram estudo sobre políticas de desenvolvimento sustentável no Brasil com vistas à formação de políticas ambientais específicas e foco sobre quatro estados federativos: Paraná, Pernambuco, Mato Grosso e Rondônia. Relacionaram uma análise política do contexto histórico com a adoção e a implementação de ações ambientais. Ressaltaram, contudo, que muitas iniciativas foram frustradas em razão de interesses individuais ou específicos.

Com relação à análise por estados, observaram que, no Paraná, as atividades econômicas privadas são mais valorizadas que nos demais, resultando em formação e consolidação de políticas ambientais mais eficientes. No entanto, ainda nesse estudo, uma série de análises críticas sobre o comportamento político nesses estados foi apontada e concluído que o mesmo exerceu consequências diretas sobre seu desenvolvimento sustentável.

Rovere (2002) mostrou algumas estratégias de desenvolvimento sustentável em conjuntura de mudanças climáticas no Brasil. O autor utilizou uma abordagem que associava as políticas de mitigação ao contexto referido, destacando estratégias e programas a serem implantados, bem como os principais obstáculos para a integração harmônica entre um modelo climático e práticas de sustentabilidade.

As principais conexões entre estratégias de mitigação de mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável estariam associadas a programas de redução da emissão de gases causadores do efeito estufa. O plano de execução mais importante poderia ser identificado no campo do uso mais eficiente da energia e de produção de energia renovável.

Costa (2000) apresentou uma discussão sobre a legislação ambiental brasileira para análise de desenvolvimento sustentável do setor de petróleo. Expôs os fatos que o regulam ambientalmente e como eles poderiam afetar a competitividade das empresas do ramo. Concluiu que padrões de qualidade estimulariam a criação de sistemas de gestão ambiental – como o sistema ISO, por exemplo, deixando claro aos consumidores quais os parâmetros a serem observado pela produção.

Os próximos trabalhos discutem temas relacionados à agricultura e ao meio rural e desenvolvimento sustentável no Brasil.

Beduschi Filho e Abramovay (2003) estudaram os desafios do planejamento para desenvolvimento territorial nas áreas rurais do Brasil. Sua hipótese central foi a de que o País necessitaria de organizações intermediárias – além dos limites municipais, mas aquém dos respectivos estados federativos – que pudessem corporificar a construção conjunta de projetos estratégicos ao alcance da participação real dos grupos sociais neles interessados. Destacaram que tal iniciativa seria a base para uma nova relação entre atores locais e estaduais, a partir de contratos para os fins específicos de desenvolvimento e não mais em transferências controladas de recursos.

Caviglia e Kahn (2001) estudaram a agricultura sustentável nas florestas tropicais do Brasil. Partiram da hipótese de que, nesse contexto, as famílias poderiam escolher produzir utilizando procedimentos de manejo da terra sustentáveis ou não, com base em cortes sem critério de vegetação e de deflagração

de queimadas. Um modelo econômico foi utilizado para verificar o método preferido pelas famílias produtoras. Os resultados mostraram que, uma vez aplicada a prática de sustentabilidade agrícola por cada família produtora, ao longo dos anos ela seria mantida e se expandiria. Além disso, concluíram que os direitos de propriedade estariam diretamente relacionados à mesma, mas que o maior empecilho para sua disseminação seria a falta de informação sobre esse tipo de produção.

Carmo (1998) explorou as características da agricultura familiar no Brasil com vistas a uma possível implementação de práticas mais sustentáveis em um contexto de novos padrões de consumo. Concluiu que a sustentabilidade na produção requereria redefinição, não só da questão ambiental, mas também das necessidades sociais, além de uma política agrícola diferenciada que incluísse as restrições naturais ao processo de decisão sobre uso alternativo de recursos. As causas estariam ligadas ao fato de que o padrão de consumo internacional não se alterou e não reduziu a demanda por recursos naturais.

Assis (2006) apresentou sugestão para estabelecimento de processo de desenvolvimento rural sustentável no Brasil baseado na agroecologia e com a adoção de projeto político alicerçado na extração de potenciais locais, cujo foco recairia também na redução das desigualdades sociais. Sua execução teria que ocorrer em dois planos: regional e local. No entanto, advertiu o autor que, as dificuldades de implementação seriam grandes, principalmente devido a consequências da globalização.

Para Gomes (2006), a educação possui papel fundamental na formulação de nova mentalidade relacionada a consumo, mostrando-se importante elemento para que o desenvolvimento sustentável, calcado na conscientização da população em relação à sua responsabilidade social, seja alcançado. Assim, sua vertente ambiental desempenharia papel de destaque no processo, subsidiando a formação de indivíduos conscientes da importância de novos hábitos de consumo e, embora ela não constituísse a solução de todos os problemas, passaria a ter novo significado, com impactos importantes para a construção da sustentabilidade econômica de uma sociedade justa, capaz de ser efetivamente solidária em relação à geração presente e às futuras.

Por fim, podem ser mencionados trabalhos cujo foco recai sobre a análise de energia e sustentabilidade.

Goldemberg (2007) argumentou que o aumento da participação de fontes de energia renovável na matriz energética no Brasil teria sido uma das principais formas de se alcançar o desenvolvimento sustentável. Isso teria ocorrido em virtude de menor dependência de combustíveis fósseis, transformação que além de ser menos poluente, contribuiu para a redução dos impactos sobre as causas das mudanças climáticas. As tecnologias para geração de energia renovável estariam ainda em fase de desenvolvimento e amadurecimento, mas já era possível destacar o caso do etanol, que tem se mostrado alternativa viável, não só em termos econômicos, mas também, como exemplo de execução correta das políticas ambientais.

Oliveira e Porto (2004) procuraram discutir a relação entre desenvolvimento sustentável e utilização de recursos naturais no crescimento econômico do Brasil. O trabalho destacou a importância de se considerar indicadores de disponibilidade de recursos naturais, bem como a questão ambiental na avaliação da trajetória de desenvolvimento do País. Sua tese foi a de que o meio ambiente vem sofrendo efeitos negativos da atividade econômica. Um modelo econômico foi utilizado para verificar a relação entre a expansão agrícola e a renda per capita de estados brasileiros de 1970 a 1996. Dados os diferentes contextos de modelagem, um dos resultados obtidos sugeriu a existência de relações significativas entre esses dois indicadores. Com isso, os autores concluíram que a ferramenta poderia comprovar um padrão no qual o uso e a exploração de recursos naturais teriam dirigido, de forma significativa, o crescimento econômico nesse período.

Rosa (2007), por sua vez, investigou a questão da energia renovável no plano local em pequenas comunidades das regiões Norte e Nordeste do País. Assim, verificou se as políticas direcionadas para este

objetivo estariam sendo eficazes com relação a práticas de implementação, mobilização econômica e social e gestão do empreendimento. O diferencial desse estudo consistiu na identificação de fatores regionais específicos para os resultados alcançados e, com isso, na tentativa incipiente de se conceber um modelo de gerenciamento com potencial de aplicação generalizada e mais eficaz. Para isso, o autor utilizou metodologia baseada em estudos de casos, pesquisa bibliográfica e entrevistas. Cinco tipos de fontes de energia elétrica foram considerados:

- resíduos de açaí gaseificados,
- óleo de palma – dendê – *in natura*,
- híbrida solar-eólica-diesel,
- solar fotovoltaica e
- óleo de andiroba *in natura*.

O principal resultado de tal pesquisa foi que o gerenciamento, da forma como foi desenhado e aplicado, está diretamente associado ao resultado dos projetos que não tiveram continuidade por não contemplarem estratégia com horizonte de tempo além da fase de implantação.

## 7.5 CONCLUSÃO

Os esforços já realizados na identificação dos efeitos de mudanças climáticas trouxeram importantes *insights* iniciais para o caso brasileiro. Ao mesmo tempo, criaram uma base para que novos esforços sejam empreendidos, no sentido de se promover melhorias nas estratégias de avaliação. Esforços têm sido realizados para a construção de uma forma mais ampla de avaliação dos efeitos de mudanças climáticas que integre diversos fatores, entre os quais o econômico, aspectos relacionados ao uso da terra, produção e consumo de energia, recursos hídricos, característica de solos e vegetação. Grande parte de tais esforços se alinha à proposta de construção de um modelo climático brasileiro, cuja ampla capacidade de avaliação dependerá, em grande medida, da ligação dessas ferramentas computacionais e informações específicas fornecidas por cada equipe envolvida no tema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, S. A.; N. S. Diffenbaugh; T.W. Hertel, , 2009: Climate volatility deepens poverty vulnerability in developing countries. *Environmental Research Letters*, v. 4.

Alves, H. F., 2009: Metodologias de integração de dados sociodemográficos e ambientais para análise da vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas no contexto das mudanças climáticas. In: *População e Mudança Climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. [Hogan, D. J. e E. Marandola, (Orgs.)], Campinas: NEPO; Brasília: UNFPA.

Ames, B. e M. E. Keck, 1998: The Politics of Sustainable Development: Environmental Policy Making in Four Brazilian States. *Journal of Interamerican Studies and World Affairs*, v. 39, n. 4.

Assis, R. L. , 2006: Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com case na agroecologia. *Revista de Economia Aplicada*, v. 10, n. 1, p. 75-89.

Assuncao, J. J. e F.C. Feres, 2008: Climate Migration. In: *Latin American and Caribbean Economic Association Annual Meeting, 2008*, Rio de Janeiro. Anais Eletrônicos. Disponível em: <<http://www.wbmeets.com/files/papers/LACEA-LAMES/2008/361/Climate%20Migration%20-%20LACEA.pdf>>

Azzoni, C. R.; E.A. Haddad; F. Kanczuk, 2009: Climate Change and Energy Use in Long-Run Growth in Brazil. 12th Annual Conference on Global Economic Analysis, Santiago, 2009. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/4413.pdf>>.

Baettig, M. B., M. Wild, D. M. Imboden, 2007: A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L01705, doi:10.1029/2006GL028159.

Barbieri, A. F.; E. Domingues; B. L. Queiroz; R. M. Ruiz; J. I. Rigotti; J. A. M. Carvalho; M. F. Resende, 2010: Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025-2050. *Population and Environment*, v. 31, n. 5.

Barbosa, E. C. P., 2011: Mudanças Climáticas e o Padrão do Uso do Solo no Brasil. Dissertação (Mestrado em Economia) – IPE, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

Barcellos C., A.M.V. Monteiro, C. Corvalan, H.C. Gurgel, M.S. Carvalho, P. Artaxo, S. Hacon, V. Ragoni, 2009: Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*; 18(3): 285-304.

Baroni, M., 1992: Ambiguidades e deficiências no conceito de desenvolvimento sustentável. *Revista de Administração de Empresas*, v. 32, n.2, p.14-24.

Beduschi Filho, L. C. e R. Abramovay, 2003: Desafios para a gestão territorial do desenvolvimento sustentável no Brasil. In: Anais do XLI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural (SOBER), Juiz de Fora.

Bosello, F., R. Roson, R.S.J Tol, 2006: Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health, *Ecological Economics*, v.58, Issue 3, p.579-591.

Bouwer, L. M., 2010: Disasters and climate change: analyses and methods for projecting future losses from extreme weather. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra) – van de faculteit der Aard- en Levenswetenschappen (Faculdade de Ciências da Terra e da Vida) – Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdã, 2010.

Brown, I. F.; W. Schroeder; A. Setzer; M. Maldonado; N. Pantoja; A. Duarte; J. Marengo, 2006: Fires in southwestern Amazonian rain forests. *EOS Transactions*, v. 87, n.26, p. 253-264.

Camargo, A.; J. P. Capobianco; J. A. P. Oliveira, (Coord.), 2002: Meio Ambiente Brasil: Avanços e Obstáculos Pós-Rio-1992. São Paulo: Editora Estação Liberdade. Parte I e Evolução das Resoluções da Rio-92, p. 21-48.

Carmo, M. S. A, 1998: produção familiar como locus ideal da agricultura sustentável. *Agricultura em São Paulo*, v. 45, n. 1, p. 1-15.

Cavalcanti, C. (Org.), 1994: Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil, 1994.

Caviglia, J. L. e J. R. Kahn, 2011: Diffusion of Sustainable Agriculture in the Brazilian Tropical Rain Forest: A Discrete Choice Analysis. *Economic Development and Cultural Change*, v. 49, n. 2.

Cline, W. R. , 2007: Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country, Washington, D.C., Center for Global Development.

Coelho-Netto, A. L.; A. D. Avelar; W. A. Lacerda , 2009: Landslides and Disasters in Southeastern and Southern Brazil. *Developments in Earth Surface Processes*, v. 13, p. 223-243.

Confalonieri, U.E.C., 2008: Mudança climática global e saúde humana no Brasil, Parcerias Estratégicas. Brasília, DF. N. 27.

Costa, A. B. , 2000: Desenvolvimento Sustentável e Regulação Ambiental no Setor Petróleo: Aspectos da legislação Ambiental no Brasil. In: Anais do Latin American Studies Association (LASA), Miami.

Domingues, E. P.; A.S. Magalhães, R. M. Ruiz, 2008: Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. Belo Horizonte: CEDEPLAR, Texto para discussão 340.

Easterling, D. R.; J. L. Evans; P. Y. Groisman; T. R. Karl; K. E. Kunkel; P. Ambenje, 2000: Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 81, n. 3.

EMBRAPA, 2008: Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. 2008. Disponível em: <[www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf](http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf)>. Acesso em: 18 de agosto de 2010.

Féres, J.; E. Reis; J. Speranza, 2009: Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: Anais do XXXVII Encontro Nacional de Economia, Foz do Iguaçu.

Ferreira Filho, J. B. S. e M. Horridge , 2010: Climate Change Impacts on Agriculture and Internal Migrations in Brazil. 13th Annual Conference on Global Economic Analysis, Penang, Malaysia. Disponível em: < <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/5082.pdf> > .

FIPE/FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011: Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas sobre a Economia Mineira, Belo Horizonte.

Garcia, A. M.; K.O. Vieira; J. P. Winemiller; A. M. Grimm , 2004: Comparison of 1982-1983 and 1997-1998 *El Niño* Effects on the Shallow-water Fish Assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuaries*, v. 27, n. 6, p. 905-914.

Goldemberg, J., 2007: Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science*, v. 315, p. 808-810.

Gomes, D. V., 2006: Educação para o consumo ético e sustentável. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 16.

Haddad, E. A.; E.S. Almeida; C. Azzoni; E.P. Domingues; J.J.M. Guilhoto; F. Kanczuk; F.S. Perobelli, 2011: Análise Macroeconômica. In: *Economia da Mudança do Clima no Brasil*. [Margulis, S.; C.B.S. Dubeux; J. Marcovitch, (Org.)]. Rio de Janeiro: Synergia, 197-230.

Haines, A., R.S. Kovats , D. Campbell-Lendrum, C. Corvalan, 2006: Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health, *Public Health*, v.120, Issue 7, p.585-596.

Harlan, S. L. e D.M. Ruddell, 2011: Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation, *Current Opinion in Environmental Sustainability*. v.3, Issue 3, p.126–134

Hogan, D. J., 2009: População e mudanças ambientais. In: *População e Mudança Climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. [Hogan, D.J. e E. Marandola, (Orgs.)], Campinas: NEPO; Brasília: UNFPA, 2009.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. e the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 p.

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Parry, M. L., O. F. Canziani; J. P. Palutikof; P. J. Van Der Linden; C. E. Hanson, (Eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, UK, p. 7-22.

Krol, M. S. e A. Bronstert, 2007: Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil, *Environmental Modelling & Software*, v. 22, n. 2, p. 259-268.

Lobell, D. B.; M. B. Burke; C. Tebaldi; M. D. Mastrandrea; W. P. Falcon; R. L. Naylor, 2008: Prioritizing climate change adaptation needs for Food Security in 2030. *Science*, Washington, v. 319, p. 607-610.

Marandola, E., 2009: Tangenciando a Vulnerabilidade. In: *População e Mudança Climática: Dimensões humanas das mudanças ambientais globais*. [Hogan, D. J. e E. Marandola, (Orgs.)], Campinas: NEPO; Brasília: UNFPA.

Marengo, J. A. 2009a : Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. *Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas*, INPE, n. 8.

Marengo, J.A., 2009b: Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: [Marengo, J. A., R. Schaeffer; D. Zee; H.S. Pinto] *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS*.

Marengo, J. A., 2008: Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil, *Parcerias Estratégicas*. Brasília, DF. N. 27.

Margulis, S.; C.B.S. Dubeux; J.Marcovitch, (Org.), 2011a. : *Economia da Mudança do Clima no Brasil*. Rio de Janeiro: Synergia.

Margulis, S.; C.B.S. Dubeux; J.Marcovitch, (Coord.), 2011b: *The Economics of Climate Change in Brazil: Costs and Opportunities*, São Paulo: FEA/USP.

Marques, A. D. e A. C. Cunha , 2008: Valoração de danos sócio-econômicos causados por inundação no município de Laranjal do Jarí no ano de 2000. In: *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, 2008.

Marx, A. M.; I. C. Paula; F. Sum, 2010: Sustainable consumption in Brazil: Identification of preliminary requirements to guide product development and the denition of public policies. *Natural Resources Forum*, v. 34, p. 51–62.

Mcallister, L. K., 2008: Sustainable Consumption Governance in the Amazon. *Environmental Law Reporter News & Analysis*, Forthcoming, 2008.

- Mcmichael, A.J., R.E. Woodruff, S. Hales, 2006: Climate change and human health: present and future risks, *The Lancet*, v.367, Issue 9513, p.859-869.
- Mendelsohn, R.; A. Dinar; A. Sanghi, 2001: The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture. *Environment and Development Economics*, v. 6, n. 1, p. 85-101.
- Moraes, G. I., 2010: Efeitos econômicos de cenários de mudanças climáticas na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. 277 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- Núcleo De Assuntos Estratégicos Da Presidência Da República, 2005: Cadernos NAE 2005, Presidência da República, Brasília.
- Oliveira, L. L. e S. S. PORTO, 2004: O Desenvolvimento Sustentável e a contribuição dos recursos naturais para o crescimento econômico: uma aplicação para o Brasil. Texto para discussão: UFRGS/FCE/PPGE. Porto Alegre, 2004.
- Pattanayak, S.K., M.T. Ross, B.M. Depro, S.C. Bauch, C. Timmins, K.J. Wendland, K. Alger, 2009: Climate Change and Conservation in Brazil: CGE Evaluation of Health and Wealth Impacts. *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*. v.9: Iss. 2
- Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway, J.A. Foley, 2005: Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438, 310-317.
- Peterson, A. T. e J. Shaw, 2003: Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects, *International Journal for Parasitology*, v. 33, Iss.9, p. 919-931.
- Portilho, F., 2004: Consumo verde, consumo sustentável e a ambientalização dos consumidores. In: Anais do 2º Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS), Indaiatuba, 2004.
- Rebello, E. e F. Assis, 2010: Eventos Extremos Climáticos em 2008 no Brasil e seus Impactos na Produtividade e Produção de Algumas Culturas. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém.
- Ribeiro, W. C., 2008: Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. Parcerias Estratégicas. Brasília, DF. N. 27.
- Rosa, V. H. S., 2007: Energia Elétrica Renovável em Pequenas Comunidades no Brasil: em busca de um Modelo Sustentável. 440 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão Ambiental) – Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2007.
- Roson, R. e D. Van Der Mensbrugge, 2010: Climate Change and Economic Growth: Impacts and Interactions. 13th Annual Conference on Global Economic Analysis, Malaysia. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/4928.pdf>>.
- Rovere, E.L.L., 2002: Climate change and sustainable development strategies: a Brazilian perspective. Climate Change and Development OECD Working Paper.
- Sanghi, A., D. Alves; R. EvENSON; R. Mendelsohn, 1997: Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. *Economia Aplicada*, v.1, n.1,.

Sanghi, A. e R. Mendelsohn, 2008: The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, v. 18, n. 4, p. 655-665.

SIAGUA - Sistema Iberoamericano de Información sobre el Agua, 2005: Monografía sobre eventos extremos. Documento da Conferência Ibero-americana de Directores Gerais da Água, 2005.

Silva Dias, M.A.F.; C. Nobre; J. Marengo; M.L.G. Rodrigues; M. Lima; R. B. Minuzzi, 2009: As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando a melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE.

Timmins, C., 2006: Endogenous land use and the Ricardian Valuation of climate change. *Environmental & Resources Economics*, v. 33, n.1, p. 119-142.

Timmins, C., 2007: If you cannot take the heat, get out of the cerrado recovering the equilibrium amenity cost of nonmarginal climate change in Brazil. *Journal of Regional Science*, v. 47, n. 1, p. 1-25.

Tompkins, E. L.; M .C. Lemos; E. Boyd, 2008: A less disastrous disaster: Managing response to climate-driven hazards in the Cayman Islands and NE Brazil. *Global Environmental Change*, v. 18, n. 4, p. 736-745.

Toni, F.e E. Holanda Jr, 2008: The effects of land tenure on vulnerability to droughts in Northeastern Brazil, *Global Environmental Change*, v. 18, n. 4, p. 575-582.

UNEP - United Nations Environment Programme, 2007: *IPCC Report Climate Change Hits Hard On Latin America And The Caribbean*.



## CAPÍTULO 8

### IMPACTOS REGIONAIS, ADAPTAÇÃO E VULNERABILIDADE AO CLIMA E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE REGIONAL NO BRASIL

**Autores principais:** Saulo Rodrigues Filho – CDS/UNB, Dirceu Silveira Reis Junior – UNB, Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins – FUNCEME, Ana Maria H.de Avila – UNICAMP, Felipe Gustavo Pilau – UFSM, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer – CETESB.

**Autores colaboradores:** Conceição de Maria Albuquerque Alves – UnB, Natacha Nogueira Britschka – SVMA, Diego Pereira Lindoso – UnB e Patrícia Mesquita – UnB.

**Autores revisores:** Paulo Caramori – IAPAR e Nathan dos Santos Debortoli – UnB.

## ÍNDICE

<b>8.1. REGIÃO NORTE</b>	<b>340</b>
8.1.1 INTRODUÇÃO	340
8.1.2 AGRONEGÓCIO	340
8.1.3 MUDANÇAS NO USO DA TERRA	341
8.1.4 MUDANÇAS NO CICLO HIDROLÓGICO	342
8.1.5 O DESTINO DA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA	342
8.1.6. ATRIBUTOS DA VULNERABILIDADE: SENSIBILIDADE E CAPACIDADE ADAPTATIVA	344
8.1.6.1 VARIABILIDADE E CENÁRIOS CLIMÁTICOS	345
8.1.6.2. ASPECTOS-CHAVE DA VULNERABILIDADE REGIONAL	347
8.1.6.3 VULNERABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR	348
<b>8.2. REGIÃO NORDESTE</b>	<b>349</b>
8.2.1 INTRODUÇÃO	349
8.2.2. RECURSOS HÍDRICOS	350
8.2.2.1. ESTRESSE CLIMÁTICO	350
8.2.2.2 TENDÊNCIAS CORRENTES E DO PASSADO	351
8.2.2.3. CENÁRIO DE MUDANÇAS	352
8.2.3. AGRICULTURA	357
8.2.3.1. AGRICULTURA FAMILIAR	359
8.2.4. ENERGIA	360
8.2.5. RECURSOS COSTEIROS	362
8.2.6. SAÚDE	362
8.2.7. DESERTIFICAÇÃO	364
8.2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	364
<b>8.3. REGIÃO SUL</b>	<b>365</b>
8.3.1. INTRODUÇÃO	365
8.3.2. CARACTERÍSTICAS PECULIARES DA REGIÃO – MUDANÇAS NO USO DA TERRA	366
8.3.3 VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	369
8.3.4 REGISTROS HISTÓRICOS	371
8.3.5 CENÁRIOS CLIMÁTICOS	372
8.3.6 MUDANÇA NO CICLO HIDROLÓGICO	373
8.3.7 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE SAÚDE HUMANA	375
8.3.8 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E SEGURANÇA ALIMENTAR	376
8.3.9 SÍNTESE DAS ANÁLISES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	380
<b>8.4. REGIÃO SUDESTE</b>	<b>380</b>
8.4.1. INTRODUÇÃO	380
8.4.2 CARACTERÍSTICAS PECULIARES DA REGIÃO – MUDANÇAS NO USO DE TERRA	382
8.4.3 VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	385
8.4.4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS	386
8.4.5 MUDANÇA NO CICLO HIDROLÓGICO	387
8.4.6 REGISTROS HISTÓRICOS	388
8.4.7 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE SAÚDE HUMANA	389
8.4.8 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E SEGURANÇA ALIMENTAR	390
8.4.9 SÍNTESE DAS ANÁLISES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	492
LACUNAS DE INFORMAÇÃO	
<b>8.5. REGIÃO CENTRO-OESTE</b>	<b>393</b>

8.5.1 INTRODUÇÃO	393
8.5.2. MUDANÇAS NO USO DA TERRA	394
8.5.3. VARIABILIDADE E CENÁRIOS CLIMÁTICOS	395
8.5.3.1 ASPECTOS-CHAVE DA VULNERABILIDADE REGIONAL	397
8.5.4. AGRICULTURA FAMILIAR	397
8.5.5. AGRONEGÓCIO	398
8.5.6. EXTRATIVISMO	399
8.5.7. IMPACTOS SOBRE A SAÚDE HUMANA	400
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>401</b>

## 8.1. REGIÃO NORTE

### 8.1.1 INTRODUÇÃO

A Região Norte contém a maior extensão única e contínua de floresta tropical do planeta sendo uma de suas áreas mais ricas em estoque de biodiversidade. Atualmente, está ameaçada pelo desmatamento, responsável pela erosão genética e emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Constitui-se, em pleno século XXI, em desafio ambiental nos níveis local, nacional e global. Para se entender as atuais políticas que a afetam, é preciso considerar duas dimensões importantes: a continuidade histórica e a escala geográfica.

Devido a suas dimensões continentais e riqueza percebida, o bioma Amazônia, que recobre essa região do País por inteiro, tem sido considerado como fonte de recursos naturais ilimitados que podem ser utilizados para suprir necessidades suas e de todo o mundo que incluem energia, madeira, minerais e terras para assentar agricultores, seja em pequena escala ou por meio de grandes projetos agropecuários.

Apesar das mudanças que a política brasileira tem experimentado nos últimos 40 anos, a história de políticas públicas para a região revela mais continuidade do que ruptura. Logo após o início do governo militar em 1964, foram estabelecidas políticas de ocupação do território segundo doutrina de segurança nacional, que se materializou em duas frentes: por um lado, a estratégica, possibilitando ocupação mais densa do Norte do País, a fim de garantir a soberania nacional sobre sua vasta extensão e, por outro, como válvula de escape face à crescente demanda por terras em outras partes do Brasil, através da distribuição de terras públicas para projetos de colonização.

### 8.1.2 AGRONEGÓCIO

Diversos estudos apontaram a pecuária como principal vetor do desmatamento no bioma Amazônia, tendo sua expansão fundamentada na viabilidade financeira de médios e grandes projetos do setor (Margulis, 2003; Veiga *et al.*, 2004; Barreto *et al.*, 2006; 2008). Outros autores afirmaram que os agentes intermediários, que se antecipam à criação de gado e são diretamente responsáveis pelo desmate, têm seu custo de oportunidade parcialmente compensado pela garantia de venda futura das terras aos pecuaristas (Hecht, 1992; Margulis, 2003).

Estima-se que os custos ambientais da pecuária no bioma Amazônia sejam de US\$ 100 ao ano por hectare, superando o retorno econômico avaliado pelo Banco Mundial em US\$ 75/ano/ha (Margulis, 2003). A avicultura e suinocultura também são de grande relevância na produção animal da região, sendo que o Norte mato-grossense compreendeu 58% da criação de suínos por esse estado federativo, gerando toda uma estrutura e um suporte a esta atividade, desde a produção de ração para porcos até de produtos veterinários.

Segundo Barreto (2006), o número de cabeças de gado no bioma Amazônia aumentou 130% entre 1990 e 2003, sendo os estados de Mato Grosso (MT), Tocantins (TO) e Rondônia (RO) responsáveis por 86% desse contingente. Somente o primeiro apresentava, em 2006, cerca de 26 milhões de animais (IBGE, 2012), dos quais 40% se encontravam em sua porção norte, estimulando o estabelecimento de polos frigoríficos e de laticínios na região.

No Brasil, a soja representa, desde os anos 1980, um vetor de colonização notadamente preponderante nos estados da Região Centro-Oeste e, hoje em dia, em partes da Região Norte, como nos estados de Rondônia, Pará e Roraima. O Estado de Mato Grosso é, atualmente, o maior produtor do Brasil com 5,1 milhões de hectares semeados em 2007 e 15,3 milhões de toneladas (t) produzidas, o que representa um quarto da produção brasileira (IBGE, 2012).

Entretanto, a expansão da soja continua ocorrendo sempre mais ao Norte, ainda que timidamente, suplantando os territórios especialmente ao longo da BR-163, que liga Cuiabá a Santarém (Dubreuil *et al.*, 2012). Nos últimos anos, observa-se nítida redução de novas áreas abertas para a agricultura, evolução, sem dúvida, mais ligada à questão do preço do produto que ao real impacto das políticas de preservação. Contudo, nota-se que as superfícies dispostas para a cultura são minoritárias no processo de transformação da ocupação do solo (Morton *et al.*, 2006) e que a essência do desmatamento continua ligada à extensão das áreas de pastagem. Vários autores destacam, o fato de a expansão da cultura citada ter por consequência o caminhamento dos criadores de gado para locais situados mais ao Norte da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (Fearnside, 2001).

Portanto, a agricultura assume papel fundamental na compreensão de problemas de uso de terra no bioma Amazônia. Diante de um mercado mundial de alimentos em franco crescimento, associado ao aumento internacional dos preços de commodities, a perspectiva de se ampliar as exportações de produtos agrícolas brasileiras vem impulsionando os cultivos em direção à floresta. A safra nacional no biênio 2007 a 2008 apresentou produção recorde, com crescimento de 7,8% em relação ao período anterior, com destaque para a soja, cuja safra foi de 59,5 milhões de toneladas (IBGE, 2012).

A viabilidade econômica da agricultura de exportação encontra-se no estabelecimento de uma infraestrutura de escoamento e armazenagem da produção. Durante a década 1990, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) financiou investimentos privados em armazéns ao longo da BR-163, próximos aos grandes centros produtivos. Formas tradicionais de comercialização foram substituídas por novas, tais como a aquisição antecipada de insumos agrícolas em troca de parte da produção futura, estabelecendo uma relação de dependência entre os produtores rurais e as grandes agroexportadoras. Nesse contexto, duas empresas ganharam destaque: a Bunge Brasil e a Cargill Brasil.

### 8.1.3 MUDANÇAS NO USO DA TERRA

As florestas tropicais são responsáveis pelo equilíbrio climático em escala global, prestando inúmeros serviços ambientais aos ecossistemas (Sheil e Murdiyarso, 2009; Makarieva *et al.*, 2009; 2012). A partir das profundas mudanças de uso da terra observadas na Região Norte, principalmente a partir de meados do século XX, sua função reguladora do clima global, regional e local se encontrou ameaçada. Nesse sentido, elas têm sido objeto de inúmeros estudos que contemplam o ciclo do carbono e suas relações com o Homem e a biosfera (Malhi *et al.*, 2004; Moutinho e Schwartzman, 2005, Fearnside, 1999), com destaque para o Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MCTI/INPA).

No bioma Amazônia, o desmatamento e a perda da biomassa afetam diretamente a manutenção dos sistemas produtivos agrícolas, pois expõem a superfície do solo resultando em erosão e compactação de terra. Paralelamente, o desmatamento propicia a redução da água infiltrada no solo e o incremento do escoamento superficial, alterando a hidrologia local e contribuindo para o assoreamento de lagos e lagoas, além de reduzir, em prazos médio e longo, o volume de nascentes e pequenos corpos d'água.

Simultaneamente, a supressão da cobertura vegetal afeta processos ecológicos críticos para a manutenção da agricultura e dos ecossistemas locais, tornando-os mais instáveis e reduzindo sua capacidade de resposta e recuperação a distúrbios ambientais (Eisenhauer e Schädler, 2010). Por exemplo, a ciclagem de nutrientes, cuja regulação depende do balanço entre sua absorção pela vegetação, a formação de serapilheira e sua taxa de decomposição (Milton e Kaspari, 2007).

Já o uso do fogo – forma tradicional de manejo de pastagens e roçados– potencializa a sensibili-

dade da produção familiar e dos ecossistemas locais tanto a impactos devidos à estiagem quanto àqueles decorrentes de desajuste na ciclagem de nutrientes (Bustamante *et al.*, 2006).

Portanto, áreas desprovidas de cobertura vegetal apresentam valores altos de albedo, o que implica maior reflexão de energia incidente quando comparada às de áreas florestadas (Marengo, 2006). Logo, a baixa umidade estocada nas terras desmatadas resulta em perdas modestas de energia na forma de calor latente – o fenômeno de evapotranspiração – e grandes desperdícios, na forma de calor sensível – o aumento de temperatura–, ao contrário do que se passa nas florestas, o que explica o aquecimento relevante do ar próximo à superfície do solo em pastagens e campos agrícolas, onde a lavoura e o pasto sofrem maior dessecação.

#### 8.1.4 MUDANÇAS NO CICLO HIDROLÓGICO

Nas florestas tropicais úmidas, especialmente do bioma Amazônia, a radiação direta é fortemente absorvida pela vegetação, o que mantém o mesmo grau de umidade da área de solo à copa das árvores. Por conseguinte, pode-se afirmar que o bioclima desse tipo de cobertura de solo é determinado pelo funcionamento da comunidade vegetal. Nela, a radiação incidente sobre a folha é convertida em calor que, por sua vez, é transformado em transpiração, permitindo assim, a ciclagem da água em áreas florestais contínua. Em estresse hídrico, os estômatos se fecham, não respondendo a fatores externos e prejudicando a absorção de gás carbônico pela árvore (Ozanne *et al.*, 2003; Larcher, 2000).

A evapotranspiração da vegetação é responsável por parte substancial das chuvas locais (Bonan, 2008). Aguiar (2006), no âmbito do programa LBA, observou que esse fenômeno respondeu, durante a estação chuvosa, por 75% a 85% da radiação solar incidente sobre áreas de floresta do Sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas tendo sobrado apenas 25% a 15% para aumentar a temperatura de ar e superfície. Estima-se que, na Floresta Amazônica, entre 25% e 50% da precipitação em uma determinada localidade provêm da própria vegetação subjacente (Eltahir e Bras, 1994). Durante o período de estiagem, esse processo responde pelo volume majoritário de chuva local, enquanto que, fora dele, sua participação, apesar de significativa, é mais modesta.

Evidências arqueológicas sugerem ter ocorrido incêndios catastróficos no bioma Amazônia durante grandes eventos de *El Niño*, registrados por quatro vezes ao longo dos últimos 3.500 anos: em 1500, 1000, 700 e 400 a.C. (Meggers, 1994). O aumento do início desses focos, juntamente com o incremento de inflamabilidade florestal madeireira durante os anos de seca resultaram em substanciais incursões de queimas de floresta em pé no Leste e no Sul da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (Uhl e Buschbacher, 1985; Uhl e Kauffman, 1990; Cochrane e Schulze, 1999; Cochrane *et al.*, 1999, Nepstad *et al.*, 1999). Prognostica-se então, que os períodos de estiagem conduzirão a maior combustão de clareiras na região, contribuindo para a emissão de fumaça e material particulado que funcionarão como fontes de nutrientes de origem eólica para o meio florestal (Talbot *et al.*, 1990).

Caso a frequência de eventos *El Niño* aumente em consequência do aquecimento global (Timmermann *et al.*, 1999), as florestas libertarão suas grandes reservas de carbono para a atmosfera. O futuro da acumulação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e, conseqüentemente, o momento em que a concentração atinja níveis considerados perigosos, depende de contínua absorção desse gás pela *atmosfera*, com importante contribuição de emissão a partir da Floresta Amazônica para tal processo. É importante salientar que, cada grau de temperatura alterado em ambiente tropical é percebido com maior impacto por suas espécies do que por aquelas existentes em áreas temperadas (Janzen, 1967, Bonan, 2008).

#### 8.1.5 O DESTINO DA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA

As florestas tropicais, que compreendem aproximadamente metade das áreas florestais do globo terrestre são objeto de intenso debate político e científico sobre mitigação de mudanças climáticas, dado seu papel como reservatório natural de carbono, assim como devido às atuais pressões antrópicas sobre ambientes florestais. Os maiores estoques desse elemento químico na Terra se concentram em áreas florestais que, por unidade de área, são capazes de comportar de 20 a 50 vezes mais desse componente e do que as formas simplificadas de cobertura de solo, como a dos pastos e da agricultura (Moutinho e Schwartzman, 2005).

Em consequência, o desmatamento e a modificação de *habitat* biologicamente diversificados de florestas tropicais têm contribuído de forma significativa para o aquecimento global, além de comprometer a disponibilidade de serviços ambientais, ameaçar a biodiversidade e prejudicar a sobrevivência de povos tradicionais que dependem diretamente da cobertura vegetal com a qual convivem (Rodrigues-Filho *et al.*, 2008). Em um contexto de mudanças do clima, a Floresta Amazônica é foco de preocupação, tanto por conta de seus severos impactos projetados sobre a região, como por sua importância para a mitigação do fenômeno climático, haja vista ser ela, a maior área florestal tropical remanescente no mundo.

A Floresta Amazônica é responsável por emitir anualmente centenas de milhões de toneladas de carbono à atmosfera. O desmatamento abre clareiras em seu interior, fazendo com que a incidência de radiação solar penetre diretamente na vegetação, tornando-a mais seca (Nepstad *et al.*, 1999; 2001). O aquecimento global, por sua vez, contribui para sua suscetibilidade a incêndios, à medida que aumenta a intensidade de fenômenos como *El Niño*, que provoca elevação de temperatura do ar e episódios de seca prolongados ao Norte da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (Marengo *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2011; Dessay *et al.*, 2004).

Os incêndios florestais em anos de ocorrência de *El Niño* podem dobrar o volume emitido de carbono (Nobre, 2001). Portanto, as florestas tropicais têm sido objeto de inúmeros estudos que contemplam seu ciclo emissor de poluente e respectiva relação com a atmosfera e a biosfera (Betts e Dias, 2010).

De acordo com 23 modelos do IPCC, a intensificação da estação seca na região Sudeste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas tem 80% de probabilidade de ocorrer. Para Malhi *et al.* (2004), alterações relativas a precipitação durante esse período serão provavelmente, o fator crítico e determinante para o destino do clima no bioma Amazônia. Porém, até o momento, não se identificou tendências a esse respeito para sua porção meridional, que se mostrem consistentes por múltiplos decênios.

Nesse sentido, o desmatamento pode aumentar a convecção sobre áreas de floresta. Entretanto, se grandes áreas forem desmatadas, haverá perda de precipitação produzida pelo ciclo hidrológico local. A remoção de 30 a 40% da vegetação induzirá essa área florestal a conviver com um clima mais seco e, portanto, as chuvas da estação seca se tornarão essenciais para a determinação de padrões vegetais locais e de zonas de transição entre biomas na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas.

Para se mitigar esses cenários, é necessário que o desmatamento da floresta seja mantido em apenas 30% a 40% de sua área total. Notadamente no bioma Amazônia, o fator vegetação é responsável por grande parte das chuvas locais e regionais, conforme representado por modelos atmosféricos e terrestres tropicais, como o de Shukla *et al.*, (1990), posteriormente aperfeiçoado por Nobre *et al.* (1991).

No primeiro deles, a partir de simulações climáticas e terrestres, áreas da Floresta Amazônica foram substituídas por pasto. E, a partir dessas análises foi possível se identificar características hipotéticas do que poderia ocorrer, caso a cobertura florestal fosse alterada, tais como, aumento de evapo-

transpiração, decréscimo de precipitação; prolongamento da estação seca e reestabelecimento de vegetação difícil nas terras desmatadas.

Tendo sido identificados avanços com relação ao monitoramento e ao controle do desmatamento no bioma Amazônia, novos instrumentos de gestão ambiental, tais como o de pagamentos por serviços ambientais (PSA) surgem como um caminho promissor para a promoção de conservação, visando à mitigação e à adaptação a mudanças climáticas. Valores que cubram o custo de oportunidade, ao não se converter áreas florestais em pastos ou campos agrícolas e que, eventualmente, fomentem a recuperação de terras degradadas devem pautar os investimentos necessários. Micol et al. (2008) estimou entre R\$ 24 e R\$ 168/ha/ano, o custo de conservação em propriedades rurais no Estado do Mato Grosso.

Por fim, o risco de vazamento do desmatamento – sua expansão para áreas não contempladas pelo projeto –, por terras vizinhas e em processo de conservação, ainda é de difícil quantificação, o que explicita a cautela que se deve ter diante dos benefícios propiciados pela adoção do mecanismo de redução de emissões por desmatamento e de degradação (REDD).

### 8.1.6. ATRIBUTOS DA VULNERABILIDADE: SENSIBILIDADE E CAPACIDADE ADAPTATIVA

O conceito de sensibilidade vem sendo amplamente trabalhado na literatura especializada. Füssel (2007) a definiu como o grau em que um sistema é instantaneamente afetado por uma perturbação e a associou a fatores internos biofísicos. Já Kaperson et al. (2005) a conceituaram como o grau de dano que um sistema de ecologia social experimenta quando sujeito a determinada exposição.

Por sua vez, Turner et al. (2003) entenderam o termo como grandeza que reflete a magnitude da reação do sistema de ecologia social a fator ao qual seja exposto. Segundo os autores, condições humanas e ambientais do sistema definem sensibilidade. De forma semelhante, Smit e Wandel (2006) afirmam que, exposição e sensibilidade

*são propriedades praticamente inseparáveis de um sistema e são dependentes da interação entre características do sistema e de atributos do estímulo climático.*

De acordo com eles, a sensibilidade de uma comunidade é determinada pelas características de ocupação e subsistência – o local do assentamento, o tipo de moradia, as atividades produtivas e as formas de uso de terra.

Do ponto de vista social, a demografia é fator que influencia a sensibilidade. O crescimento da população aumenta o número de pessoas expostas a distúrbios e pode, eventualmente, criar tensões sociais.

Por sua vez, a proporção de idosos e crianças reflete a sensibilidade do sistema vulnerável a doenças– ou seja, da família e da comunidade. Conflitos sociais também podem emergir da disputa por recursos naturais de uso coletivo, tal como os pesqueiros, podendo levar ao que Hardin chamou de *tragédia dos comuns* (Hardin, 1968).

Já na perspectiva institucional, a regularização fundiária é um fator-chave para a sensibilidade. Produtores rurais desprovidos de documentos de posse ou propriedade de terra são mais sensíveis, pois não conseguem viabilizar a obtenção de comprovantes de regularidade de seus imóveis rurais, tais como os de cadastro (CAR) e licença ambiental (LAR).

De forma semelhante, a inserção competitiva no mercado demanda regularização da terra. É interessante observar que ela constitui sensibilidade relativamente recente, há algumas décadas in-



xistente ou insignificante, pois em um contexto desconectado dos mercados regionais e no qual o Estado esteve ausente ou presente de modo fraco, a produção e as relações de troca independiam de documentação que comprovasse posse ou propriedade imobiliária.

A capacidade adaptativa, por sua vez, significa o potencial de reação e prevenção dos sistemas sociais e ecológicos antes, durante e após um distúrbio. Está associada à possibilidade de inovação, aprendizado e auto-organização do sistema. Depende da disponibilidade de opções de adaptação e da habilidade de transitar entre as mesmas nele apresentadas – a exemplo de comunidade e ecossistema. As diversas conceituações contidas na literatura especializada se relacionam a diversidade – genética, fenotípica, cultural e tecnológica – e a aspectos político-institucionais de governança.

Assim, o fortalecimento de instituições e paisagens organizacionais – capital social, legislação, fluxos de informação, disponibilidade de fundos, capacidade de aprendizado e conhecimento acumulados – é fundamental para a adaptação, reduzindo sua vulnerabilidade e preparando os sistemas humanos para lidarem com variações ambientais (Eakin e Lemos, 2010).

Nesse contexto, pesam também, favoravelmente, a existência de outros elementos característicos da boa governança, como a imputação de responsabilidade – *accountability*, em inglês. Dietz *et al.* (2003) sugeriram uma forma adaptativa de governabilidade que leve em consideração os seguintes elementos:

- (i) aporte adequado de informações à compreensão pelo tomador de decisão;
- (ii) gestão de conflitos e cumprimento de regras e normas legitimadas pelos atores envolvidos na administração de recursos – inclusive, com o uso de instrumentos econômicos complementares aos de comando e controle;
- (iii) disponibilidade de infraestrutura física, social, institucional e tecnológica; e, ainda,
- (iv) flexibilidade institucional, associada a capacidade de se aprender e repensar regras e normas de acordo com mudanças ambientais.

Portanto, cabe destacar, primeiramente, o caráter de múltiplas escalas da capacidade adaptativa, perpassando âmbitos que vão do local ao global, a depender do estudo de caso. Esse é um aspecto que diferencia os conceitos de sensibilidade – para a qual, é fator interno de um sistema vulnerável – e exposição – para a qual, ele é ingrediente externo à vulnerabilidade de um organismo.

A fragmentação de diversos *habitat* resultante do desmatamento tem consequências negativas tanto para a conservação da biodiversidade regional quanto para manutenção de processos ecológicos. Sabe-se que, o tamanho de fragmentos e a conectividade entre eles são aspectos fundamentais para a manutenção do fluxo gênico, o qual é condição necessária para que a criatividade natural – as combinações de genes e cromossomas – possa atuar e produzir variações potencialmente adaptativas a um ambiente em constante mudança nas populações naturais (Turner *et al.*, 2003).

### 8.1.6.1 VARIABILIDADE E CENÁRIOS CLIMÁTICOS

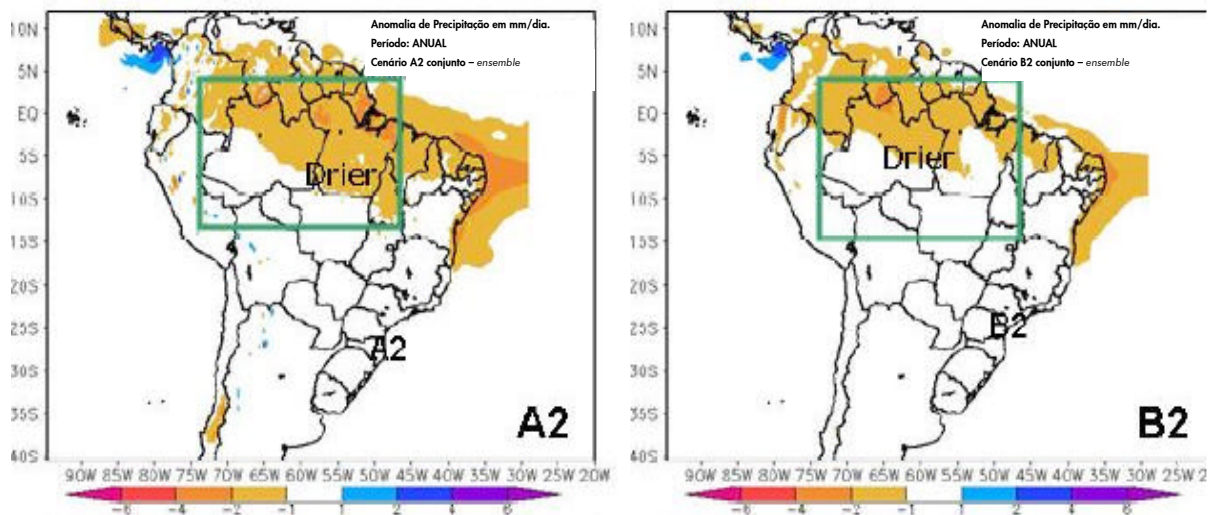
A partir das profundas mudanças no uso da terra observado na Floresta Amazônica, principalmente a partir de meados do século XX, sua função de reguladora do clima global, regional e local tem estado sob ameaça (Davidson *et al.*, 2012). O fator climático é determinante para o crescimento e a conservação de florestas tropicais, enquanto que suas zonas refletem o balanço de energia sobre a superfície da Terra em diferentes latitudes: nas equatoriais, a duração do dia pouco se altera ao longo do ano e a variação térmica maior ocorre durante o dia.

Desse modo, comunidades vegetais densas influenciam de maneira considerável a distribuição da precipitação pluviométrica que atinge o solo e a quantidade de umidade relativa disponível no meio ambiente (Ferreira *et al.*, 2005; Dubreuil *et al.*, 2012). A vegetação é fator estabilizador na circulação da matéria e influencia sobremaneira os sistemas climáticos e hidrológicos. O aporte sistemá-

tico, derivado da correlação entre ventos, umidade, pressão, intensidade da luz – do equador aos polos– e estômato de folhas criou características fisiológicas da ecologia complexas e delicadas, especialmente no que tange às interações entre biomassa e clima, nas quais as atividades humanas têm causado distúrbios significativos (Larcher, 2000; Barreto *et al.*, 2006; Laurence *et al.*, 2009; Fearnside, 2008; Betts *et al.*, 2008; Cox *et al.*, 2008).

Nas projeções climáticas realizadas por Marengo (2007) para o período de 2071 a 2100, a Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas está compreendida entre as latitudes 4,5° N e 12° S. Os vários modelos globais utilizados no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC-AR3 (IPCC, 2001) e no AR4 (IPCC, 2007) se mostraram divergentes sobre tendências de precipitação para essa área. Entre eles, alguns projetaram redução de pluviosidade, enquanto outros apontaram aumento. Mas a média de seus resultados indicou possibilidade maior de redução pluviométrica, conforme representado neste capítulo à Figura 8.1.

**Figura 8.1** Anomalias anuais de precipitação (mm/dia) no bioma Amazônia considerando os cenários A2, representado à esquerda, e B2, mostrado à direita, do AR3 do IPCC no comparativo entre os períodos de 2071 a 2100 e de 1961 a 1990.



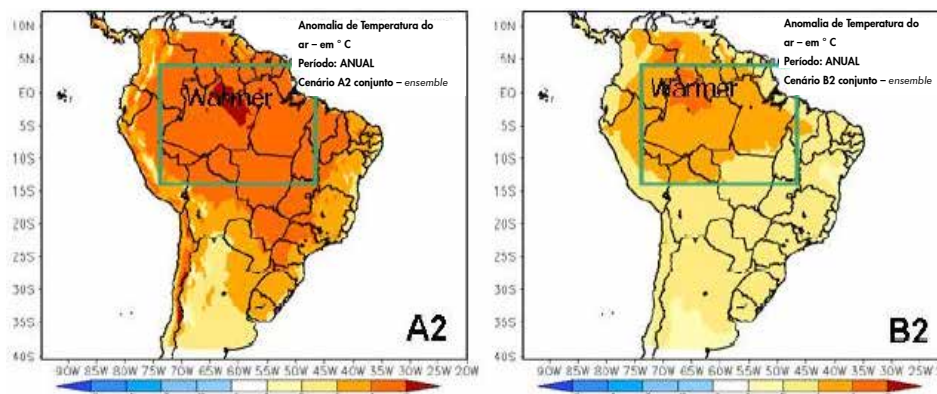
Obs.: Dados obtidos a partir da média observada por três modelos regionais do INPE – *Eta*/CPTEC/CPTEC, *RegCM3* e *HadRM3P*. Destaque para a tendência de redução das chuvas no Oeste do Estado do Pará – inserido no contorno em verde. As projeções consistem na média aritmética dos cenários produzidos pelos citados modelos. Em resolução de 50 km.

Fonte: Marengo, 2007.

O conjunto – *ensemble*, em francês – dos modelos regionais do INPE apresentados por Marengo (2007), considerando o cenário A2 do AR4 – pessimista – previu uma redução de 365 milímetros (mm) a 730 mm nas médias anuais de precipitação sobre o Oeste paraense. Resultado semelhante se configurou para o cenário B2, representado neste capítulo à Figura 8.1. Já quanto às temperaturas, todos os modelos projetaram tendência de aquecimento conspícuo para o Brasil, como exibido à Figura 8.2 deste Relatório.

Observou-se que as anomalias de temperatura do ar no Estado do Pará variariam entre 4 e 5°C de 2071 a 2100 comparado às médias registradas de 1961 a 1990, quando o parâmetro utilizado foi o cenário A2 do AR4, enquanto que, nas condições do cenário B2, esse aquecimento foi estimado em 3 a 4°C. É certo, porém, que existem incertezas quanto a tais tendências de extremos climáticos para o bioma Amazônia, principalmente devido à falta de dados de longo prazo confiáveis e ao acesso restrito a informações sobre regiões tão extensas (Marengo, 2007).

**Figura 8.2** Anomalias anuais de temperatura do ar para a América do Sul no período de 2071 a 2100 em relação ao de 1961 a 1990, para os cenários do IPCC A2 – pessimista – e B2 – otimista.



Obs. As projeções representam a média aritmética dos cenários produzidos pelos modelos regionais Eta/CPTEC/CPTEC, RegCM3 e HadRM3P. Em resolução de 50 km.

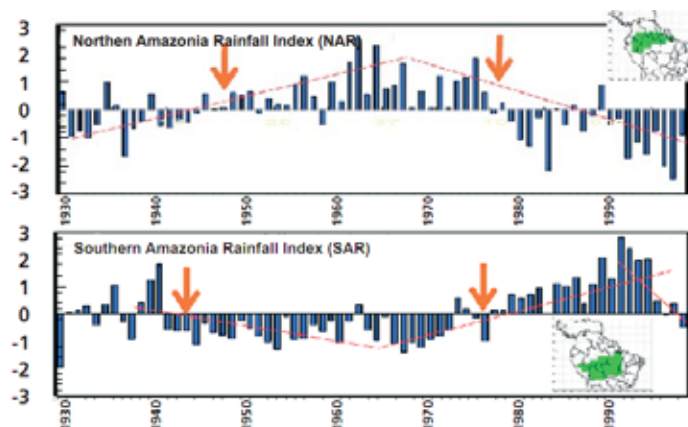
Fonte: Marengo, 2007.

### 8.1.6.2. ASPECTOS-CHAVE DA VULNERABILIDADE REGIONAL

Existem fortes evidências de que processos climáticos cujas variações são anuais – isto é, os de *El Niño* e de *La Niña* – e entre decênios – as oscilações dos oceanos Atlântico Norte e a decenal do Pacífico – influenciaram sobremaneira a circulação atmosférica global (Goodin, 2003; Latif e Keenlyside, 2009; Marengo, 2007), refletindo-se nas variações de temperatura do ar e de precipitação sobre o continente sul-americano ao longo do século XX (Marengo, 2007; Costa e Foley, 1999). Essas alterações são mais complicadas de serem percebidas pelo Homem, pois abrangem períodos longos de tempo, especialmente ciclos decenais.

Ao se analisar a série histórica de precipitação dos últimos 100 anos para a Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas não foram observadas tendências unívocas de diminuição ou aumento de chuvas, mas sim períodos de pluviosidade mais intensa, intercalados com outros, mais brandos e relacionados a oscilações periódicas entre decênios na dinâmica entre atmosfera e oceanos, conforme representado neste capítulo à Figura 8.1.

**Figura 8.3.** Anomalias normalizadas das chuvas para o Norte e para o Sul da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas entre 1929 e 1997.



Obs.: Em mm. As setas apontam as mudanças de fase ou *climate shifts*.

Fonte: adaptado de Marengo, 2007.

O Sul e o Norte da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas apresentaram comportamentos simétricos,

porém opostos, entre 1929 e 1997, no que tange a variação de pluviosidade. As décadas de 1940 e de 1970 se destacaram por serem períodos nos quais ocorreram mudanças de fase. A partir de meados da década de 1940, o Norte dessa região exibiu tendência positiva – de aumento – para chuvas em relação ao normal, enquanto que, ao Sul da mesma, mostrou-se negativa. Já no final da década de 1970 e início dos anos 1980, essas propensões se inverteram, conforme reproduzido à Figura 8.3 deste capítulo. Tais oscilações estão relacionadas provavelmente à mudança nos campos de circulação atmosférica e oceânica no Pacífico Central entre 1975 e 1976 (Marengo, 2007).

Em escala temporal mais curta, variações na pluviometria também estão associadas às ocorridas em temperatura do ar sobre as porções tropicais dos oceanos Pacífico e Atlântico. Entre 1903 e 2005, eventos extremos de seca associados a *El Niño* foram observados nos biênios de 1925 e 1926, 1963 e 1964, 1979 e 1980, 1982 e 1983, 1990 e 1991, 1997 e 1998 (Marengo, 2007). Já as secas de 2005 e 2010, que causaram grandes impactos sobre o Sul e o Oeste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, foram influenciadas pelo aquecimento das águas tropicais do Oceano Atlântico desde 2004, cujo incremento superou 0,5° C acima da média normalmente registrada (Marengo, 2007).

O aquecimento global pode intensificar esse fenômeno à medida que o oceano absorve grande parte do excedente de energia armazenado na Terra pelo efeito estufa.

### 8.1.6.3 VULNERABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR

A produção agrícola familiar é setor altamente sensível a mudanças climáticas. Os elementos que compõem os sistemas produtivos são regulados por parâmetros atmosféricos, como os de precipitação, temperatura e concentração de CO<sub>2</sub>, cujas variações se refletem diretamente na produtividade agropecuária e, conseqüentemente, no cotidiano do produtor e de sua família.

Contudo, generalizações dos impactos de mudanças climáticas sobre a produção familiar devem ser realizadas com ressalvas, uma vez que a vulnerabilidade é determinada pela interação entre especificidades socioeconômicas, culturais e institucionais de âmbito local, e por fatores associados a variações climáticas em diferentes escalas (Morton, 2007; Eakin e Lemos, 2010; Dietz *et al.*, 2003).

Apesar de seu vasto território, a Região Norte abriga 413.101 ou 9% dos estabelecimentos agropecuários brasileiros – exatos 4.367.902. No contexto regional, três estados federativos compreendem 70% desse total: o do Pará, com cerca de 50% ou 196.150, seguido pelos do Amazonas e do Tocantins, que respondem, respectivamente, por 15% ou 61.843 e 10% ou 42.899 do contingente formado por agricultura familiar na região (IBGE, 2012).

Apesar de reunida em uma categoria para fins estatísticos, a produção familiar é heterogênea, caracterizada por um mosaico de atividades, desafiando as tentativas de se categorizar o produtor em tipologias estanques. A agropecuária divide espaço com o extrativismo, a caça e a caça/pesca na manutenção da subsistência e da renda familiar rural das populações amazônicas.

Quanto à vulnerabilidade climática, secas severas, como as ocorridas em 2005 e de 1997 para 1998, aumentam a dessecação de lagoas e reduzem os níveis dos rios, comprometendo a subsistência e isolando milhares de ribeirinhos (Marengo *et al.*, 2011). Já o aumento de concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, o incremento da temperatura do ar e as variações em precipitação pluviométrica podem afetar negativamente a produtividade de gêneros agrícolas e de espécies usadas na atividade extrativista.

No que tange aos sistemas produtivos, a proporção entre culturas temporárias e perenes na agricultura, assim como entre pecuária e agricultura nos estabelecimentos e comunidades amazônicas ribeirinhas modulam, potencializando ou minimizando, os prejuízos que uma estiagem mais pro-

longada pode causar a orçamentos familiares e à economia municipal. Outra característica que influencia a sensibilidade é a dinâmica no uso de terra. A substituição da cobertura vegetal por pastagens e campos agrícolas impacta diretamente o clima local, alterando o balanço de energia e, conseqüentemente, influenciando o regime de ventos e o ciclo hidrológico local.

Portanto, a avaliação da vulnerabilidade e da adaptação da produção familiar perpassa três aspectos:

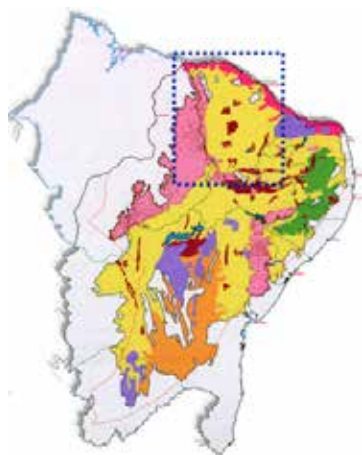
- (1) a identificação das diferentes atividades que compõem os sistemas produtivos familiares e de sua interdependência com a subsistência e a renda do produtor e de sua família,
- (2) a compreensão sobre como cada uma das atividades produtivas poderá ser afetada nos cenários climáticos projetados e
- (3) identificação dos fatores socioeconômicos e institucionais que aumentam a sensibilidade a variações climáticas e reduzem a capacidade adaptativa dos sistemas produtivos familiares □ (Lindoso *et al.*,2011).

## 8.2. REGIÃO NORDESTE

### 8.2.1 INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil ocupa uma área de 1.561.177,8 quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>), correspondente a 18,3% do território nacional, que abriga uma população de 47.741.711 habitantes distribuídos por nove estados federativos: Maranhão (MA), Ceará (CE), Rio Grande do Norte, (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA). Portanto, tal contingente representa 28,9% da população brasileira em densidade demográfica de 30,5 hab/km<sup>2</sup>, muito alta para suas condições semiáridas, com 60,6% concentrado em áreas urbanas. A Figura 8.2.1 deste capítulo reproduz a região Nordeste do Brasil com destaque para a parcela semiárida do País.

**Figura 8.2.1.** Delimitação da região semiárida do Brasil.



**Fonte:** Banco do Nordeste do Brasil (BNB, 2005).

O semiárido brasileiro corresponde a 62% de toda a Região Nordeste, incluindo ainda, o Norte do Estado de Minas Gerais, que faz parte da Região Sudeste. Nele, atividades agrícolas e outras são muito limitadas devido à existência de solos de baixa profundidade, em cujas superfícies se pode ver com frequência, um embasamento cristalino, índice maior de evaporação e regime de chuvas caracterizado por alta variabilidade no espaço e no tempo.

A diversidade do semiárido brasileiro também pode ser reconhecida na coexistência entre áreas com culturas tradicionais e estagnadas e outras, de intensa modernização e práticas agrícolas voltadas para terras secas através de métodos modernos utilizados para plantações irrigadas e desti-

nadas à exportação. A diversidade climática e de ambientes de solo mostra algumas das vantagens comparativas oferecidas pela região.

Devido a essa diversidade climática e ambiental, há uma necessidade de promover alterações na maneira de conceber e intervir nesses ambientes.

Tais requisitos não podem ser considerados um problema, mas sim representar potencial, especialmente por causa das características climáticas da região – disponibilidade de luz, calor e baixa umidade – e da agricultura de base familiar.

## **8.2.2. RECURSOS HÍDRICOS**

### **8.2.2.1. ESTRESSE CLIMÁTICO**

A disponibilidade de água em uma região depende de fatores climáticos, tais como precipitação, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar, além de outros, não climáticos, como o tipo de solo da região, sua formação geológica, o uso que o Homem faz dele, e, ainda, as possíveis interferências antrópicas que podem mudar seus caminhos pelas bacias, caso da construção de barragens ou de estruturas de transposição hidrográfica, que transformam, obviamente, o regime hidrológico de um rio.

A Região Nordeste é notadamente a que menor disponibilidade hídrica detém no Brasil, especialmente em sua porção semiárida, que representa 62% do solo nordestino.

De acordo com o Plano Nacional de Recursos Hídricos ou PNRH (MMA, 2006), a disponibilidade hídrica, em grande parte da Região, é menor do que quatro litros por segundo a cada quilômetro quadrado ( $l/s/km^2$ ), chegando a menos de  $2 l/s/km^2$  na zona semiárida, valores bastante reduzidos em comparação aos verificados nas outras quatro divisões regionais do País.

O Nordeste brasileiro abriga cinco regiões hidrográficas: as do Atlântico Leste, Nordeste Ocidental e Oriental, além daquelas batizadas a partir dos rios Parnaíba e São Francisco.

Além de possuir baixa disponibilidade hídrica, o clima no Nordeste brasileiro apresenta padrão de regime de chuvas caracterizado por forte variabilidade temporal em escalas ao longo do ano, anual e decenal, que são maiores do que as tendências de mudança no padrão de chuva (Datsenko *et al.*, 1995; Guedes *et al.*, 2006; Marengo, 2006). Além dessa questão temporal, o clima nordestino se caracteriza também por, uma intensa variação espacial.

Os fatores que modulam o clima na Região Nordeste são relativamente bem conhecidos. Diversos estudos mostram relação forte entre as condições de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico e o regime hidrológico regional. O fenômeno *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) possui um papel importante nos seus padrões de chuvas e vazão (Hastenrath e Heller, 1977; Kousky *et al.*, 1984; Ropelewski e Halpert, 1987; Aceituno, 1988; Kayano *et al.*, 1988; Kiladis e Diaz, 1989; Rao e Hada, 1990; Uvo *et al.*, 1998; Kayano e Andreoli, 2007; Guedes *et al.*, 2006). Entretanto, o Oceano Atlântico também influencia de modo relevante o clima nordestino, como demonstraram os estudos de Markham e Mclain (1977), Hastenrath e Heller (1977), Moura e Shukla (1981), Hastenrath (1984, 2000), Wagner (1996) e o de Andreoli e Kayano (2007). Consulta de uma lista mais abrangente pode ser feita em Marengo (2006).

Essa relação entre a temperatura dos oceanos Atlântico e Pacífico permite prever o total precipitado em dado período de tempo com alguns meses de antecedência (Hastenrath, 1990; Hastenrath e Greischar, 1993), o que vem sendo feito há já alguns anos e pode ser visto como estratégia de adaptação a mudanças do clima.

A alta insolação da Região, aliada à ocorrência de ventos fortes, especialmente no Nordeste setentrional, proporciona altíssima taxa de evaporação, resultando em demandas hídricas elevadas pela agricultura e em perdas consideráveis de água para a atmosfera quando se utilizam reservatórios para seu armazenamento, uma estratégia bastante difundida regionalmente que ajudou a reduzir a vulnerabilidade da população ao longo do século XX.

A série histórica do total precipitado por boa parte do século XX e início do século XXI permite mostrar, de forma clara, que a ocorrência de eventos extremos agudos, especialmente de secas, está associada ao evento de *El Niño* no Oceano Pacífico (Marengo, 2006) e também, acontece em conjunção com um padrão de águas mais frias no Sul do Oceano Atlântico em relação à sua porção norte, padrão esse representado pelo índice climático denominado *dípolo do Atlântico*.

Fica claro, com base nas informações apresentadas acima, que os recursos hídricos da Região Nordeste do Brasil são bastante sensíveis à variabilidade climática e a possíveis mudanças futuras no clima. Mesmo se não ocorrer alteração no padrão de chuva sobre o solo nordestino, perspectiva ainda em debate entre cientistas, o simples aumento da temperatura, uma premissa praticamente aceita por todos, já seria suficiente para alterar seu ciclo hidrológico devido ao provável crescimento das taxas de evaporação de lagos e reservatórios – o que, por sua vez, reduziria a oferta hídrica (Marengo, 2008).

Por outro lado, o aumento das taxas de evapotranspiração em consequência de mudanças do clima ainda é questão em aberto, principalmente por causa do efeito do aumento de CO<sub>2</sub> no comportamento dos estômatos e de densidade e distribuição espacial da vegetação.

Diversos estudos acusam o aumento do teor desse gás na atmosfera como resultado de uma redução da abertura do estômato de diversas plantas, o que diminuiria as taxas de transpiração (Eamus, 1991; Field *et al.*, 1995, Brodribb *et al.*, 2009). Entretanto, como em muitos casos a concentração de CO<sub>2</sub> é fator limitante, a concentração maior de CO<sub>2</sub> pode ter efeito fertilizante com consequente, elevação do índice de área foliar, por exemplo, ou expansão de áreas ocupadas por vegetação, o que resultaria em maior evapotranspiração.

Alguns estudos procuraram relacionar mudanças em vazões com resposta de vegetação devida ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. Betts *et al.* (2007) em uma análise continental, concluíram que a duplicação de níveis desse gás resultaria em escoamento 6% maior no continente, e chamaram atenção para o fato de que o efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na vegetação pode ser relevante..

Gedney *et al.* (2006) estudaram diversas bacias hidrográficas nas quais se observou aumento médio de vazão de longo período durante o século XX. Eles foram capazes de relacionar essa tendência positiva com o efeito da expansão de CO<sub>2</sub> na redução de transpiração pelos vegetais. Leipprand e Gerten (2006), baseados em simulação com modelos de biosfera, concluíram que, para um acréscimo de 100% na concentração de dióxido de carbono, a evapotranspiração global seria reduzida em aproximadamente 6%, em consequência do efeito fisiológico desse gás sobre os vegetais. Entretanto, a dupla de autores chamou a atenção para a variabilidade espacial dos resultados, sugerindo inclusive, que esse fenômeno poderia crescer em regiões áridas, como o Nordeste brasileiro. Este aumento estaria vinculado ao aumento de biomassa que nelas ocorreria, o que poderia compensar a conservação de água nos vegetais devido ao efeito fisiológico.

### 8.2.2.2 TENDÊNCIAS CORRENTES E DO PASSADO

A precipitação e a vazão na Região Nordeste apresentam grau de variabilidade em escalas anual e decenal muito mais intENSO do que as tendências de redução ou aumento que, por ventura,

tenham sido identificadas nas últimas décadas (Souza Filho e Lall, 2003; Marengo e Valverde, 2007; Marengo, 2006). Conforme explicado no ítem 8.2.1 deste subcapítulo, isso está fortemente associado aos padrões de variação da temperatura de superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico.

Os estudos científicos que tratam das tendências no padrão de chuva sobre o Nordeste brasileiro apresentaram resultados incongruentes. Wagner (1996), autor de um artigo sobre a tendência dos mecanismos físicos que controlam a posição da Zona de Convergência Intertropical em escala decenal, apontou aumento na pluviometria sobre a região no período de 1951 a 1990.

Já Hastenrath (2000), com base nos dados observados em vinte e sete estações pluviométricas, apresentou a variação anual do total precipitado sobre o Nordeste nos meses de março e abril, mostrando tendência leve de aumento, embora não tenha informado seu grau de significância. O autor chamou a atenção para o fato de que essa propensão foi pequena quando comparada à variabilidade anual e decenal observada na Região.

Mais recentemente, Costa dos Santos *et al.* (2009) em um estudo restrito ao Estado do Ceará, observaram tendência estatisticamente significativa de aumento do total precipitado a cada ano para sete das dezoito localidades estudadas. Nenhuma das demais onze localidades apresentou propensão de redução pluviométrica em igual periodicidade.

Entretanto, Moncunill (2006) relatou que, no Estado do Ceará, observou-se redução no volume de chuva total anual da ordem de 6% a cada década do período entre 1961 e 2003, sendo que, em poucas áreas do estado – geralmente, naquelas onde a ocorrência de chuva depende fortemente da topografia – o mesmo não se verificou.

Outro estudo que aponta tendência de redução no volume total de chuvas é aquele apresentado em Lacerda *et al.* (2009). Entretanto, sua análise temporal da pluviometria foi realizada em uma bacia hidrográfica de aproximadamente 17.000 km<sup>2</sup>, localizada na região semiárida do Estado de Pernambuco. Todos os oito postos pluviométricos analisados apresentaram, no período de 1965 a 2004, propensão à diminuição anual estatisticamente significativa.

Marengo e Valverde (2007), com base em revisão bibliográfica, afirmaram que, embora exista tendência de pequeno aumento de chuvas no longo prazo, ela não é estatisticamente significativa.

### **8.2.2.3. CENÁRIO DE MUDANÇAS**

Kundzewicz *et al.* (2007) apresentaram, baseados diversos de artigos científicos, uma visão geral da relação entre quantidade e qualidade de recursos hídricos e os possíveis cenários de mudanças climáticas. Embora a grande maioria dos estudos analisados tenha focado em bacias hidrográficas na América do Norte, Europa e Austrália, as conclusões gerais a respeito dos impactos possíveis sobre aquelas, localizadas em regiões semiáridas, parecem se aplicar também ao Nordeste brasileiro.

Uma das conclusões apresentadas com alto grau de confiança é a de que, apesar do alto grau de incerteza na estimativa dos impactos de mudanças climáticas sobre a vazão de rios, a disponibilidade hídrica em regiões semiáridas deverá diminuir.

Em regiões onde a vazão ribeirinha depende basicamente da chuva, espera-se que haja aumento ainda maior de sazonalidade, com expansão do período úmido e estação seca mais longa (Kundzewicz *et al.*, 2007).

Mas essas conclusões devem ser vistas apenas como indicativo do que se deve esperar em bacias hidrográficas localizadas no Nordeste do Brasil. Não são muitos os estudos científicos sobre os im-



pactos de mudanças climáticas nos recursos hídricos da Região, embora o número de artigos venha aumentando nos últimos anos.

Um estudo de caráter global, elaborado por Milly *et al.* (2005) apresentou estimativa de mudança na vazão média de longo período apurada por 165 estações de fluviometria, algumas das quais situadas no Nordeste brasileiro. O estudo se baseou em simulações feitas por meio de doze modelos climáticos globais, enfocando as mudanças que ocorreriam entre 2041 e 2060 e o período base de 1900 a 1970. A média aritmética dos resultados apontou redução de até 20% na vazão de rios dessa região do País, ressaltando que nem todos os modelos apresentaram tal tendência, o que dá ideia do grau de incerteza nas estimativas.

Vale ressaltar ainda, que um estudo realizado por Ribeiro Neto *et al.* (2011) para o Estado de Pernambuco, descrito mais à frente, chegou a resultados similares ao de Milly *et al.* (2005), embora tenha analisado outros períodos: de 2071 a 2100, tendo, como base, de 1961 a 1990.

Existe um entendimento geral de que os cenários de mudanças de temperatura do ar e precipitação, obtidos com modelos climáticos globais, não possuem detalhamento necessário para a avaliação de impactos causados sobre recursos hídricos de uma dada região ou bacia hidrográfica. Uma das formas de se obter visão mais detalhada desses cenários é se realizar um estudo de detalhamento regional ou *downscaling*, em inglês.

Ambrizzi *et al.* (2007) apresentaram cenários de clima para o Brasil no século XXI com base em um estudo climático que utilizou um modelo global – o *HadAM3P* –, para alimentar outros três, regionais – o *HadRMP3*, o *Eta/CPTEC/CPTEC* e o *RegCM3*. Assim, modelaram os processos atmosféricos de forma mais adequada e obtiveram como resultado para o Nordeste brasileiro, uma redução de precipitação durante o período chuvoso – o outono – para os cenários climáticos A2 e B2 do IPCC. Sua análise levou em consideração o período de 2071 a 2100 em relação ao referencial de 1961 a 1990.

Na escala anual, a conclusão foi a mesma para o cenário A2, enquanto que, para o cenário B2, apenas dois modelos indicaram redução. Com relação à temperatura do ar, a confiança nos resultados é ainda maior, pois os três modelos indicaram aumento de 2071 a 2100 em todas as estações do ano e para todos os panoramas climáticos.

Vale notar ainda, que o grau de variação de precipitação e temperatura do ar variou ao longo do território nordestino. Observou-se uma faixa de +1°C a + 2°C no cenário B2 e de +3°C a + 6°C no cenário A2.

Em relação à precipitação, a discrepância entre os resultados dos três modelos foi maior. No cenário B2, considerando o conjunto dos três modelos, os resultados mostraram redução de -1 a -2 mm/dia na porção setentrional do Nordeste e em seu litoral até a Bahia. Para o restante do território da Região não foi prevista nenhuma alteração significativa no volume de chuva. No cenário A2, também considerando o conjunto dos três modelos, os resultados acusaram redução de -1 a -4 mm/dia para as mesmas áreas citadas e, também, estabilidade, para o restante da região.

Com base em simulações obtidas através do modelo regional *HadRMP3*, apresentadas por Ambrizzi *et al.* (2007), Salati *et al.* (2008) realizaram um estudo de balanço hídrico para as doze regiões hidrográficas brasileiras, com resultados sobre mudanças em sua vazão média de longo período em relação ao referencial, de 1961 a 1990. O trabalho enfocou três fases: de 2011 a 2040; de 2041 a 2070 e, de 2071 a 2100.

A Região Nordeste do Brasil contém cinco das doze regiões hidrográficas brasileiras, a saber:  
Nordeste Ocidental,  
Parnaíba,  
Atlântico Nordeste Oriental,

São Francisco e Atlântico Leste.

Os resultados para as bacias localizadas no nordeste são bastante preocupantes. Por exemplo, a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco poderá sofrer redução de vazão em torno de 60% no cenário B2-BR<sup>1</sup> já no período de 2011 a 2040, enquanto que, a região Atlântico Nordeste Oriental – a mais impactada – acusaria até 90% de contração nos cenários A2-BR<sup>2</sup> e B2-BR de 2041 a 2070. Chegar-se-ia assim, ao final do século, quase a uma vazão nula no cenário A2-BR de 2071 a 2100.

A hidrologia do Nordeste Ocidental seria menos afetada, com redução de vazão da ordem de 40% no cenário A2-BR e de 50% no B2-BR de 2071 a 2100. Vale informar que os autores fizeram ressalva em relação aos resultados obtidos para as bacias do Nordeste brasileiro, indicando nível alto de incerteza para a Região, tendo em vista que as diferenças entre os valores observados e simulados pelo modelo no clima presente foram relativamente altas.

Tanajura *et al.* (2010) analisaram o desempenho do modelo regional *HadRMP3* apresentado em Ambrizi *et al.* (2007) para o clima presente e avaliaram as mudanças de precipitação e temperatura do ar nos cenários A2 e B2 para o Estado da Bahia.

Esse estudo apresenta, com mais detalhes, a variação espacial dessas mudanças. Seus autores estimaram redução de precipitação anual no litoral do Estado da ordem de 70% para os dois cenários, de 20% a 60% na região semiárida para o panorama A2 e, de 20 a 50%, para o B2.

Em relação à temperatura do ar, as maiores altas foram estimadas para as regiões norte e noroeste baianas: de aproximadamente 4,5° C no cenário B2 e de 5,5° C no A2. Para o litoral, o aquecimento atmosférico esperado seria menor: da ordem de 1,5 a 2,5° C no panorama B2 e, de 2,0 a 3,5° C, no A2.

Com o objetivo de avaliar os resultados baseados no *HadRMP3*, Salati *et al.* (2008) realizaram o mesmo estudo de balanço hídrico para oito das doze regiões hidrográficas brasileiras. Empregaram, porém, quinze modelos climáticos globais do *IPCC*. Apenas três dessas áreas se localizam no Nordeste: as dos rios Parnaíba São Francisco e do Nordeste Ocidental do Oceano Atlântico. Suas conclusões apontaram situação menos alarmante para todas, embora o grau de redução da vazão média de longo período seja bastante significativo. Por exemplo, pode-se citar que, enquanto os resultados baseados no modelo regional *HadRMP3* indicavam diminuição de quase 80% da vazão média de longo período na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba no cenário B2-BR para os anos entre 2041 e 2070, os resultados obtidos através dos quinze modelos globais indicaram corte de 40%.

Já no caso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, a redução prevista pelo *HadRMP3* foi de 58% no cenário B2-BR para o período de 2041 a 2070, enquanto que o estudo baseado na média dos quinze modelos globais previu diminuição de 43%. Esses resultados, além de mostrarem com clareza o grau de incertezas inerentes a tal tipo de análise, ilustram os riscos envolvidos ao se tomar decisões baseadas em conclusões derivadas de apenas um único modelo global.

Marengo *et al.* (2007), baseado em análise das médias de diferentes modelos de circulação global da atmosfera (MCGs) regionalizados para o Brasil, concluiu que o aquecimento tende a se intensi-

<sup>1</sup>Cenário B2-BR: descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica social e ambiental. Nele, a mudança tecnológica é mais diversa com forte destaque para iniciativas comunitárias e inovação social no lugar de soluções globais.

<sup>2</sup> Cenário A2: descreve um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante. Nele, existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores de família e em tradições locais. Outras características são um crescimento populacional alto e menor preocupação em relação à rapidez do desenvolvimento econômico.

ficar em todas as regiões do País de forma diferenciada.

Em termos de precipitação, os autores identificaram as projeções de clima futuro – o período de 2071 a 2100 – para a Região Nordeste como as de maior confiabilidade, em particular durante o pico da estação chuvosa, ou seja, de março a maio. Os resultados para os cenários A2 e B2 indicaram ainda, chuvas mais fracas nesse período e tendência de extensão de deficiência hídrica para todos os meses do ano.

Enquanto Salati *et al.* (2008) e Marengo *et al.* (2007) realizaram estudo de abrangência nacional sobre os impactos de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, Gaiser *et al.* (2003) relataram investigação de caráter regional, que englobou bacias hidrográficas dos estados do Ceará e Piauí. Krol e Bronstert (2007) apresentaram os efeitos na vazão e no armazenamento de água em reservatórios da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe, baseados em detalhamento – *downscaling*, em inglês – estatístico dos resultados, obtidos pelos modelos climáticos globais *ECHAM-4* e *HADCM2*, cujas projeções de precipitação diferem entre si para essa região.

O cenário futuro construído a partir do modelo *ECHAM-4* representa redução de 50% na precipitação durante o período de 2070 a 2099 em comparação com o de 1961 a 1990. Um segundo panorama, traçado a partir dos resultados apurados pelo *HADCM2*, apontou avanço no volume de precipitação em torno de 21% para o mesmo período.

Os resultados para a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe mostraram forte declínio de vazão após o ano de 2025, quando se utilizou o cenário mais seco, baseado no modelo *ECHAM-4*. No panorama mais úmido, o aumento observado não foi considerado estatisticamente significativo. Dentro do mesmo projeto de pesquisa, Campos *et al.* (2003) apresentaram o estudo realizado para a bacia contribuinte ao reservatório Várzea do Boi, mostrando sua perda da disponibilidade hídrica.

Outros estudos procuraram estimar os impactos dos diversos cenários de mudanças climáticas nos recursos hídricos de um estado federativo ou mesmo de uma bacia hidrográfica específica, como será visto na sequência.

Medeiros (2003) apresentou um estudo de avaliação de impacto sobre a vazão média de longo período e a evapotranspiração da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu, no Estado da Bahia. O autor utilizou dois modelos climáticos globais, o *UKHI*, do serviço meteorológico do Reino Unido, e o *CCCII*, do *Canadian Centre for Climate Modelling and Analys*. Já para a análise hidrológica, ele aplicou o modelo conceitual *MODAHC*.

Os resultados apresentados mostraram redução no escoamento superficial e na umidade do solo, especialmente no inverno e na primavera. Entretanto, a vazão média anual se manteve a mesma no cenário de duplicação da concentração de  $CO_2$ , quando se utilizou os dados gerados pelo modelo *UKHI*, enquanto que ao se aplicar o *CCCII*, observou-se redução de 40%.

Ribeiro Neto *et al.* (2011) avaliaram os impactos de mudanças climáticas na disponibilidade hídrica do Estado de Pernambuco. Os autores empregaram os resultados de precipitação, temperatura e umidade relativa obtidos pelo modelo climático global *HadM3P* para realizar o detalhamento – *downscaling* – a partir do regional *ETA CCS*. A análise sobre o impacto nos recursos hídricos foi feita através de um estudo sobre seu balanço, como também foi o caso do trabalho feito por Salati (2008), e, a partir dos cenários A2 e B2 do *IPCC*, para se estimar as alterações ocorridas de 2071 a 2100 em relação ao período base de 1961 a 1990. Os resultados mostraram 19% de redução no escoamento superficial para o cenário B2 e, de 23%, para o A2, similares aos valores encontrados por Milly *et al.* (2005).

Mello *et al.* (2008) avaliaram o impacto das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da

Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu, derivada do Rio São Francisco em área de 45.600 km<sup>2</sup>. Esse estudo se baseou na alteração de vazão  $Q_{7,10}$  – a vazão mínima com duração de sete dias e período de retorno de dez anos – de 2001 a 2100. Foram utilizados os resultados de detalhamento – *downscaling* – estatístico da simulação resultante da aplicação do modelo de circulação global *HadCMP3* para os cenários A2 e B2. As estimativas de vazão mínima não foram obtidas através de ferramenta de modelagem hidrológica, mas sim, por meio de análise de regressão linear entre vazão dos cursos de água e precipitação sobre a região.

Para o cenário A2, os resultados mostraram aumento de 31 a 131% no efeito pesquisado, enquanto que não se observou nenhuma variação significativa para o cenário B2.

Montenegro e Ragab (2010) realizaram estudo baseado em modelagem hidrológica distribuída para analisar a resposta hidrológica a mudanças do clima e de ocupação de uso de solo na Sub-bacia Experimental do Riacho Mimoso (PE) pertencente à Sub-bacia Representativa do Rio Ipanema, com 149 km<sup>2</sup> e localizada na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Pesquisaram três períodos futuros: de 2010 a 2039, de 2040 a 2069 e de 2070 a 2099. Empregaram projeções de precipitação baseadas nos modelos *CSMK3* e *HADCM3* para os cenários A2 e B1<sup>3</sup> do *IPCC*.

As projeções de temperatura derivaram de trabalhos anteriores que sugeriram aumentos diferenciados, a depender do horizonte temporal analisado e da época do ano. Seus resultados mostraram que, em um cenário mais adverso, denominado de seco – pelos autores, o escoamento poderia ser reduzido em até 34% de 2010 a 2039, até 65% de 2040 a 2069, e, até 72% de 2070 a 2099.

Uma estratégia amplamente utilizada na Região Nordeste para aumentar a oferta de água – mais especificamente, para transportar a água no tempo –, do período úmido para o seco, foi a da construção de reservatórios. Como dito anteriormente, com o aumento da temperatura, é de se esperar incremento na taxa de evaporação de superfícies líquidas, embora isso também dependa de outros fatores, tais como, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e insolação.

Fernandes *et al.* (2010) procuraram avaliar qual seria o impacto das mudanças do clima no reservatório Epitácio Pessoa, que abastece a cidade de Campina Grande no semiárido nordestino. Os autores utilizaram os resultados de dez modelos climáticos globais para o cenário B1 do *IPCC*. A análise de mudança na taxa de evaporação do reservatório se limitou ao período entre 2011 e 2030, comparado ao referencial entre 1961 e 1990. Os valores de precipitação e temperatura obtidos pelos modelos climáticos globais foram intercalados para o local do reservatório por meio de interpolação bilinear. Os resultados mostraram grande dispersão entre os valores de evaporação no reservatório ao longo dos doze meses do ano, embora, na média, tenha se observado aumento da ordem de 2% na respectiva taxa.

Estudo recente avaliou os impactos das mudanças climáticas no regime de vazão afluente a cinco reservatórios estratégicos, localizados nas bacias hidrográficas receptoras do Projeto de Integração do Rio São Francisco, desenvolvido pelo Ministério da Integração Nacional. Três deles se localizam na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe – composta pelos açudes de Orós, Castanhão e Banabuiú – e outros dois, na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (Martins, 2011).

O autor analisou os cenários A2 e B1 no período entre 2041 e 2070, utilizando o de 1971 a 2000 como clima presente. Com base em uma análise de representação modelar de desempenho desse intervalo temporal recente, o estudo selecionou três modelos climáticos globais entre todos os do *AR4*: *BCM2*, *INCM3* e *MIMR*. Por meio de detalhamento ou *downscaling* estatístico, que empre-

---

<sup>3</sup> Cenário B1: O contexto e a família de cenários B1 descrevem um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século XXI e declina em seguida, como ocorre no contexto A1, mas com mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com redução da intensidade de utilização material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso de recursos.

gou a técnica de regressão, foi possível gerar séries mensais de precipitação e evapotranspiração potencial, utilizadas para alimentar modelagem hidrológica concentrada. Os resultados colhidos por Martins (2011) mostraram pequena mudança em termos de precipitação média anual, com reduções menores que 10% e aumentos inferiores a 5%.

Contudo, todos os modelos utilizados apontaram mudanças significativas na variabilidade anual. Seus resultados indicaram também, um aumento entre 2 e 15% na evapotranspiração potencial média, dependendo do instrumento de pesquisa empregado. Aliado ao aumento da variabilidade anual da precipitação, a maior evapotranspiração potencial resultou em alterações no regime de escoamento superficial em todas as sub-bacias. No cenário B1, suas faixas de variação do escoamento afluente aos reservatórios foram as seguintes: Banabuiú, de -0,73% a -0,05%, Castanhão, de -0,26% a 0,01%, Orós, de -0,21% a estável, Armando Ribeiro, de -0,15% a 0,06%, e Curemas, de -0,47% a -0,14%. No cenário A2, Banabuiú registrou índices de estável a 0,04%, Castanhão, de -0,01% a 0,02%, Orós, de -0,09% a 0,06%, Armando Ribeiro, de -0,04% a 0,06%, e Curemas, de -0,08 a estável.

### 8.2.3. AGRICULTURA

Diversos estudos procuraram entender como as mudanças do clima podem afetar o setor agrícola e outros aspectos correlatos à economia, como por exemplo, nível de desenvolvimento econômico, grau de investimento, fluxos migratórios, emprego, valor de serviços ambientais e, até mesmo, alocação de terras produtivas. Muitos desses trabalhos foram realizados em escala nacional, englobando frequentemente, diversos países, dentre os quais o Brasil (Mendelshon *et al.*, 2001; Timmins, 2006; Lobell, 2008; Roson e Van Der Mensbrugghe, 2010). Aqueles que trataram dos impactos de mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira em nível regional ou estadual são mais escassos (CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ, 2008; Assad e Pinto, 2008; Moraes, 2010; Ferreira Filho e Horridge, 2010).

Estudo realizado pela EMBRAPA e pela UNICAMP, apresentado em Assad e Pinto (2008), avaliou os impactos de mudanças climáticas sobre a produção agrícola brasileira, baseando-se no programa de zoneamento de risco climático, cujo objeto reúne diversas culturas em mais de 5.000 municípios do Brasil, para subsidiar a decisão sobre o quê, onde e quando plantar, caso ocorressem os cenários A2 e B2 do IPCC. Apenas as nove plantações mais representativas fizeram parte da avaliação: algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, milho, mandioca e soja.

O estudo utilizou os horizontes de 2010 como condição atual, 2020, 2050 e 2070. Com exceção da cultura de cana-de-açúcar, as demais apresentaram impactos negativos no Brasil como um todo, sendo que a Região Nordeste é a que deve sofrer maiores consequências, com redução significativa de suas produções de milho e mandioca. Esse recuo está ligado ao encolhimento de áreas de cultivo com baixo risco.

Com o aumento previsto da evapotranspiração e, conseqüentemente, da eficiência hídrica, o risco climático cresce. O estudo citado previu redução na produção de algodão, arroz e feijão no agreste e cerrado nordestinos – ao Sul dos estados do Maranhão e do Piauí e a Oeste da Bahia.

Os resultados obtidos por esses estudos foram alarmantes quanto à mandioca para a Região Nordeste, onde seu cultivo está fortemente relacionado a segurança alimentar. Estima-se que essa cultura se reduzirá drasticamente nessas duas áreas, podendo, até mesmo, desaparecer do semi-árido. A produção de milho também deverá enfrentar forte recuo no agreste nordestino, o maior produtor regional nos dias de hoje. Para o caso da soja, o estudo previu redução produtiva intensa na região de cerrado.

Moraes (2010) avaliou os impactos econômicos de mudanças climáticas para a agricultura bra-

sileira considerando dois cenários: o primeiro, com horizonte até 2020 e sem mudanças sociais e econômicas – 2020/A2 – e, o segundo, até 2070, com adaptações sociais e econômicas – 2070/B2. O autor obteve resultados que mostram a Região Nordeste como uma das mais afetadas nos dois panoramas. Para 2020/A2, eles indicaram queda no PIB regional da ordem de 4%, além de redução de investimentos e consumo, ambos ao redor de 4%, e, ainda, declínio do nível de emprego em torno de 2%. Tais recuos se devem aos efeitos sobre culturas agrícolas.

Para o cenário 2070/B2, os efeitos seriam mais severos. Espera-se queda de 6% no PIB nordestino e, de 5% e 7%, respectivamente, para investimentos e consumo regionais. A expectativa de retração do produto interno bruto do Estado do Piauí ficou em 16.4%. Tais consequências afetariam a força de trabalho, que deverá diminuir.

Ferreira Filho e Horridge (2010) analisaram como os impactos de mudanças na agricultura poderiam afetar a demanda por trabalho e o padrão de distribuição da população. Assim como adotado por Moraes (2010), foram utilizados pela dupla de autores dois cenários: 2020/A2 e 2070/B2. O estudo se baseou em um modelo de equilíbrio geral da economia brasileira e seus resultados, apresentados a seguir, se referem a alterações a partir de cotejo com uma linha base que, nada mais é do que uma projeção futura da economia, calculada a partir do clima presente.

Para o trabalho, a Região Nordeste foi dividida em quatro grupos:

Maranhão e Piauí,

Bahia,

Pernambuco e Alagoas,

Ceará, Paraíba, Sergipe e Rio Grande do Norte..

Os resultados mostraram que os estados do Maranhão e do Piauí seriam os mais duramente afetados, com redução no PIB da ordem de 2,9% e declínio no emprego de aproximadamente 0,6%, enquanto que, os outros estados enfrentariam queda de produto interno bruto ao redor de 1.5%, sem desemprego significativo. No cenário 2020/A2, a emigração dos estados do Maranhão e Piauí tenderia a aumentar em 8%, a exemplo do que ocorreria nos demais, porém, a taxas menores. Seus valores atingiriam ponto máximo por volta de 2025, tendendo depois a diminuir, já que se admitiria a ocorrência do cenário B2. Entretanto, ao final do período – em 2070 –, seu patamar continuaria acima do nível atual. A exceção é o Estado da Bahia, cuja taxa continuaria crescendo até 2070, chegando a 4% acima da linha base de 2005.

A CEDEPLAR/UFMG e a FIOCRUZ (2008) realizaram um estudo específico para a Região Nordeste do Brasil que procurou compreender como mudanças climáticas podem afetar suas atividades produtivas, seus fluxos migratórios, redistribuição populacional e setor de saúde. Foram analisados dois cenários – o A2 e o B2 –, tendo como horizonte 2050.

Os resultados desse trabalho mostraram redução no PIB em relação à linha de base – a da economia futura sem mudanças climáticas – de aproximadamente 11.4% no cenário A2. Entretanto, ela não seria homogênea. Por exemplo, os estados de Pernambuco, Piauí e Ceará deveriam enfrentar queda entre 16 e 18%, enquanto que o de Sergipe acusaria retração de 3.6%. No cenário B2, os recuos previstos seriam menores, mas ainda assim, importantes, com várias economias estaduais se retraindo em cerca de 10%.

Essas reduções no PIB seriam oriundas do desempenho da agricultura, que sentirá os efeitos da elevação de temperatura do ar. O mau desempenho da economia causaria aumento do fluxo migratório do campo para as capitais. O estudo dessas instituições concluiu ainda, que as mudanças de clima repercutirão na disponibilidade de terra para a agropecuária. Perdas importantes foram estimadas para os estados do Ceará – 79.6% –, Piauí – 70.1% –, Paraíba – 66.6% – e Pernambuco – 64.9% –, o que contribuiria, de forma negativa, para o desempenho econômico e os níveis de emprego e renda.

### 8.2.3.1. AGRICULTURA FAMILIAR

O conceito de agricultura familiar aqui considerado é aquele definido pela Lei n.º 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece como agricultor familiar ou empreendedor familiar rural, aquele que pratica atividades no campo, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

- I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;
- II- utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;
- III - tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento; e,
- IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

A importância econômica da agricultura familiar no País está representada pela ocupação de 75% da força de trabalho agrícola, o que favorece a fixação do Homem ao campo através do emprego de mão de obra rural.

Dados do CENSO Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006) reforçam ainda que a agricultura familiar é responsável por parte significativa da produção da cesta básica nacional. Segundo a mesma fonte, a Região Nordeste concentra cerca de 50% dos estabelecimentos familiares do Brasil, ocupando cerca de 35% do total de áreas por eles cultivadas no País. Dessa forma, impactos de mudanças climáticas sobre atividades desenvolvidas nessas unidades produtivas possuem aspectos econômicos e sociais significativos regionalmente.

A seguir, os quadros 8.1 e 8.2 apresentam neste capítulo, a importância relativa dessa atividade para a Região Nordeste, onde se observou serem familiares aproximadamente 89% do total de 2.454.006 estabelecimentos que desenvolviam, em 2006, atividades agropecuárias, ratificando assim, sua vocação regional.

**Quadro 8.1.** CENSO Agropecuário 2006 – Distribuição regional de estabelecimentos familiares (IBGE, 2006).

Regiões	Estabelecimentos		Área	
	Total	%	Em ha.	%
Brasil	4.367.902	100	80.250.453	100
Nordeste	2.187.295	50	28.332.599	35
Norte	413.101	9	16.647.328	21
Centro-Oeste	217.531	5	9.414.915	12
Sudeste	699.978	16	12.789.019	16
Sul	849.997	19	13.066.591	16

**Quadro 8.2.** CENSO Agropecuário 2006 – Distribuição regional de estabelecimentos não familiares (IBGE, 2006).

Regiões	Estabelecimentos		Área	
	Total	%	Em ha.	%
Brasil	807.587	100	249.690.940	100
Nordeste	266.711	33	47.261.842	19
Norte	62.674	8	38.139.968	15
Centro-Oeste	99.947	12	94.382.413	38
Sudeste	222.071	27	41.447.150	17
Sul	156.184	19	28.459.566	11

Um estudo elaborado por Morton (2007) apresentou as diversas implicações de alterações na temperatura do ar incidências prolongadas de períodos de estiagem em regiões secas para populações envolvidas em atividades de agricultura familiar ou de subsistência, dado seu alto grau de vulnerabilidade.

Lindoso *et al.* (2011) analisaram a vulnerabilidade da agricultura familiar no Estado do Ceará a mudanças climáticas a partir de três dos seus atributos – sensibilidade; capacidade adaptativa e exposição –, que foram avaliados por diversos indicadores. Os autores concluíram que o nível de gravidade dos impactos de condicionantes climáticas sobre esse modo agrícola de produção estadual terá relação com as características e dinâmicas socioeconômicas e político-institucional que possam vir a agir como efeito de tampão – *buffer*, em inglês –, resultando em níveis diferenciados de perdas e riscos climáticos e na sinalização de que, novas práticas e adaptações das já existentes podem moderá-los, a partir do fortalecimento e da difusão de inovações e tecnologias.

#### 8.2.4. ENERGIA

Apesar da estreita relação entre mudanças climáticas e setor energético no que se refere a geração e consumo, este domínio econômico no Brasil se encontra em posição confortável de responsabilidade por emissões de GEEs, correspondendo a apenas 16,48% do total nacional, conforme o Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2010). A significativa participação de fontes renováveis de energia – 48,3%– na matriz energética do País em 2010 (EPE, 2010), aliada aos investimentos no desenvolvimento do etanol – como combustível e como insumo energético a partir da queima do bagaço de cana-de-açúcar– são particularidades setoriais que colocam a Nação na linha de frente do percurso em direção à sustentabilidade.

Adicionalmente, projeções apresentadas no *Plano Decenal de Expansão de Energia* (EPE, 2010) sinalizaram que, em 2019, as fontes hidráulica, eólica e nuclear, bem como as de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e a biomassa – todas elas, não emissoras – totalizarão 84,7% da geração de energia elétrica no País. A Região Nordeste participa desse cenário positivo com contribuições de origens hidráulica, eólica e de biomassa.

O setor energético arcará com impactos devidos a mudanças climáticas tanto no lado da oferta – o da produção do insumo – como da demanda – o de seu consumo. A energia hidroelétrica, de biomassa e eólica se apresentam como componentes mais relevantes na matriz da Região Nordeste e de reconhecida interface com cenários de alterações de clima. Em geral, a modificação de nível e a variabilidade da vazão natural provocadas pelo fenômeno são elementos indutores de impacto sobre geração de energia, que podem ser avaliados considerando-se sua produção, tanto firme quanto média. Por sua vez, variações concernentes à temperatura do ar e ao número de dias secos causam efeitos diretos sobre o volume demandado pelos aparelhos de ar-condicionado em residências e empreendimentos comerciais.

O setor hidroelétrico regional tem sua base em três bacias hidrográficas estratégicas da Região Nordeste: as do Rio Parnaíba, a do São Francisco e a do Atlântico Leste. Os impactos das mudanças climáticas sobre o mesmo estão relacionados à vulnerabilidade na disponibilidade hídrica regional.

Em estudo realizado para avaliação do impacto de mudanças climáticas sobre o setor hidroelétrico nacional que utilizou os cenários de emissão de GEEs A2 e B2 do IPCC (IPCC, 2000), Lucena *et al.* (2010a) identificaram significativas projeções de impactos, tanto sobre a média de energia gerada por esse segmento, quanto sobre a firme, em bacias hidrográficas estratégicas do Nordeste do Brasil, as quais se destacavam das previsões obtidas para as localizadas em outras partes do País. O Quadro 8.3: mostra um resumo dos impactos identificados por Lucena *et al.* (2010a).



**Quadro 8.3:** Impactos sobre a geração de energia hidroelétrica nas bacias hidrográficas da Região Nordeste apontados por Lucena *et al.* (2010a).

Bacias/Cenários	Energia firme		Geração média	
	A2	B2	A2	B2
São Francisco	-69%	-77%	-45%	-52%
Atlântico Leste	-82%	-82%	-80%	-80%
Parnaíba	-83%	-88%	-83%	-82%

A decisão sobre investimentos em produção de energia eólica tem encontrado argumentos na potencialidade natural da Região Nordeste para essa modalidade de fonte renovável, bem como na possibilidade de sua complementariedade com a matriz energética do País, fortemente fundamentada no fornecimento hidroelétrico que, por sua vez, se caracteriza por vulnerabilidade a flutuações climáticas.

O uso de energia eólica, notadamente na costa do Estado do Ceará, poderá otimizar o sistema de energia regional complementando os de Sobradinho, Itaparica, Paulo Afonso I, II, III e IV (Bittencourt *et al.*, 1999). Confirmando essa tendência, o *Balço Energético Nacional 2011- ano base 2010* (EPE, 2011) – apontou crescimento de 75,8% para a produção de eletricidade a partir de fonte eólica no Brasil, que alcançaria 2.176,6 gigawatts por hora (GWh) em 2010.

Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, o crescimento desse parque eólico contou com participação significativa de quatro novos empreendimentos na Região Nordeste, sendo três no Ceará – Volta do Rio, com capacidade instalada para 42MW, Bons Ventos, para 50MW, e Canoa Quebrada, para 57 MW – e um quarto, no Rio Grande do Norte – Alegria I – para a produção de 51 MW.

Estudo elaborado por Lucena *et al.* (2010b) e baseado nos cenários A2 e B2 do IPCC identificou que a velocidade média dos ventos em regiões costeiras do Brasil, especialmente no Nordeste tendia a aumentar consideravelmente. Os autores encontraram aceleração superior a 15% na Região, que alcançaria, inclusive, mais que 20% em grandes áreas nordestinas para os cenários A2 e B2 nos períodos entre 2071 e 2080, 2081 e 2090 e, ainda, 2091 e 2100.

Segundo os autores, com o aumento da velocidade dos ventos em regiões costeiras, a instalação de usinas de energia eólica além da costa – *off-shore*, em inglês –, apesar de apresentar custos maiores de transporte, instalação e manutenção quando comparadas à implantação em terra – *on-shore* –, torna-se possibilidade bastante atrativa de investimento, principalmente quando consideradas as restrições ambientais e os conflitos sobre uso de solos presentes nos projetos com essa segunda opção de localização. Tal fato, aliado à proximidade de grandes centros consumidores, tem influência positiva para esse segmento do setor, tornando-o bastante conveniente à composição da matriz energética da Região Nordeste.

Esse estudo concluiu que mudanças climáticas não representam ameaça para o desenvolvimento do setor de energia eólica, em especial para o Nordeste do País.

A produção de energia originada de biomassa – a de biocombustíveis líquidos –, da qual o etanol é carro-chefe, ocupa posição importante na economia da Região Nordeste. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de cana-de-açúcar alcançou 627,3 milhões de toneladas em 2010, a serem distribuídas para a produção de açúcar e etanol. Ressalta-se ainda, a enorme probabilidade de expansão dessa produção, dado que as áreas cultiváveis por essa planta no Brasil, cujo potencial, segundo o *Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar* (Manzatto *et al.*, 2009), é de alto a médio, somam 60.750 mil ha., dos quais 4.312 mil ou 7%, na região nordestina.

Estudos realizados por Schaeffer *et al.* (2008) destacaram que, caso todo o cultivo de cana-de-açúcar fosse destinado à produção de etanol e não, em grande parte, para a de açúcar, o País poderia produzir cerca de catorze vezes mais. Também indicaram que, embora essa cultura seja fortemente influenciada por fatores climáticos, os cenários sinalizavam que as principais regiões produtoras no Brasil continuariam dentro dos limites de temperatura do ar indicados para seu cultivo. Dessa forma, não há indícios de riscos ao panorama produtivo desse insumo energético.

Os impactos de mudanças climáticas globais na produção de biocombustíveis na Região Nordeste estão atrelados aos efeitos sobre a agricultura e ao estresse hídrico esperado. Culturas produtoras de tais insumos energéticos seriam forçadas ao redirecionamento de suas plantações para outras regiões do País. É o caso dos cultivos de mamona e a soja, que podem se tornar inviáveis em decorrência da elevação de temperatura do ar e da frequência de períodos de seca (Schaeffer *et al.*, 2008). Tal fato poderia representar restrição à expansão produtiva desse tipo de combustível em território nordestino, especialmente de biodiesel.

### 8.2.5. RECURSOS COSTEIROS

A elevação do nível do mar é um dos impactos de mudanças de clima, mas seus efeitos sobre a zona costeira dependem da declividade da antepraia e da plataforma continental interna da região em estudo. No caso da Região Nordeste, ambas são muito baixas, o que resulta em amplos recuos de sua linha de costa (Muehe, 2001 e 2003).

Neves e Muehe (2008) fizeram considerações sobre os agentes físicos que atuam na zona costeira nordestina, os impactos deles decorrentes e as escalas espaciais e temporais de sua atuação. Os autores avaliaram aspectos de vulnerabilidade da zona costeira, citando e/ou ilustrando com exemplos do litoral dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Alagoas. Diante da elevação do nível do mar, eles ressaltaram os amplos recuos da linha de costa da Região Nordeste, novamente de acordo com Muehe (2001 e 2003). Elencaram ainda, um conjunto de medidas mitigadoras dentro do contexto de mudanças do clima, agrupadas em três categorias: recuo, acomodação e proteção.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2007) discutiu brevemente aspectos gerais relativos aos impactos de mudanças climáticas sobre zonas costeiras, seja pela elevação da temperatura superficial do mar (TSM), seja pela elevação do nível médio de oceanos. O mesmo estudo relacionou alterações ligadas ao primeiro fator, entre elas a ocorrida na dinâmica sedimentar – erosão e assoreamento de zona costeira –, o aumento de vulnerabilidade em estruturas e operações além da costa ou *offshore*, transporte marítimo, obras e instalações costeiras e ecossistemas como o de recifes de coral, sensíveis a pequenas variações de temperatura atmosférica, e ainda, as modificações no regime hidrológico – em particular, os extremos de secas e cheias.

No que se relaciona à elevação do nível médio do mar, o estudo listou a perda de espaço territorial e *habitat* costeiros por inundação permanente, a salinização do lençol freático em áreas de costa e o problema decorrente de abastecimento e captação de água potável em algumas cidades, bem como o de escoamento de efluentes urbanos. O referido trabalho ressaltou ainda, o papel do oceano como fonte de energia limpa, contribuindo assim para a redução da emissão de GEEs. Suas considerações são gerais e se aplicam a qualquer região litorânea.

Tanto CGEE (2007), como Neves e Muehe (2008), não podem ser tratados como trabalhos científicos em sua essência, mas, sim, de natureza reflexiva sobre o comportamento futuro do sistema físico, diante de projeções de mudanças de clima relatadas por vários estudos.

### 8.2.6. Saúde

A Fiocruz realizou, em 2005, um estudo para avaliar os impactos do clima sobre a saúde no País de 1996 a 2001 (Confalonieri *et al.*, 2005a, 2007), e construiu um índice de vulnerabilidade baseado em modelo conceitual usado em trabalho anterior (Confalonieri *et al.*, 2005b).

A construção de tal indicador se baseou em três componentes principais, de caráter socioeconômico, epidemiológico e climático. Para cada um deles, foi obtido índice de zero a 1 com base na média aritmética de indicadores padronizados que os integravam. Em seguida, a partir da atribuição de pesos a esses fatores, obteve-se o Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG), variando também de 0 a 1, o ponto mais vulnerável da escala. Os estados da Região Nordeste acusaram os maiores valores, com  $IVG > 0,3$ .

Confalonieri (2008) argumentou que, a Região Nordeste deve ser prioritária no contexto brasileiro para uma avaliação mais cuidadosa de vulnerabilidade setorial ao clima, em especial com relação à saúde. Isto se deve aos seguintes motivos:

1° é a Região mais vulnerável do País;

2° os cenários para o Nordeste indicam redução de clima (Marengo *et al.*, 2007);

3° juntamente com a Região Norte, é aquela cujo clima mais deverá se modificar (Baettig *et al.*, 2007); e,

4° o clima nordestino é predominantemente semiárido e sua população, caracterizada por baixos indicadores sociais.

O autor analisou os possíveis impactos de mudanças de clima sobre a saúde pública, seja como resultado de efeitos físicos ou de socioambientais. Entre os resultantes diretos de alterações de temperatura do ar, citam-se desidratação e internação, e entre aqueles decorrentes da baixa umidade atmosférica, os distúrbios respiratórios.

Já os efeitos socioambientais estão ligados diretamente à escassez hídrica – caso de doenças diarreicas e desnutrição – ou indiretamente, às migrações dela decorrente – como a redistribuição espacial das doenças crônicas e infecciosas e o aumento de demanda por serviços de saúde. O mesmo autor registrou maior incidência epidêmica de leishmaniose visceral – calazar – em São Luís e Teresina, respectivamente capitais dos estados do Maranhão e do Piauí, no início das décadas de 1980 e 1990, períodos em que essa região foi atingida por secas prolongadas. Migrações da zona rural para a urbana desencadearam a instalação de ciclos periurbanos de transmissão da doença, segundo seu estudo.

Confalonieri (2008) finalizou seu trabalho discutindo brevemente estratégias de adaptação para as várias regiões do País.

Aliado aos impactos já relacionados acima e relacionados a mudanças do clima, a modificação do perfil da população resultante de aumento considerável da participação de idosos – de 6% para 19% –, resultará em maior frequência de doenças crônico-degenerativas (CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ, 2008).

Diante dessa possibilidade decorrente de mudanças, sejam de clima ou de perfil populacional, CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ (2008) construíram um índice para permitir avaliar a capacidade de cada estado federativo em lidar com os impactos climáticos sobre a saúde. Chamado índice de vulnerabilidade da saúde (IVS), ele varia de zero a 1, seu grau indicador de maior vulnerabilidade. Foi calculado a partir de seis endemias: doença de chagas, dengue, leishmaniose tegumentar, e visceral, leptospirose e esquistossomose. Derivou também, de dois problemas ligados à saúde infantil – mortalidade por diarreia e por desnutrição – registrados em cada um dos estados do Nordeste.

Esse estudo concluiu que, de acordo com as projeções, o Ceará é o estado nordestino mais vulnerável à dengue, enquanto que a Bahia o é em relação à esquistossomose. Por outro lado, o Estado do Maranhão foi o que menor capacidade demonstrou para lidar com as duas formas de leishma-

niose. Adicionalmente, o trabalho localizou vulnerabilidade mais elevada à moléstia no Ceará e em Pernambuco, enquanto que Sergipe se mostrou mais suscetível à doença de chagas.

Com relação aos problemas de saúde infantil, os estados do Maranhão, Alagoas e Sergipe mostraram-se mais vulneráveis quanto à diarreia, sendo que o primeiro acusou maior vulnerabilidade quanto a desnutrição infantil.

Ao avaliar os problemas de saúde acima de forma conjunta, o estudo identificou os estados do Maranhão, Bahia, Paraíba e Ceará como os que terão mais dificuldades de lidar com efeitos de mudanças de clima sobre esse setor.

### **8.2.7. DESERTIFICAÇÃO**

Por desertificação, entende-se a degradação da terra em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas. A *Convenção de Combate à Desertificação das Nações Unidas* (UNCCD) utiliza o Índice de Aridez, ou seja, a razão entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETp) para estabelecer a diferenciação do clima enquanto forçante do processo de desertificação.

Assim, as zonas supracitadas se referem a áreas onde a razão entre a precipitação média anual e evapotranspiração varia de 0,05 a 0,65. Nesse contexto, poucos estudos foram encontrados acerca de impactos de mudanças do clima enquanto forçantes do processo de desertificação.

Martins *et al.* (2012) avaliaram a mudança do índice de aridez para vários cenários futuros – A1, B2, A1B do IPCC – durante o período de 2041 a 2070, utilizando vários modelos climáticos globais. A evapotranspiração potencial foi estimada a partir de Hargreaves, método que utiliza informações de temperatura média, mínima e máxima do ar. Mesmo com a incerteza na precipitação, os autores identificaram tendência de aumento da forçante climática do processo de desertificação.

### **8.2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Condições socioeconômicas e climáticas peculiares da Região Nordeste reforçam a urgência na construção e análise de cenários de mudanças climáticas a seu respeito. Revelam também, sua fragilidade diante das medidas de adaptação necessárias.

Por apresentar extensa área semiárida com consequências socioeconômicas historicamente desafiadoras, a Região Nordeste foi objeto de estudos de avaliação a respeito dos impactos de mudanças climáticas cujo foco esteve, em sua maioria, voltado para a futura disponibilidade hídrica na região. Embora já exista certo conhecimento dos processos que modelam o clima nordestino, ainda se busca consENSOs e reduções de incertezas na construção de cenários de alterações de clima referentes a níveis e variações de temperatura do ar, evapotranspiração, precipitação e vazão natural de cursos d'água.

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos da Região, fortemente baseados na construção e operação de reservatórios de acumulação e na transposição de bacias, apresentam-se bastante sensíveis aos cenários de mudanças climáticas, uma vez que aumentos nos níveis de temperatura do ar e suas consequentes taxas de evaporação já são aceitos pelos prognósticos dos cientistas. Espera-se também, com relativo consENSO, pela acentuação de eventos extremos, tanto no período seco, como no úmido.

De uma maneira geral, os estudos sinalizaram severos impactos de mudanças climáticas sobre o setor agrícola, notadamente para as culturas de mandioca, algodão, soja, arroz, milho e feijão. A

intensidade dos efeitos das alterações do clima sobre na agricultura familiar da Região Nordeste é moderada por arranjos socioeconômicos e políticos-institucionais nela presentes, que favorecem a adaptação com novas práticas. No entanto, a abrangência dessa modalidade produtiva é um sinalizador importante da necessidade de programas e políticas de adaptação que a preservem e fortaleçam nessa região do País.

No setor energético brasileiro, a participação da Região Nordeste está centrada nas fontes hidráulica, eólica e de biomassa. A geração de energia a partir das duas últimas origens não seria comprometida pelas mudanças climáticas, *a priori*. Estudos apontam para aumento na velocidade dos ventos em regiões costeiras, favorecendo a instalação de usinas por eles movidas além da costa – *off-shore* –, e ampliando a capacidade produtora energética regional. Seu carro-chefe, a produção de etanol – originada de biomassa – também não seria significativamente alterada, uma vez que as variações no nível de temperatura do ar projetadas estão dentro do intervalo tolerado pela cultura da cana-de-açúcar.

O maior impacto ocorrerá na geração de energia hidroelétrica, dependente de níveis e variações de vazão natural dos cursos d'água para os grandes reservatórios, bem como influenciada por níveis elevados de evaporação.

Em ambientes costeiros, estudos preliminares de caráter reflexivo sinalizaram impactos que devem ser analisados dentro da complexidade do comportamento marinho, a fim de se identificar sua relação com diversas atividades antrópicas e a estabilidade dos ecossistemas costeiros.

No setor de saúde, um índice de vulnerabilidade geral (IVG) inclui componentes socioeconômico, epidemiológico e climático. Em uma avaliação nacional desse indicador, os estados da Região Nordeste apresentaram os maiores valores. Estudos ratificaram a relação existente entre a severidade de impactos de mudanças climáticas sobre a saúde, com indicadores sociais e econômicos referentes à Região Nordeste. O reflexo ficou evidente nos registros de altos números de internações e índices elevados de desidratação, distúrbios respiratórios e desnutrição, bem como, na redistribuição espacial de doenças infecciosas, devido a costumeiros eventos de migração.

No que se refere ao processo de desertificação caracterizado pela degradação de terra em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, a Região Nordeste tem apresentado cenários preocupantes, devido às extensas áreas nas quais ele já está em curso. Apesar da tendência de aumento da força climática desse processo, registrada em estudos, observa-se ainda, a incipiência de investigações com foco direto sobre a análise da relação entre o referido fato e mudanças climáticas.

## 8.3. REGIÃO SUL

### 8.3.1. INTRODUÇÃO

Formada pelos estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), a Região Sul do Brasil, com 576.774,31 quilômetros quadrados, totaliza 6,77% do território brasileiro. Com 27.386.891 habitantes, distribuída respectivamente em contingentes de 10.693.929, 6.248.436 e 10.444.526, representa 14,3% da população brasileira, sendo a terceira mais populosa entre as cinco que compõem o País, atrás da Sudeste e da Nordeste (IBGE, 2010).

À exceção do Norte do Paraná, o clima predominante nos três estados é o subtropical, sem estação seca e com temperatura do ar no mês mais quente maior que 22° C, conforme classificação de Köppen (Moreno, 1961). Durante o inverno, principalmente nos meses de junho e julho, é comum o registro de graus negativos e formação de geada. Nas regiões serranas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, onde faz ainda mais frio, ocorrem nevascas ocasionais. Com chuva regularmente distribuída ao longo dos doze meses de ano, são registrados, de forma geral, entre 1.000 mm e

2.000 mm anuais.

Originárias de rocha basáltica ou arenitos, as classes predominantes de solo no Estado do Rio Grande do Sul são as de latossolos, para a maior parte de sua região norte – o planalto –, com presença de cambissolos na serra do Nordeste gaúcho, de planossolos, argissolos e neossolos na sua depressão central e de planossolos hidromórficos em sua costa.

Já em Santa Catarina, há a predominância de cambissolos e nitossolos nas porções oeste e central do Estado, com ocorrência de argissolos no Leste. Por sua vez, são as classes latossolos, argissolos e nitossolos que predominam no Oeste e no Norte do Estado do Paraná, com grandes extensões de neossolos por suas áreas central e sulina, e de cambissolos em sua porção leste (Brasil, 1973; EMBRAPA, 1984; EMBRAPA, 2004).

Recobrimo essas terras, têm-se vegetações típicas, com destaque para os campos meridionais, divididas por áreas de planalto e ocupando manchas territoriais desde o Paraná até o Rio Grande do Sul e, também, caracterizando a campanha gaúcha, onde recebe o nome de Pampa por seu relevo aplainado a ondulado. Nas porções de maior altitude dos planaltos e nos terrenos mais acidentados, ocorrem matas de araucária. Já nas regiões costeiras, surge a mata atlântica, vegetação caracterizada por suas densidade e variedade.

Com economia ainda bastante alicerçada sobre a agropecuária, a Região Sul expandiu, nas últimas décadas, seu parque industrial, localizado principalmente junto às capitais gaúcha e paranaense – Porto Alegre e Curitiba –, com destaque atualmente para a indústria automotiva e a de autopeças. Os três estados sulinos também se destacam por seu sistema portuário. Ao todo, são cinco os portos marítimos instalados – dois no Rio Grande do Sul – os de Rio Grande e de Porto Alegre –, dois em Santa Catarina – os de Laguna e de Itajaí – e um no Paraná – o de Paranaguá.

Líder nacional na produção de algumas culturas agrícolas, em relação aos dados de produção nas últimas cinco safras – as do biênio de 2006 e 2007 ao de 2010 a 2011 –, a Região Sul foi responsável por 92% do trigo, 71% do arroz, 31% do feijão, 41% do milho e 36% da soja produzidos nacionalmente, perdendo o posto de maior produtor de soja para a Região Centro-Oeste. Juntas, ambas totalizam mais de 80% da oleaginosa em solo brasileiro (CONAB, 2011).

Na produção pecuária, a criação de bovinos da Região Sul se diferencia das existentes nas demais regiões do País por suas raças de origem europeia e a qualidade de sua carne. Em número total de animais é a que apresenta o menor rebanho, com 27,8 milhões de cabeças, 14% do total nacional de cabeças. O rebanho ovino, que também se destaca pelas raças que o compõem e suas finalidades produtivas – lã e carne –, é o segundo maior do País, com 4,8 milhões de unidades.

Assim, a Região assume a liderança na produção de aves e de suínos, com aproximadamente 50% do produto brasileiro (IBGE, 2010). Essa liderança proporcionou concentração de indústrias de processamento de carnes e derivados principalmente no Oeste catarinense e paranaense.

### **8.3.2. CARACTERÍSTICAS PECULIARES DA REGIÃO – MUDANÇAS NO USO DA TERRA**

O estabelecimento e o avanço da produção agrícola nos estados da Região Sul gerou desmatamento de áreas de florestas, em especial no bioma Mata Atlântica, já que, de acordo com o *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica*, no período de 2008 a 2010 (SOS Mata Atlântica e INPE, 2010), ele recobriria originalmente todo o Estado de Santa Catarina (100%), 98% da área do Paraná e 48% da área do Rio Grande do Sul.

Para 2010, ainda conforme o *Atlas*, o remanescente desse bioma, somado as áreas de floresta, restinga e mangue, totalizava 10,65%, no Paraná, e 23,04%, em Santa Catarina, enquanto que no

Rio Grande do Sul, os dois primeiros tipos de vegetação somavam 7,48% do total.

A ocupação de terras marcou intenso processo de atração de população, além do aumento e de produção agropecuária, estimulando a urbanização de forma acelerada na década de 1980 (Lima *et al.*, 2006). À medida que a ocupação das matas avançava pelo interior do Sul do Brasil, ocorria uma *metamorfose* no uso da terra e no surgimento de povoados (Silva Neto e Frantz, 2003).

Uma das culturas pioneiras a ocupar as áreas desmatadas foi a do café que, por um longo período, foi o principal gerador de riquezas para o Paraná. Conforme dados da Secretaria da Agricultura e Abastecimento desse estado (SEAB, 2008), a área total de plantio em 1970 era de 1.048.000 hectares, representando 43,6% de toda área plantada no País. Segundo Maack (1981), a destruição das matas pluviais e sua substituição por cafezais, sem deixar reservas ou florestas de proteção das nascentes, aumentou a variabilidade na precipitação, registrando-se ocasiões de abundância e escassez de chuva.

Segundo o autor, as perdas de florestas mostram claramente um salto no processo de desmatamento entre as décadas de 1930 e de 1950. Esse período correspondeu ao de avanço da cultura cafeeira, bem como ao do pós-guerra, quando ocorreu a consolidação da modernização agrícola nos países então chamados subdesenvolvidos e o início da fase de industrialização da agricultura, conforme Kageyama (1990).

Em 1975, uma grande geada, sem precedentes, devastou os cafeeiros da região dos municípios paranaenses de Maringá e Londrina, liquidando a produção do ano seguinte. Os cafeicultores resolveram substituir o café por outra cultura, mais resistente a eventuais geadas. Algumas das alternativas encontradas foram a mecanizada da soja e trigo, a de algodão e de milho e as pastagens. Fleischfresser (1988) mostrou que a introdução de tratores, colheitadeiras e outras máquinas agrícolas saltaram de 2,9% para 44,3% entre 1970 e 1980.

Por causas financeiras e climáticas adversas e pelo incentivo a novas alternativas de produção, em 2007, os cafezais restantes ocupavam 97.307 hectares ou apenas 4,29% de toda a área ocupada pelo café no País. De acordo com dados do CENSO Agropecuário 2010 (IBGE, 2010), a terra cultivada por lavouras temporárias e permanentes na Região Sul representava 32,8% e 6,9%, respectivamente, da ocupação por essas culturas no território nacional. São 19,8 milhões de hectares – dos quais 19,4 milhões de lavouras temporárias e pouco mais 400 mil das permanentes – que, originalmente, se compunham de vegetações típicas regionais e que, atualmente, são exploradas economicamente pela atividade agrícola.

As áreas de planaltos e planícies foram basicamente ocupadas pelas lavouras de trigo, milho e soja. Entre os anos de 1970 e 1985, a área destinada anualmente à cultura do trigo era de mais de 2 milhões de hectares, caindo posteriormente para uma média de apenas 1 milhão de hectares cultivados por safra (IBGE, 2011). Toda a área restante passou a ser reservada principalmente a espécies forrageiras, a exemplo de aveia preta (*Avena stringosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), também útil à pecuária, ou de espécies como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e a ervilhaca (*Vicia sativa* L.), cujo uso principal é a adubação verde e a consolidação do sistema de plantio direto – ou seja, a formação de palhada para a semeadura da safra de verão. Em áreas do Norte e do Oeste paranaenses, devido a condições climáticas – com destaque para o menor risco de ocorrência de geada – terras que, anteriormente, eram plantadas com trigo passaram ao cultivo do milho safrinha, semeado após a colheita das lavouras de soja.

Já em 1970, a produção de milho era responsável pela modificação de uso da terra em mais de 4 milhões de hectares da Região Sul, sobretudo no Paraná – 46% da área total –, seguido pelo Rio Grande do Sul, com 35%, e por Santa Catarina, com 19%. Atualmente, são cultivados cerca de 3,1 milhões de hectares com milho (IBGE, 2011).

As áreas desocupadas foram, então, incorporadas à produção de soja, responsável nas últimas

quatro décadas pela maior mudança de uso da terra ocorrida na Região Sul. Chegando ao interior gaúcho ainda na década de 1920, foi apenas no final dos anos 1960 e início dos 1970 que a cultura ganhou cultivo em escala. Desde 1970, quando já eram registrados mais de 2 milhões de hectares (IBGE, 2011) até 2011, a cultura passou a ocupar uma extensão aproximadamente quatro vezes superior, de 9,1 milhões de hectares.

Várzeas ou banhados também tiveram seu uso alterado pela atividade agrícola. Nelas, a produção orizícola, já em 1970, ocupava mais de 1 milhão de hectares. Na área total, relativamente constante até 2006, o Estado de Santa Catarina manteve uma participação média de pouco mais de 11%, o Paraná reduziu sua presença de 44% para pouco mais de 2% e o Rio Grande do Sul passou a responder por aproximadamente 85% da produção de arroz da Região Sul. Mais de 70% do volume desse alimento produzido no País sai das lavouras desses três Estados (IBGE, 2011).

O processo de modernização agrícola, primeiramente com foco no trabalho mecânico dos solos destinados a todas as culturas agrícolas temporárias, devido a seus efeitos negativos – tal como o aumento de erosão –, foi paulatinamente – e segue sendo – substituído pelo sistema denominado *plantio direto*, sem revolvimento de solo e semeando cada nova safra sobre a palhada da cultura antecessora.

Hoje aceito como prática conservacionista na atividade agrícola, o *plantio direto* beneficia a redução de níveis de erosão ao diminuir o impacto das gotas de chuva sobre o solo, proporcionar aumento de taxas de infiltração e retenção de água e, ainda, ao interferir positivamente na minimização do escoamento superficial e nas propriedades físicas, químicas e biológicas. Ele também promove redução na amplitude da variação térmica do terreno e, além de tudo, beneficia suas biologia e microbiologia ao incorporar material orgânico, auxiliando assim, na contenção de mudanças climáticas por reduzir as emissões de carbono à atmosfera.

Tomando-se como exemplo dados de pesquisa realizada pela EMBRAPA Soja sobre estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em solo submetido a *plantio direto* e a *plantio convencional* (PC), Babujia *et al.* (2010) constataram que, a maior diferença de resultados entre esses sistemas ocorre nos primeiros 30 centímetros (cm) de perfil, com aumento de 29% no teor de C total do solo cultivado por PD.

Ainda, contestando afirmações de pesquisadores norte-americanos (Baker *et al.*, 2007), essa investigação confirmou incrementos significativos no sequestro de carbono em camada de 0 a 60 cm. Comparativamente ao PC, houve aumento de 18% nos estoques de C e de 16% nos de N contidos na matéria orgânica do solo, assim como de 35% de C e de 23% de N contidos na biomassa microbiana em área de PD.

Ao longo dos 20 anos de duração do trabalho, na camada de 0 a 60 cm do solo, o ganho do PD, em comparação com o PC, foi de 800 kg de C/ha/ano e de 70 kg de N/ha/ano. Conforme o CENSO Agropecuário 2006 (IBGE, 2006), a área total ocupada por *plantio direto* em relação às lavouras temporárias no Brasil era de 17,5 milhões de hectares. Desse total, 48,3% estavam distribuídos entre os estados do Rio Grande do Sul, com 4,05 milhões de hectares, de Santa Catarina, com outros 754 mil e do Paraná, com mais 3,6 milhões.

Um ponto a ser destacado em relação à mudança no uso do solo na Região Sul é a arenização. Identificada como área de atenção especial (MMA, 1997), a região de ocorrência de areais se localiza no Sudoeste do Rio Grande do Sul, entre as latitudes de 29°00' e 31°00'S e as longitudes de 54°30' e 58°45'W, em direção oeste até a fronteira com a Argentina e a República Oriental do Uruguai, onde estão os municípios gaúchos de Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda (Suertegaray *et al.*, 2001; Mósen, 2008).



As áreas de arenização diferenciam-se daquelas de desertificação basicamente no caso do Rio Grande do Sul, por estarem localizadas em uma região de clima subtropical, com precipitação média anual de 1.400 mm. Trata-se do *retrabalho* de depósitos areníticos pouco ou nada consolidados que promovem dificuldade de fixação para a vegetação devido à constante mobilidade dos sedimentos pela ação da água e dos ventos (Suertegaray, 1987). Mais detalhadamente, a gênese dos areais se vincula aos processos naturais de deflação, predominante nos meses de verão, de escoamento superficial, mais significativo nos meses de inverno devido a maior umidade do solo e chuvas prolongadas e de escoamento concentrado sob a forma de ravinas e voçorocas (Suertegaray, 1995).

Ainda sobre a arenização, de acordo com Ab'Saber (1995), apesar de ter sua origem comprovadamente vinculada a causas naturais, a consolidação do quadro de degradação teve a participação do Homem em ações diretas, a exemplo do recorte e da remoção de areia de margens de estradas ou rodovias ou de baixas vertentes de vales, rios, sangas e arroios, e indiretas, como dos desmates em locais inadequados próximos às sangas e arroios, a ampliação eventual da área de pecuária mediante a destruição da vegetação de médio porte, a exploração de florestas para obtenção de lenha e tentativas de implantação de agricultura comercial com utilização de maquinário inadequado ao preparo do solo.

Conforme o *Atlas da Arenização – Sudoeste do Rio Grande do Sul* (Suertegaray et al., 2001), as manchas arenosas ocupam uma área de 36,7 km<sup>2</sup>, com outros 16 km<sup>2</sup> em processo. A primeira delas corresponde a 0,26% do Sudoeste do Rio Grande do Sul.

### 8.3.3 VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As condições meteorológicas da Região Sul do Brasil são acentuadamente influenciadas por um fenômeno natural de escala global que provoca alterações no clima no mundo inteiro, denominado de *El Niño/Oscilação Sul* (ENOS). Ele ocorre na porção equatorial do Oceano Pacífico, mostrando de forma marcante o forte acoplamento do oceano à atmosfera que se manifesta na região.

As variações irregulares em relação às condições normais de oceano e atmosfera geram as fases opostas do ENOS – *El Niño* e *La Niña*. O fenômeno *El Niño* representa o aquecimento de águas simultaneamente à diminuição de pressão atmosférica no Leste do Oceano Pacífico, enquanto que o *La Niña* é o oposto, refletindo o resfriamento do líquido e pressão do ar maior na região leste desse mesmo oceano.

As mudanças nos padrões de transporte de umidade do ar causam variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas (Cobb et al., 2003; CPTEC/INPE, 2011). A Região Sul apresenta forte sinal do fenômeno ENOS, causando principalmente variabilidade na precipitação pluvial, com desvios positivos em anos de *El Niño* e, do contrário, nos anos de eventos *La Niña*, nos quais esses registros ficaram abaixo da média climatológica (Rao e Hada, 1990; Studzinski, 1995; Fontana e Berlato, 1997; Grimm et al., 1997).

No Estado do Rio Grande do Sul, em anos de *El Niño*, houve aumento de chuvas em relação ao regime pluviométrico normal em praticamente todos os meses. Entretanto, é na primavera do ano em que se inicia o fenômeno, especialmente em outubro e novembro e com repique ao final do outono do ano seguinte, em maio e junho, que os desvios pluviométricos se mostraram mais significativos.

Na fase fria do ENOS – a de *La Niña* –, observou-se sobre o solo gaúcho, precipitação abaixo da média climatológica de períodos do ano coincidentes com a quente. Em relação a distribuição espacial, verificou-se que a porção oeste era a mais afetada, apresentando reduções de 80 a 120 mm sobre grande parte do Estado, sendo essas diferenças crescentes no sentido Leste para Oeste (Fontana e Berlato, 1997).

Da mesma forma, em Santa Catarina, de acordo com Minuzzi (2010), houve correlação entre variações de regimes de chuva – de setembro a maio – com a TSM em regiões da porção equatorial do Oceano Pacífico. Em anos de ocorrência de *El Niño*, com exceção do mês de setembro em que se observou tendência de chuva abaixo da climatologia do litoral do Estado, houve propensão pluviométrica de igual a superior à média climática, principalmente para os meses de novembro, janeiro, fevereiro e maio, sendo que nesse último, envolveu quase todo o solo catarinense –, registrando a classificação máxima de muito chuvosa que se caracteriza por uma distribuição de desvios normalizados  $\geq 40\%$ .

Na ocorrência de *La Niña* houve tendência de chuvas abaixo da média climatológica para outubro e também, para novembro, quando elas se apresentaram inferiores a tal patamar sobre todo o Estado, registrando para a maioria das áreas desvio normalizado classificado como *muito seco*. No ano seguinte ao início desse fenômeno, a propensão acusou superação do índice médio, apesar de seus desvios terem se mostrado espacialmente pouco abrangentes e extremos.

Por se localizar em área de transição entre a Região Sul e Sudeste, o Estado do Paraná apresenta resposta ao fenômeno *La Niña* um pouco mais variável em relação aos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. De acordo com Grimm *et al.* (1997), na primavera, as regiões mais influenciadas pelo *El Niño* são as áreas do Sudoeste e do litoral paranaenses.

Com relação às mudanças climáticas, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças no Clima (IPCC, 2007b) houve, durante o século XX, aumento de  $0,6^\circ\text{C}$  na temperatura média global, que se pronunciou na década de 1990. Quanto à precipitação, o incremento foi de 0,2 a 0,3% na região tropical compreendida entre  $10^\circ$  de latitude Norte e  $10^\circ$  de latitude Sul.

As possíveis causas dessas alterações no interior do sistema que engloba terra, atmosfera e oceano são estudadas, sob o ponto de vista global, levando-se em conta suas forçantes e seus mecanismos de interação. Sua variação pode ter causa de ordem natural, devida a atividades humanas – antropogênica – ou fruto da soma das duas.

Com o aquecimento global, espera-se para futuro próximo, de forma geral, cenários de climas mais extremos, com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes. A elevação na temperatura do ar aumenta sua capacidade de reter vapor d'água e, conseqüentemente, a demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão expandir sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Impactos como elevação de nível dos oceanos e furacões mais intensos e frequentes também poderão ser sentidos.

Marengo e Camargo (2008), ao estudarem as temperaturas máximas e mínimas no Sul do Brasil, durante o período de 1960 a 2002, encontraram aquecimento sistemático da Região, detectando tendências positivas nas máximas e nas mínimas anuais e sazonais. A amplitude térmica apresentou fortes propensões inversas neste período, sugerindo que os índices térmicos mínimos são mais intensos que os máximos, especialmente no verão.

Com relação ao regime de chuvas, Groisman *et al.* (2005) identificaram tendências positivas de aumento pluviométrico sistemático e de extremo na Região Sul do Brasil. Haylock *et al.* (2006), ao estudarem-na ao lado de seus países vizinhos na América do Sul durante o período de 1960 a 2000, encontraram a mesma propensão nos índices de precipitação, sugerindo que houve aumento de intensidade e frequência de dias com ocorrências mais fortes.

Ainda com relação à precipitação pluvial, Teixeira (2004) identificou ligeira tendência de aumento no número de ocorrências na Região Sul, tal como demonstrado por Alexander *et al.* (2006), que ao analisá-los em periodicidade anual, e incluindo o Paraguai, o Uruguai e o centro-norte da Argentina, identificaram igual propensão para o número de dias com chuva intensa e o volume

concentrado em eventos chuvosos e muito chuvosos entre os anos de 1961 e 2000.

Um exemplo de fenômenos climáticos extremos e de início de mudança climática sem precedentes, ainda que no curto tempo de registro meteorológico da Região Sul, ocorreu no dia 7 de março de 2004. Uma tempestade inicialmente classificada como ciclone extratropical atingiu a costa sul do Brasil, com chuvas fortes e ventos estimados em cerca de 150 km/h, matou 11 pessoas no continente e no oceano, causando destruição em dezenas de municípios. O fenômeno recebeu o nome de Catarina pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais Meteorológicos e de Hidrometeorologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri Ciram), por ter sido esse o estado mais atingido pelo primeiro furacão ocorrido no País.

Alguns estudos indicaram que o aumento na temperatura das águas oceânicas estaria tornando mais intENSOs esses fenômenos, mas ainda há incertezas quanto à real influência do aquecimento global em mudanças na frequência de furacões e tufões e em sua ocorrência em locais onde não eram observados (Webster *et al.*, 2005; Marengo e Nobre, 2005).

### 8.3.4 REGISTROS HISTÓRICOS

Analisando a tendência temporal de temperatura anual do ar para o período de 1913 a 1981 no Estado do Rio Grande do Sul, representada pelas localidades de Santa Vitória do Palmar, Bagé, Uruguaiana, São Luiz Gonzaga, Passo Fundo e Caxias do Sul, Mota *et al.* (1993) destacaram que durante esses 69 anos, tal fator climático aumentou  $0,45^{\circ}\text{C}$ , com incremento médio de  $0,0065^{\circ}\text{C}$  a cada ano.

Tendência linear crescente da média da temperatura mínima referente a 90 anos de dados – de 1918 a 2007 –, para dez estações meteorológicas distribuídas pelo Rio Grande do Sul, também foi relatada por João (2009) e por Marques *et al.* (2005), que apresentaram valores ascendentes do sentido Leste para Oeste no Estado, variando de  $0,8^{\circ}\text{C}$  a  $1,8^{\circ}\text{C}$ . Conforme Marques *et al.* (2005), os menores acréscimos foram encontrados no litoral gaúcho e os maiores, em uma faixa que engloba partes da depressão central do Estado, de sua região missioneira em Santo Ângelo e São Luiz Gonzaga e do baixo Vale do Rio Uruguai em São Borja, Itaqui e Campanha. As demais áreas apresentaram valores intermediários. O aumento observado no índice médio em Passo Fundo foi atribuído à elevação do mínimo anual (Cunha *et al.*, 2007).

Para o município de Pelotas, os resultados da análise de dados climáticos de 1897 a 2004 evidenciaram aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  na temperatura mínima média anual. Reduzindo o período de análise – de 1950 a 2004 –, esse incremento foi ainda superior –  $1,66^{\circ}\text{C}$  –, o que significa que o maior avanço ocorreu nos últimos 50 anos (Steinmetz *et al.*, 2005).

Reiteraram esses resultados, Mezzomo *et al.*, (2007), ao analisarem o comportamento das temperaturas mínimas médias trimestrais para a região homogênea do Rio Grande do Sul, que inclui Pelotas, durante 90 anos de observações – de 1913 a 2002 – correspondentes ao verão – os meses de janeiro, fevereiro e março – e ao inverno – período de julho, agosto e setembro. Eles demonstraram que, em 100 anos, esse índice em periodicidade trimestral subiu  $1,7^{\circ}\text{C}$  ao longo da primeira estação e  $1,6^{\circ}\text{C}$ , ao curso da segunda. Apesar de terem se limitado a tecer alguns comentários sem tomar nenhuma posição conclusiva sobre esses fatos, os autores sinalizaram que tal tendência térmica positiva, embora possa ser atribuída a fenômenos puramente locais, não pode ser desvinculada do aquecimento global, sobre o qual há consenso cada vez maior entre os cientistas.

Para o Estado de Santa Catarina, pesquisas da Epagri/Ciram mostram acentuada elevação da temperatura ao longo dos anos, com destaque para a década de 1990 (Campos *et al.*, 2006). Na Estação Meteorológica de São Joaquim, a mínima apresenta aumento de  $3^{\circ}\text{C}$  em um período de 51 anos – de 1955 a 2006 – e, em Caçador,  $2,9^{\circ}\text{C}$  ao longo de 64 anos – de 1942 a 2006. Para outras localidades, o mesmo comportamento também foi registrado:  $2,8^{\circ}\text{C}$ , em Urussanga,

2,2° C, em Lages e, 2,1° C, em Campos Novos. O único registro de tendência negativa foi para a região litorânea de Florianópolis: -0,3°C.

Ainda em Urussanga, nesse mesmo estado federativo, ao estudar tendências anuais de temperatura e precipitação pluvial a partir de análise estatística de uma série de dados coletados entre 1924 e 1998, Back (2001) detectou propensão significativa de aumento da média térmica anual – de aproximadamente 1° C por século – e no mês de janeiro, ao redor de 1,8° C/século. O autor identificou o mesmo quanto à pluviometria total anual e no quarto trimestre.

Também no Estado de Santa Catarina, Prudêncio *et al.* (1999), com dados de 32 estações pluviométricas instaladas no litoral, referentes a séries coletadas entre 1961 e 1995, apontaram aumento significativo de precipitação total anual apurada por doze estações, com diminuição das chuvas em apenas uma delas e sem tendência relevante para as demais.

Ao analisar tendências de mudanças nos padrões de temperatura do ar e precipitação nos dados informados pelas estações meteorológicas do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Londrina, no estado paranaense, Ricce *et al.* (2009) demonstraram que em um período de 48 anos – de janeiro de 1961 a dezembro de 2008 –, ocorreu aquecimento de 1,33° C no índice mínimo anual, de 0,83° C no médio e de 0,33°C no máximo, enquanto que a pluviometria não mostrou tendência significativa de alteração.

Ainda no Paraná, os municípios de União da Vitória e Piraquara têm apresentado aceleração de seu ciclo hidrológico desde o início da década de 1970, o que pode ser constatado através do aumento da frequência de chuvas mais intensas, da vazão média de seus rios e da ocorrência de estiagens de maior duração. Além dessas alterações diretas, foi observada tendência de elevação da temperatura mínima e diminuição da máxima em Ponta Grossa desde 1954. Esse resultado pode estar associado ao gradativo e regionalizado incremento de nebulosidade. No período noturno, ela interferiria no balanço de ondas longas, fazendo subir o índice térmico atmosférico mínimo. Em contrapartida, durante o dia, seu valor máximo teria sido reduzido pela irradiância solar global (Silva e Guetter, 2003).

Para outras localidades paranaenses, Gasparotto *et al.* (2005), ao realizarem análise de tendência de variáveis climáticas térmicas e hídricas, destacaram aumentos de 0,032° C ano<sup>-1</sup> em Bandeirantes, de 0,034° C ano<sup>-1</sup> em Cascavel, de 0,036° C ano<sup>-1</sup> em Cerro Azul, de 0,029° C ano<sup>-1</sup> em Cianorte, 0,040° C ano<sup>-1</sup> em Fernandes Pinheiro, de 0,051° C ano<sup>-1</sup> em Palmas, de 0,032° C ano<sup>-1</sup> em Ponta Grossa, de 0,043° C ano<sup>-1</sup> em Telêmaco Borba e de 0,039° C ano<sup>-1</sup> em Umuarama. Tais incrementos podem estar associados a mudanças no balanço energético devido à modificação de uso do solo, provocado pelos processos de desmatamento e de ocupação agrícola. Uma exposição maior do solo provoca intensificação do calor armazenado durante o dia, que pode contribuir para elevar as temperaturas mínimas, embora não se possa descartar os efeitos de alterações no clima em escalas maiores, decorrentes de atividades humanas.

### 8.3.5 CENÁRIOS CLIMÁTICOS

Tal como exposto no Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC, publicado em 2007 (IPCC, 2007), em seu capítulo 13 – *América Latina* –, a variabilidade climática e os eventos extremos têm afetado severamente a região latino-americana nos últimos anos, com destaque para relatos incomuns sobre esse segundo fenômeno, tais como as chuvas na Venezuela em 1999 e 2005, as inundações no pampa argentino de 2000 a 2002, a seca no bioma Amazônia em 2005, as tempestades de granizo na Bolívia em 2002 e na Cidade Autônoma de Buenos Aires em 2006, além de acontecimentos sem precedentes a exemplo do furacão Catarina no Sul do Oceano Atlântico em 2004 e temporada de episódios desse mesmo tipo de evento em 2005 na Bacia do Caribe.

Conforme o AR4, a projeção para mudanças em temperatura e precipitação para a ampla região Sul da América do Sul, obtida a partir de sete modelos de circulação geral e dos quatro principais cenários de emissões de GEEs para o inverno – os meses de junho, julho e agosto – indicou aumento de 0,6° C a 1,1° C já para 2020, de 1° C a 2,9° C para 2050 e de 1,8° C a 4,5° C para 2080. Para o verão – os meses de dezembro, janeiro e fevereiro –, foi projetada elevação de 0,8° C a 1,2° C para 2020, de 1,0° C a 3,0° C para 2050 e, para 2080, de +1,8° C a 4,5° C.

Devido a sua maior complexidade, as projeções climáticas regionais mostram grau muito mais elevado de incerteza quando objetivam prever mudanças no regime de chuvas. Para o inverno – meses de junho, julho e agosto – de 2020, o índice pluviométrico diverge entre -5% e 3%, para 2050, entre -12% e 10% e, para 2080, entre -12% e 12%. Similarmente, no verão – meses de dezembro, janeiro e fevereiro – de 2020, sua variação vai de -3% a 5%, no mesmo período de 2050, oscila entre -5% e 10% e, no de 2080, de -10% a 10%.

### 8.3.6 MUDANÇA NO CICLO HIDROLÓGICO

Grimm (2003) apresentou um mapa com a climatologia da precipitação sobre o Brasil de 1956 a 1992, onde destacou a diversidade dos totais observados por todo seu domínio espacial. No extremo Sul do País, esse aspecto é praticamente uniforme ao longo do ano, mas, ao mesmo tempo, ocorre na Região do Brasil com maior variabilidade térmica anual, podendo a temperatura mínima variar de 8° C no inverno a 18° C no verão em algumas áreas (Quadro *et al.*, 1996).

As diferenças entre os regimes de precipitação e temperatura do ar sobre o Sul do Brasil ao longo do ano, principalmente no inverno, se devem ao fato de essa região ser influenciada por sistemas atmosféricos distintos (Satyamurty *et al.*, 1998). A geada pode ser considerada como um dos principais fenômenos atmosféricos que nela atuam.

Devido à sua localização latitudinal, a Região Sul sofre mais influência dos sistemas de latitudes médias, dentre os quais os frontais são os principais causadores de chuvas (Quadro *et al.*, 1996). Sua trajetória é fortemente ligada ao posicionamento e intensidade do jato subtropical da América do Sul (Kousky e Cavalcanti, 1984).

Outro sistema meteorológico responsável por chuvas intensas (Madox, 1983; Miller e Fritsch, 1991), principalmente no Oeste da Região Sul são os complexos convectivos de mesoescala (CCM).

Um fenômeno que pode ser responsável por anomalias de precipitação e temperatura sobre o Sul do país é o bloqueio atmosférico (Casarin e Kousky, 1986). Sua ocorrência pode trazer um padrão regional anômalo por longos períodos, tais como tempo estável prolongado próximo da sua fase de formação, com possibilidade de seca ao ocorrer na mesma região ou, até mesmo, de enchentes em áreas para as quais os distúrbios ciclônicos são desviados.

Outro fenômeno de grande escala que pode influenciar a precipitação sobre algumas regiões da América do Sul é o ENOS, cujos episódios podem causar anomalias não só na região de aquecimento do Oceano Pacífico, como por todo o globo (Grimm *et al.*, 1998, Coelho *et al.*, 2002).

As forçantes não climáticas influenciam os recursos hídricos através de mudança no uso do solo, construção de reservatórios e emissão de poluentes (IPCC, 2007a). Modificações naturais e artificiais da cobertura vegetal de bacias hidrográficas afetam seu comportamento hidrológico (Tucci e Clarke, 1997; Tucci, 2003; Zhao *et al.*, 2010).

Os fluxos globais de vapor d'água da superfície terrestre estão se modificando devido à ação do Homem. Em termos de alterações de ciclo hidrológico, o desmatamento é força motriz tão grande quanto o é a irrigação. O desmate os diminuiu em 4% – 3.000 km<sup>3</sup>/ano – a partir da terra, uma

redução quantitativamente tão grande quanto aquela causada pelo aumento de irrigação: 2.600 km<sup>3</sup>/ano (Gordon *et al.*, 2005).

Existem amplas evidências de que, mudanças no uso da terra nas bacias e sub-bacias hidrográficas do Alto do Rio Paraná e dos rios Paraguai e Uruguai podem ter contribuído para um aumento de 28% no fluxo médio desse primeiro curso d'água desde 1970. Tucci e Clarke (1998) perceberam que esse incremento na vazão ribeirinha aconteceu após grandes áreas terem experimentado o desmatamento ou modificação no uso do solo. A intensificação da atividade agrícola e industrial nessa região motivou transição de culturas de café para as de cana-de-açúcar e soja, assim como para criação de gado no alto da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná. Diferentemente da cafeicultura, a produção do último produto agrícola mencionado precisa de preparação intensiva de terreno, feita através do emprego de máquinas.

No Sul do Brasil e Norte da Argentina, observaram-se tendências de aumento de chuva e vazão de rios desde meados do século XX (Marengo e Valverde, 2007). Os rios da Prata e Paraná apresentaram queda desde 1901 a 1970 e aumento sistemático desde o início dos anos 1970 até o presente (Barros *et al.*, 1999; Tucci, 2001), fato consistente com o incremento registrado em precipitações (Hulme e Sheard, 1999).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, que drena os estados do Sul do Brasil e parte do Paraguai, tem apresentado importante aumento de vazão nas últimas décadas. O bioma Pantanal também a integra, de modo que, qualquer alteração que seus rios sofram tem implicação direta sobre a capacidade de armazenamento desse enorme reservatório natural.

A vazão nessa bacia aumentou aproximadamente 15% desde a década de 1960, o que é consistente com os crescentes valores de volume de precipitação nela observados. Isso é também coerente com mudanças nesses mesmos aspectos hidrológicos referentes a regiões do Norte da Argentina (Marengo *et al.*, 1998; Garcia e Vargas, 1998; Barros *et al.*, 1999).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraná possui séries de vazão estacionárias e não estacionárias (Müller *et al.*, 1998), cujas características são as seguintes:

- (1) as séries de vazão natural dos rios Tietê, Paranapanema e do Paraná a jusante do Rio Grande não são estacionárias, com aumento médio após 1970;
- (2) as taxas de elevação da vazão média crescem de montante para jusante;
- (3) os postos pluviométricos nas bacias dos rios Grande, Tietê e Paranapanema acusaram não estacionariedade; e, por fim,
- (4) somente a Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba manteve estacionariedade de vazão durante todo o período de análise.

Até meados do século XXI, a Bacia Hidrográfica dos rios Paraná e da Prata deverá aumentar sua vazão entre 10% e 40% no cenário A1B do IPCC, segundo doze modelos climáticos analisados por Milly (2005). O UK Met Office (2005), ao usar o HadGEM1 do Hadley Centre for Climate Prediction and Research para A1B e A2 – pessimista sobre emissão de GEEs –, atestou a previsão.

O Rio Grande, afluente do Rio Paraná, apresentou significativa divergência quanto à vazão estimada em diferentes simulações climáticas para o cenário A1B. Ela aumentaria 13%, conforme o modelo ECHAM5 do Max-Planck-Institut für Meteorologie, e 9%, segundo o HadCM3, ao passo que sofreria redução pelo apurado com os modelos do Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCMA) em -14%, do Institut Pierre Simon Laplace Des Sciences de L'environnement (IPSL) em -28% e, do HadGEM1 em -10%. Apresentou, ainda, pequena alteração de -2% na aplicação do modelo do The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Em virtude dos resultados obtidos, Nobrega *et al.* (2011) sugeriram que a escolha do modelo climático é a maior fonte de incerteza para a projeção de impactos sobre a vazão dos rios.

### 8.3.7 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE SAÚDE HUMANA

Os fenômenos climáticos podem influenciar a saúde humana de forma direta ou indireta. No caso brasileiro existem várias doenças infecciosas endêmicas que são sensíveis às variações do clima, principalmente aquelas de transmissão vetorial e as de veiculação hídrica (Confalonieri, 2005).

Efeitos diretos, tais como furacões, tempestades e inundações – especialmente em zonas urbanas – provocam mortalidade por afogamento, deslizamentos de terra, desabamentos de prédios e ondas de calor. Os indiretos, como a perda de produção agrícola, resultam em impacto nutricional e queda nos padrões de higiene pessoal e ambiental. São, também, determinantes de fenômenos demográficos (Thompson e Cairncross, 2002; Barcellos *et al.*, 2009). Enchentes ou secas afetam a qualidade e o acesso à água e podem favorecer a incidência de leptospirose, hepatites virais e doenças diarreicas.

As características físicas e químicas dos poluentes e fatores climáticos, como temperatura e umidade do ar e precipitação, definem o tempo de residência dos primeiros na atmosfera. Eles podem ser transportados a longas distâncias em condições atmosféricas favoráveis – pouco úmida e de alto índice térmico.

Em áreas urbanas, sua presença, associada a eventos meteorológicos como os de inversão térmica, podem agravar os casos de asma, alergias, infecções bronco-pulmonares e infecções nas vias aéreas superiores – sinusite –, principalmente entre os grupos mais susceptíveis que incluem crianças menores de cinco anos e idosos com idade acima de 65 anos (Martins *et al.*, 2002; Barcellos *et al.*, 2009).

Variáveis como idade, perfil de saúde, resiliência fisiológica e condições sociais contribuem diretamente para as respostas humanas relacionadas às de ordem climática (Martins *et al.*, 2004). Fatores que aumentam a vulnerabilidade a problemas de clima combinam crescimento populacional, pobreza e degradação ambiental (IPCC, 2001; McMichael, 2003).

Os riscos associados a mudanças climáticas globais não podem ser avaliados separados desse contexto. Ao contrário, deve-se ressaltar que são produtos de vulnerabilidade e perigos, como costumam ser medidos em engenharia.

Os perigos, no caso de mudanças globais, são dados pelas condições ambientais e pela magnitude de eventos. Já a vulnerabilidade é conformada pelas condições sociais, marcadas por desigualdades e diferentes capacidades de adaptação, resistência e resiliência.

Uma estimativa da vulnerabilidade de populações brasileiras apontou a Região Nordeste como a mais sensível a mudanças climáticas devido a seus baixos índices de desenvolvimento social e econômico (Confalonieri, 2005, GT2, 5.1).

A construção do indicador sintético de vulnerabilidade da população brasileira aos impactos do clima na saúde (Confalonieri *et al.*, 2005) foi baseada em três componentes principais: socioeconômico; epidemiológico e climático. Ele coloca os estados do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina e do Paraná, como detentores de bons resultados, o que resulta na menor vulnerabilidade exposta pela Região Sul.

Essas avaliações se baseiam no pressuposto de que grupos populacionais com piores condições de renda, educação e moradia sofreriam os maiores impactos de mudanças ambientais e climáticas. No entanto, como resalta Guimarães (2005), os contingentes mais pobres nas cidades e no campo têm demonstrado imensa capacidade de adaptação, uma vez que já se encontram excluídos dos sistemas técnicos.

Em se tratando de aumento de frequência e de intensidade de eventos extremos, as mudanças cli-

máticas devem, portanto, produzir impactos importantes sobre a saúde humana, porém nem todos negativos. Por exemplo, a alta na mortalidade que se observa durante as estações de inverno poderia ser reduzida com o aumento de temperatura do ar. Também, a expansão de áreas e de períodos de seca pode diminuir a propagação de alguns vetores. Entretanto, em geral, os efeitos prejudiciais deverão ser mais intENSOs que de melhoria (Barcellos *et al.*, 2009).

Em relação a muitas das doenças que afetam a população e que tem estreita relação com a variabilidade climática, os estados da Região Sul apresentam atualmente os menores índices de ocorrência comparados às demais unidades federativas brasileiras. São exemplos, a incidência média anual de 2% para casos de dengue, de 3% para os de leishmaniose tegumentar americana (LTA), de 1% para os de esquistossomose, de 15% para os de hepatites virais, resultados muito associados ao clima regional e que, frente aos cenários futuros de aumento da temperatura, umidade e precipitação, poderão crescer.

Com relação às ocorrências de leptospirose, a Região Sul já ocupa o segundo lugar em termos de incidência média anual registrada respondendo por 37% do total de casos – uma condição que poderá piorar com o aumento dos eventos extremos, potenciais causadores de inundações (OPAS, 2009).

### 8.3.8 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E SEGURANÇA ALIMENTAR

Dependente e altamente susceptível de oscilações ou a mudanças do clima, será na agropecuária que as maiores e mais diretas consequências para o Homem tenderão a ocorrer, já que sua principal finalidade é a alimentação humana e essas transformações poderão piorar o já grave problema da fome em regiões mais vulneráveis do planeta. O aquecimento do ar provocará aumento de demanda hídrica pelas culturas agrícolas e, tal necessidade de mais água poderá esbarrar com cenários de redução de chuvas.

Ao avaliar o ocorrido na agricultura em anos passados sob a influência de ENOS, se pode prever os desafios a serem enfrentados, principalmente quando são avaliados os anos de eventos *La Niña*. Os aumentos pontuais de precipitação pluvial quando da ocorrência de *El Niño* favoreceram as culturas de soja e de milho com aumentos produtivos, enquanto que, concomitantemente ao *La Niña*, acentuaram-se as perdas decorrentes de períodos de estiagem mais frequentes e prolongadas.

Devido à estiagem provocada pelo fenômeno *La Niña* durante a safra de 2004 para 2005, a produtividade média foi de apenas 698 kg ha<sup>-1</sup> de soja e 1.269 kg ha<sup>-1</sup> de milho –, considerando-se a primeira e a segunda colheitas (CONAB, 2011). Já para a produção de trigo e de arroz o cenário foi contrário. O excesso de chuva acabou favorecendo o surgimento de doenças, manteve o solo frequentemente saturado e reduziu níveis de radiação solar, fatores que reduzem crescimento aéreo e radicular e afetam negativamente os componentes do rendimento da primeira (Cunha *et al.*, 1999), e da segunda (Carmona e Berlato, 2002) culturas.

Para *La Niña*, tem-se maior frequência de eventos favoráveis devido aos altos índices de insolação no mesmo período. No Rio Grande do Sul, são conhecidas as relações entre clima e planta com ênfase no ENOS para as culturas da soja (Berlato e Fontana, 1999; 2003), do trigo (Cunha *et al.*, 1999), do arroz (Carmona e Berlato, 2002) e do milho (Berlato *et al.*, 2005). Com essa preocupação, pesquisas procuram antever as futuras mudanças em relação à atual configuração agrícola do País. Em relatório divulgado em conjunto por EMBRAPA e UNICAMP (Deconto, 2008) – cuja equipe de pesquisadores é especialista em zoneamento agrícola de risco climático e, por isso, acostumada a quantificar a interferência do clima na agricultura – foi exposta uma nova geografia da produção nacional desse setor com base nas projeções de mudanças climáticas apontadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).



As previsões climáticas para o Brasil até os anos de 2020, 2050 e 2070, foram projetadas por meio do modelo climático *Providing Regional Climates for Impact Studies* (PRECIS), coordenadas por pesquisadores do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do INPE.

Os resultados mostraram que, com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, as culturas de algodão, arroz, café, feijão, girassol, milho e soja sofrerão impactos negativos, apresentando diminuição de produção em função da redução de áreas com baixo risco climático. Para a Região Sul do País, mesmo que um aumento na temperatura do ar reduza o risco de geadas, possibilitando a áreas hoje restritas ao cultivo de plantas tropicais tornarem-se futuramente viáveis, não haverá compensação de perdas com um clima mais quente.

Como segunda maior produtora de soja do Brasil, a Região Sul estaria diante de perdas significativas, segundo apontam as projeções a partir de cenários futuros. Caso as condições de cultivo se mantenham como as atuais e nenhuma modificação genética seja feita, essa é a cultura que mais deve sofrer com o aquecimento global.

Até 2070, a área de baixo risco no País pode ser reduzida a 60% da hoje existente em decorrência do aumento na deficiência hídrica e de possíveis veranicos mais intENSOs. Conjuntamente, a área nordestina de cerrado e a Região Sul do Brasil serão as mais fortemente afetadas. Nacionalmente, já em 2020, o solo de baixo risco para cultivo será reduzido em 21,62% a 23,59%, com sua parcela apta encolhendo até 2050, de 29,6% a 34,1%, em relação à extensão atual.

Conforme o estudo, opostamente a todas as perdas apontadas para a Região Sul, as projeções de mudanças climáticas futuras até certo ponto poderiam ser benéficas. A redução de geadas que atingem com maior frequência os estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, prejudicando entre maio e agosto cultivos como os de café e milho e as culturas hortícolas e frutíferas, causaria a migração de outras, adaptadas ao clima tropical, para áreas mais ao Sul do País e de maiores altitudes, para compensar a elevação de temperatura do ar.

Com um aumento próximo a 3° C – valor do aquecimento médio estimado pelo IPCC como mais provável até 2100 –, é provável que ocorra o deslocamento das culturas de café e cana-de-açúcar para áreas de maiores latitudes. Em relação à cana-de-açúcar, plantações nelas localizadas, que hoje apresentam restrições para cultivo pelo alto risco de geadas, perderiam essa característica, principalmente no Rio Grande do Sul, e se transformariam em regiões de potencial produtivo dentro de dez a 20 anos.

Para o arroz, cultivado e vermelho, Lago *et al.* (2008) avaliaram a resposta do desenvolvimento das plantas a diferentes graus de aumento em temperatura mínima e máxima do ar diárias verificadas no município gaúcho de Santa Maria. Para cenários climáticos de 100 anos, com aumentos simétricos e assimétricos de temperatura mínima e máxima de 0° C, +1° C, +2° C, +3° C, +4° C e +5° C a partir da base de dados de 1969 a 2003 e, utilizando-se nove genótipos de arroz cultivado e dois biótipos de arroz-vermelho, os resultados mostraram que, de forma geral, houve diminuição na duração do subperíodo vegetativo – emergência – diferenciação da panícula –, enquanto que o reprodutivo – diferenciação da panícula, antese – e o enchimento de grãos – antese, grãos com casca amarronzada – se prolongaram com a elevação térmica da atmosfera nos cenários de mudança climática.

Ainda para o arroz irrigado, no mesmo cenário de aumento e na temperatura do ar, porém com o dobro da concentração atual de CO<sub>2</sub> atmosférico, Walter *et al.* (2010) simularam os efeitos do clima sobre o rendimento de grãos para três cultivares de arroz (IRGA 421, IRGA 417 e EPAGRI 109) em sete datas de semeadura entre 20 de julho e 20 de janeiro, com intervalos mensais. Observaram maior produtividade para todos os materiais genéticos testados – de sinal mais positivo para cultivares de ciclo muito precoce (IRGA 421) e menos elevado, para aqueles de ciclo longo (EPAGRI 109).

Apesar de o incremento térmico aumentar a esterilidade de espiguetas, a semeadura em épocas não utilizadas para cultivo atualmente, tais como nos meses de agosto e setembro, tornar-se-ia ideal pela redução desse efeito, antes causado pelo frio. Portanto, se tais mudanças climáticas se confirmarem, o período atualmente recomendado para semear cultivares de arroz irrigado deverá ser ampliado.

Quanto à produção de milho, ao avaliarem a fenologia da cultura sob cenários de mudanças climáticas, Streck *et al.* (2010) destacaram dois aspectos importantes:

- a) o de encurtamento do período de desenvolvimento foliar e;
- b) o de que o insucesso do cultivo de milho em razão de geada diminuiria, em cenários de temperatura do ar elevada, para as datas de emergência classificadas como  *muito cedo* e  *muito tarde*, o que resultaria em aumento da estação produtiva no município gaúcho de Santa Maria, em condições de clima mais quente, similar ao observado para a plantação de arroz (Walter *et al.*, 2010).

Quanto a alterações de produtividade nas culturas de milho, soja e trigo, Streck e Alberto (2006) simularam diferentes aumentos da temperatura ao ar, com o dobro da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico atual – de 700 partes por milhão (ppm) – Observaram que, para a primeira delas, elevação de 3° C e 4° C anulariam os efeitos positivos do aumento de CO<sub>2</sub> sobre o rendimento da cultura. Na condição climática de Santa Maria, aquecimento de 2° C, associado a dióxido de carbono mais concentrado promoveria maior colheita de grãos por planta independentemente de precipitação pluvial mais farta.

Aumentos de 5° C a 6° C diminuiriam significativamente o rendimento de grãos de trigo. Também para o milho, a elevação de 2° C a 3° C na temperatura do ar tenderia a anular o efeito positivo de maior volume de CO<sub>2</sub> sobre o rendimento da cultura. Para a de milho, aquecimento igual ou superior a 4° C, provocaria produtividade menor. Já quanto à produção de soja, observou-se redução nos desvios produtivos por conta desse mesmo fator climático, sendo que, apenas a partir de uma expansão térmica de 6° C se verificaria alteração negativa.

Completando o desenvolvido por Siqueira *et al.* (1994) ao avaliar os reflexos de mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS sobre a produção agrícola brasileira enfocando as culturas de trigo, milho e soja, descrevem, para trigo e milho, uma relação inversa aos aumentos das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, com queda de 20% da produtividade de trigo e de 8% da produtividade de milho para a Região Sul, reflexos diretamente associados com os aumentos de temperatura.

Quanto à cultura de soja, relatam resultados diferenciados e antagônicos aos obtidos para as de trigo e milho. Simulações apontaram reflexos positivos na produção de biomassa e de grãos em relação aos cenários climáticos decorrentes do aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico, aparentemente superando os efeitos negativos do aquecimento do ar. Para a Região Sul, esse trabalho apontou aumentos potenciais de 30% para o cultivo de soja, divergindo dos resultados colhidos por Streck e Alberto (2006).

Para a cultura da batata, Fagundes *et al.* (2010), ao avaliarem os efeitos de mudanças climáticas baseados em dados meteorológicos de Santa Maria, no RS, e em cenários sem e com alterações na temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> atmosféricos, apontaram que, para anular o efeito benéfico desse gás concentrado sobre a produtividade no cultivo durante a primavera, bastariam aumentos simétricos de 4° C nos índices térmicos mínimos e máximos diários e assimétricos de 5° C. Já no outono e em igual circunstância, os tubérculos praticamente não teriam sua rentabilidade afetada.

Esses autores concluíram, também, que a antecipação da data de plantio no cultivo de primavera e o atraso no de outono, diminuiriam o impacto negativo do aumento na temperatura do ar sobre a produtividade do tubérculo.

Quanto aos impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento da cultura do feijão no Estado de Santa Catarina, conforme Pandolfo *et al.* (2007b), as mudanças climáticas podem causar, no longo prazo, grandes efeitos sobre a cadeia produtiva, restringindo seu cultivo a algumas regiões por aumentos de deficiência hídrica e abortamento floral. Além da redução do ciclo de desenvolvimento devido à temperatura do ar mais elevada, haveria dificuldade para competir com plantas daninhas de metabolismo C4. Suas taxas de crescimento – por unidade de tempo, e eficiência na produção de fitomassa, por quantidade de água consumida – seriam maiores comparada à cultura do feijão principalmente no início do cultivo, sua conversão de energia luminosa, melhor, e, seus problemas com pragas e doenças, agravados.

Como principal produtora de frutas de clima temperado, a Região Sul tem tido os possíveis impactos de mudanças climáticas sobre a fruticultura como é foco de pesquisas. Os aumentos da temperatura do ar registrados nas últimas décadas nos estados do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina e do Paraná, e as projeções futuras (IPCC, 2007) se deram em oposição à dependência dessas espécies ao acúmulo de horas de frio para quebra de dormência.

Considerando cenários de aumento na temperatura do ar de 1° C, 3° C e 5,8° C (IPCC, 2001), Wrege *et al.* (2010) estimaram as alterações na disponibilidade de número de horas de frio (NHF) para os três estados da Região Sul, com base em dados de 81 estações meteorológicas. A se confirmar o cenário de aumento de 1° C haveria diminuição de áreas com maior acúmulo dessa condição temporal, padrão que se acentuaria no caso de uma elevação de 3° C.

Já na hipótese de um incremento de 5,8° C, todas elas praticamente desapareceriam, com exceção de pequenas zonas situadas em pontos mais altos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, onde o NHF máximo seria de 334 horas.

Ao avaliar os padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na Região Sul do Brasil e seus impactos sobre os cultivos de pêssigo e nectarina no Estado de Santa Catarina, Campos (2011) destacou que, em função dos cenários futuros de clima de 2071 a 2100 – e para outros dois panoramas, de extremos de emissões de GEEs – o A2 e o B2 elaborados pelo IPCC (2007) –, seria possível obter benefício devido à diminuição de riscos de geada – e, por consequência, de produção.

Porém, independentemente do cenário – A2 ou B2 –, a redução de 200 a 300 horas de frio em quase todo o estado catarinense, acabaria reduzindo as áreas aptas ao plantio de pêssigo e nectarina, restringindo essas produções às localidades de maior altitude do planalto sul estadual. A restrição na extensão desses cultivos está prevista para o extremo Oeste e as regiões serranas de Santa Catarina.

Para o cultivo de videira – *Vitis vinifera* L nesse mesmo estado, Pandolfo *et al.* (2009), ao se utilizarem dos critérios do zoneamento agrícola propostos por Agroconsult (2010), estimaram o impacto de mudanças climáticas para os próximos 20 e 50 anos analisando a tendência de horas de frio inferior ou igual a 7,2° C. Os resultados apurados mostraram redução de áreas potenciais de cultivo, ainda maior nas áreas de produção desse fruto.

Com relação aos cultivos de maçã e, também, de banana – frutífera de clima tropical altamente susceptível a geadas –, Pandolfo *et al.* (2007a) analisaram como aumentos na temperatura média do ar influenciariam o zoneamento agroclimático do Estado de Santa Catarina. Os resultados obtidos mostraram restrições às áreas para o plantio da primeira e, expansão daquelas aptas, para o da segunda. Porém, ressaltaram que a ampliação de terras para a bananicultura também poderá ser acompanhada de maior incidência de doenças e pragas de ciclo curto.

Com relação à produção cafeeira, Assad *et al.*, (2004) avaliaram o efeito de aumento na temperatura do ar sobre áreas atualmente aptas ao cultivo, incluindo o norte paranaense. Ao simularem aquecimento médio anual de 1° C, 3° C e 5,8° C (IPCC, 2001), encontraram nelas grande alteração, mesmo considerando acréscimo de 15% na precipitação pluvial. Para o Estado do Paraná,

com elevação de 1° C, ocorreria expansão da terra apropriada devido a deslocamento de produção para o Sul de seu território, ainda mais acentuado no cenário intermediário, de mais 3° C, porém já com registros de redução do solo estadual adequado de 86,8% para 66,7%. Com um acréscimo de 5,8° C, ele se contrairia em 25,2%.

### 8.3.9 SÍNTESE DAS ANÁLISES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alterações na cobertura e uso da terra, com retirada de floresta e inclusão de cultivos agrícolas, anuais ou perenes, tais como os observados na Região Sul, geraram modificações no balanço de energia, com influência irrestrita às fronteiras dos seus três estados e potencial para modificação de seus regimes térmico e hídrico.

Essa é a única região do Brasil que apontou tendências positivas em sua pluviometria até agora. Com mudanças climáticas e expectativa de maior frequência de eventos extremos – em suas áreas mais ao Sul, sobretudo –, se espera aumento de pluviosidade até o fim do século. A temperatura do ar seguiu o padrão de aumento em seus valores médios, com redução dos episódios de geadas e de dias frios acompanhando o verificado nas outras regiões do País.

Dentre os riscos de eventos extremos identificados, destacam-se os de enchentes e alagamentos, com grandes volumes de precipitação pluviométrica em curto espaço de tempo. Além de provável quebra de produção de alimentos, um desafio para a Região Sul são as cidades localizadas próximas aos rios. Em novembro de 2008, o Estado de Santa Catarina foi surpreendido por um evento de precipitação intensa. Aproximadamente 700 mm de chuva em curtíssimo período devastaram parte do Vale do Itajaí. O Centro de Operações de Defesa Civil de Santa Catarina estimou que 1,5 milhão de pessoas foram afetadas, com 135 mortes.

Além do volume pluviométrico anômalo, a vulnerabilidade dos municípios da região contribuiu para a gravidade do evento. Situações como essa, poderão se tornar mais frequentes. Com o aumento predominantemente urbano da população, os tomadores de decisão devem considerar meios de adaptação importantes.

O meio agrícola passará por adaptações, com a introdução de espécies exógenas devido à baixa temperatura. Culturas anuais como as de soja e de milho poderão ser substituídas por outras, parcialmente perenes e perenes, tais como as de cana-de-açúcar e de café. As frutíferas que necessitam de horas de frio poderão não encontrar mais ambiente adequado para o seu desenvolvimento potencial, entretanto são baixos seus riscos com a perda de áreas agriculturáveis. Técnicas alternativas como as de plantio direto e consórcio entre florestas, gado e agricultura podem ser medidas necessárias para se minorar os riscos climáticos a advir.

## 8.4. REGIÃO SUDESTE

### 8.4.1. INTRODUÇÃO

A Região Sudeste é formada pelos estados de Espírito Santo (ES), Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP), totalizando área de 924.266 km<sup>2</sup>, equivalente a 10,86% do território brasileiro, com uma população de 80.353.724 habitantes, assim distribuída:

- 3.514.952 habitantes em 78 municípios do ES, cuja densidade demográfica é de 76,25 hab/km<sup>2</sup>;
- 19.597.330 moradores em 853 municípios de MG, cuja densidade demográfica é de 33,41 hab/km<sup>2</sup>;
- 15.989.929 residentes em 92 municípios do RJ, cuja densidade demográfica é de 365, 23 hab/km<sup>2</sup>; e, ainda,

- 41.262.199 pessoas em 645 municípios de SP, estado cuja densidade demográfica é de 166,25 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2011).

Embora a Região Sudeste esteja localizada, quase que em sua totalidade, na área tropical localizada entre as latitudes 14° e 25°, seu clima se caracteriza como o mais diverso das regiões brasileiras, devido à distribuição longitudinal e à altimetria de seu território. Ele abrange o Planalto Atlântico e as serras do Mar, da Mantiqueira, do Espinhaço, dos Órgãos, da Canastra e de Caparaó, quase todas dispostas no sentido de Norte para Sul, de modo a produzir um clima tropical de altitude e incrementar as chuvas locais pelo efeito orográfico, além de constituírem barreira às precipitações, que, devido ao relevo, diminuem do Leste para o Oeste.

A dinâmica atmosférica da Região é influenciada por sistemas atmosféricos da baixa troposfera e pelas Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), resultantes do corredor de umidade da massa equatorial continental em sentido Noroeste para Sudeste, das linhas de instabilidade do ar tropical e dos complexos convectivos de *mesoescala* (CCMs) que, somados, intensificam perturbações e instabilidades no clima regional (Sant'Anna Neto, 2005).

Em decorrência de tais fatores, essa região brasileira apresenta 14 subtipos climáticos (IBGE, 2006 *apud* Neto, 2005), classificados, a partir de seus respectivos índices de temperatura média do ar e regimes pluviométricos, em três grandes conjuntos. O primeiro grupo é caracterizado por clima quente, com cinco subdivisões possíveis em função da distribuição pluvial. O segundo é denominado *subquente* e se define por médios níveis térmicos na atmosfera ligeiramente influenciados pela altitude com características pluviométricas semelhantes as do interior e, o terceiro deles, é composto por subgrupos mesotérmicos, mais brando e uniforme em termos de aquecimento e distribuição sazonal de chuvas (Sant'Anna Neto, 2005).

Os solos da Região Sudeste também apresentam grande variedade dada sua localização em zona de transição climática e diversidade de relevo, vegetação e material geológico de origem. Eles podem ser classificados em quatro grandes áreas:

uma região semiárida ou *polígono das secas*, situada ao Norte da Região Sudeste, cujos solos apresentam similaridade com os do sertão nordestino;

uma faixa litorânea que compreende depósitos arenosos onde se encontram, principalmente, *neossolos quartzarênicos* ou quartzosos, *espodossolos* nas areias da orla costeira além de outros sedimentos e, ainda, alguns tabuleiros onde são mais comuns os *latossolos* e *argissolos* amarelos;

uma área montanhosa que abriga a maior parte dos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e partes do Leste São Paulo e de Minas Gerais, sendo nela predominantes os *argissolos* e *latossolos* vermelho-amarelos, desenvolvidos principalmente em materiais derivados de granitos, gnaisses e xistos em trechos de relevo *mamelonar* – conhecido como mar de morros –, e *neossolos litólicos* e *cambissolos* em terras com declives acentuados;

planaltos de origem sedimentar, situados no Oeste dos estados de Minas Gerais e São Paulo, com predominância de *latossolos* vermelho-amarelo e vermelho e de *neossolos quartzarênicos*, sendo que os mais produtivos, tais como as *terras roxas*, se encontram nos vales dos rios Parnaíba, Grande e Paranapanema e em grande parte da porção ocidental paulista (Lepsch, 2005).

Em suma, ao se observar a distribuição de solos na Região Sudeste, segundo levantamento e mapas elaborados por Manzatto *et al.*, (2002), constata-se que as classes encontradas na região são as seguintes:

*argissolos* – 20,68%,  
*cambissolos* – 8,64%,  
*chernossolos* – 0,21%,  
*espodossolos* – 0,37%,  
*gleissolos* – 0,5%,  
*latossolos* – 56,30%,  
*neossolos* – 9,38%,

nitossolos – 2,56%,  
planossolos – 0,16%,  
vertissolos – 1,20% e,  
solos com uma porcentagem de água, neles infiltrada, de 1,20%.

Salvo pelas faixas litorâneas de dunas, os solos da Região Sudeste tiveram origens graníticas, basálticas e gnáissicas antigas, altamente afetadas por intemperismo, tendo sido, portanto, a chuva e a temperatura do ar sobre o local, mais determinantes do que eles próprios para a formação vegetal (Dean, 2004).

Sob o domínio dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, a vegetação da Região é composta tipicamente por fisionomias de florestas, ombrófila densa e estacional semidecídua, e de savana. Atualmente, a primeira se restringe a poucos agrupamentos isolados presentes nas encostas voltadas para o mar nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, no Sudeste, e Santa Catarina, na Região Sul (Veloso *et al.*, 1991).

A floresta estacional semidecídua é um dos ecossistemas desse tipo de vegetação mais ameaçados no Brasil. Está restrita, no momento, a alguns poucos fragmentos remanescentes com apenas 6,8 % da sua área total, preservada dentro de unidades de conservação (Ribeirito *et al.*, 2009 apud Brassaloti *et al.*, 2010), que se encontram por quase todo o Estado do Espírito Santo, principalmente em trechos de altitudes baixa e mediana, ocupando em sua maioria, áreas úmidas, acompanhando cursos d'água e sendo relevantes para proteção de recursos hídricos (Barata e Confalonieri, 2011). Sua devastação está associada, sobretudo, à expansão de fronteiras agrícolas no início do século XX (Duigan *et al.*, 2000 apud Brassaloti *et al.*, 2010).

Além de apresentar maiores índices de densidade demográfica e urbanização do País, a Região Sudeste tem a economia mais industrializada entre todas as cinco, com apenas 12,8% de sua população ocupada no ramo agrícola (IBGE, 2001).

#### **8.4.2 CARACTERÍSTICAS PECULIARES DA REGIÃO – MUDANÇAS NO USO DE TERRA**

O avanço da produção agrícola e a urbanização nos estados da Região Sudeste provocaram desmatamentos das áreas de florestas, restinga e mangue no bioma Mata Atlântica. No período de 2008 a 2010, ele recobriria parcialmente os territórios de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Em 2010 sua vegetação remanescente, somados os três tipos citados, totalizava 11,07% no Espírito Santo, 10,4% em Minas Gerais e 19,61% no Rio de Janeiro, enquanto que, em São Paulo, se encontravam intactos 15,78% das áreas de floresta e restinga. O desflorestamento ocorrido de 2008 a 2010 correspondeu a 0,05% da extensão original total no Espírito Santo, a 0,45% em Minas Gerais, a 0,03% no Rio de Janeiro e a 0,02% em São Paulo (SOS Mata Atlântica, 2011).

Informações mais detalhadas sobre as emissões e remoções de CO<sub>2</sub> decorrentes do uso de terra, mudanças em sua utilização e na de florestas foram localizadas por este Relatório para o Estado de São Paulo, onde a emissão de dióxido de carbono diminuiu sensivelmente no período de 1994 a 2002 e se manteve em declínio menos acentuado de 2002 a 2005 e de 2005 a 2008. As remoções desse gás predominaram no balanço para tais setores paulistas na análise de 1994 a 2008 (FUNCATE, 2012).

O processo de ocupação da Região Sudeste do Brasil guarda algumas especificidades, tais como a criação de gado e a cultura do café, que foram suas alavancas. O *triângulo mineiro* era área tradicionalmente ocupada pela pecuária em grandes fazendas e com presença de cultivos em pequena produção agrícola para consumo local e regional em terras de cerrado.

Uma das culturas pioneiras a ocupar o Sudeste foi o café, que por longo período foi o principal gerador de riquezas para o Brasil, em especial, a partir de São Paulo. O lucro acumulado com sua produção e exportação também influenciou o povoamento da Província do Rio de Janeiro e contribuiu para firmar a então capital do Brasil como centro de irradiação para ocupação da Região Sudeste no século XIX.

O café seguiu os passos da lavoura canavieira nas terras do Rio de Janeiro, começando pelos arredores da capital e aproveitando a estrutura de plantação preexistente. Teve início como agricultura complementar e depois, aproveitando a elevação dos preços internacionais, chegou à região serrana do futuro estado federativo (Heredia *et al.*, 2010).

A devastação das florestas que diminuiu de tal forma os mananciais que abasteciam a então capital, instigou o governo, alarmado com a situação em 1857, a iniciar a desapropriação de propriedades na floresta da Tijuca. E, em 1861, foi iniciado o reflorestamento da região, a fim de protegê-los.

No início dos anos de 1880 estavam plantados com café aproximadamente 700.000 hectares no futuro estado fluminense, cuja produção era exportada pelo porto do Rio de Janeiro. Essa riqueza influenciou o desenvolvimento de várias cidades e vilas pelo caminho de busca por solos virgens e produtivos e de áreas ainda florestadas (Laerne, 1885 *apud* Melo, 2008). Com cerca de 75.000 km<sup>2</sup>, essa região cafeeira pertencia às antigas províncias do Rio e de Minas Gerais – em cerca de 35.000 km<sup>2</sup> na sua parte leste entre o Rio Paraíba do Sul e a Serra da Mantiqueira – a uma pequena área de São Paulo e Espírito Santo (Melo, 2008).

A área onde hoje se localiza a Floresta da Tijuca foi devastada, primeiro para a produção de carvão e, depois, para ser ocupada por cafeeiros no século XIX. O Rio de Janeiro era, então, responsável pela sua produção e escoamento. Essa cultura em terras com declive acentuado e sem manejo adequado para preservação de solo gerou nele erosões intensas que o esgotaram rapidamente e a cultura, em seguida, migrou para o Oeste da Província de São Paulo, centralizando-se no município de Campinas e se estendendo até o de Ribeirão Preto.

A cultura cafeeira penetrou no Estado de São Paulo vinda do Rio através do Vale do Paraíba. Alastrou-se rapidamente, atingiu o centro-oeste paulista e seguiu em direção ao Estado do Espírito Santo (Melo, 2008).

Em meados do século XIX, o café já era o principal produto comercial brasileiro, representando 3/4 do valor das exportações da época e influenciando profundamente na ocupação da região. A introdução das ferrovias viabilizou a vinda em massa de migrantes e a ocupação das terras motivada pelo café foi ajudada pela expansão ferroviária (Carvalho, 2007). Do total do produto embarcado pelo porto do Rio de Janeiro em 1850, 79% eram provenientes da própria Província, enquanto que o Espírito Santo respondia pela origem de 2%, Minas Gerais de 8% e São Paulo de 11%. Então, a cafeicultura respondia por 40% das exportações do Brasil.

O açúcar – então, segundo produto brasileiro em volume exportado –, representava cerca de 30% do total (Ferreira, 1860 *apud* Melo, 2008). Por volta de 1885, toda a região centro-oriental paulista já estava efetivamente ocupada, a produção cafeeira do Estado de São Paulo representava metade da nacional, a migração de mineiros e cariocas havia sido expressiva e foi seguida pela chegada dos estrangeiros.

Até a década de 1930, a cultura cafeeira foi a base da economia do País e estava sediada principalmente no Sudeste, em especial no Estado de São Paulo, onde se constituiu em uma das forças responsáveis pela sua urbanização. Assim, a história do desmatamento desta região segue a mesma trilha da expansão cafeeira, cuja produção se deslocou para o Sul de Minas Gerais, principalmente a partir da década de 1980. Um dos motivos desse deslocamento foram os riscos climáticos presentes em São Paulo, particularmente, de geadas e de secas que provocaram queda

na rentabilidade da lavoura (Carvalho, 2007).

O café foi, certamente, um dos principais propulsores para construção de ferrovias na primeira metade do século XX, em particular no Sudeste. Embora a estrada de ferro transportasse o gado mais depressa ao mercado, reduzindo a necessidade de derrubada de florestas ao longo das trilhas da pecuária que se estendiam até o Rio de Janeiro, a demanda urbana por carne de boi era muito maior e, ao fim das longas marchas que os traziam até os terminais ferroviários, o rebanho ainda tinha que ser engordado. Eram estocadas nos terminais dos estados de São Paulo e Minas Gerais, mais de um milhão de cabeças, o que implicava queima de cerca de 2500 km<sup>2</sup> de floresta primária para se plantar pastos artificiais e alimentá-las anualmente, ao fim dos deslocamentos (Dean, 2004).

Por sua vez, a produção de açúcar até 1700 – 150 anos após sua exportação alcançar escala comercial –, além de ter eliminado cerca de mil km<sup>2</sup> de Mata Atlântica com os campos de cana – assumindo-se crescimento quase constante e um tempo médio de quinze anos para se abandonar terras cansadas para agricultura de subsistência ou pastagens – consumia floresta na forma de lenha queimada, no processo de cristalização de caldo de cana.

Isso teria levado essa cultura a consumir mais de 1200 km<sup>2</sup> de floresta no curso de 150 anos, calculando-se duzentas toneladas de lenha por hectare (Dean, 2004). Por outro lado, no século XX, principalmente a partir dos anos 1970, o açúcar se tornou rentável no Estado de São Paulo ocupando espaços anteriormente abertos pelos cafeeiros e incentivado pela implantação de uma política energética nacional de biocombustíveis – o Plano Proálcool (Carvalho, 2007). Hoje, no século XXI, é uma presença significativa nesse estado.

A laranja também foi introduzida na região, na década de 1980, e tornou o País o maior produtor mundial de suco. O esgotamento dos solos com a cultura do café empobreciu significativamente as áreas férteis e, auxiliado pelos fatores anteriormente citados, encorajou a conversão das antigas regiões cafeeiras a outras culturas. A liberalização da política cafeeira nacional trouxe possibilidades para sua produção no Brasil a partir dos anos 1980, mas outros os estados que ao longo das décadas de 1980 e 1990, aproveitaram da melhor maneira possível à nova conjuntura – em especial, Minas Gerais (Broggio *et al.*, 1999). Segundo informações da Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais, atualmente é esse o maior produtor de café, respondendo por 52% da produção nacional.

Em similitude com o que ocorreu no Sul do País, pode-se afirmar que a destruição das matas pluviais e sua substituição por cafezais, quase sem deixar reservas ou florestas de proteção de nascentes em muitas das áreas, aumentou a variabilidade na precipitação pluviométrica intensificando a ocorrência de escassez e ou abundância, como aconteceu no Estado do Paraná (Maack, 1981). Também ocorreu no Sudeste processo similar, no qual o desmatamento, iniciado no processo de modernização agrícola, nas décadas de 1930 e 1950 causou o mesmo efeito (Kageyama, 1990).

Um experimento numérico com o modelo *Brazilian* RAMS (BRAMS), realizado sobre o Sudeste do Brasil com o objetivo de investigar as mudanças no clima devido a alterações no uso de terra durante os últimos 150 anos, mostrou que elas influenciaram o padrão espacial de precipitação, incrementando-o em algumas áreas e diminuindo-o em outras, com forte dependência do tipo e distribuição da vegetação. Além disso, evidenciaram redução de 5% no índice pluviométrico médio anual e incremento de até 0,6° C na temperatura do ar no Sudeste brasileiro (Négron Juárez e Rocha, 2004).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ressaltou que as florestas podem estar entre as principais vítimas de mudanças climáticas, resultantes de impactos danosos sobre o meio ambiente e ecossistemas, em especial sobre os meios de subsistência para populações que são diretamente dependentes da floresta e de outros ecossistemas (IPCC, 2001 *apud* Pellegrino *et al.*, 2007).



### 8.4.3 VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (*IPCC-AR4*), divulgado em 2004, demonstrou conclusivamente os perigos do aumento de concentração de GEEs na atmosfera, resultantes da baixa capacidade dos países em reduzir suas emissões, e projetou aumento na temperatura global entre 2° C a 4,5° C sobre os níveis registrados antes da era pré-industrial. A estimativa mais provável fala em incremento médio de 3° C, assumindo que os níveis de CO<sub>2</sub> se estabilizem em patamar 45% acima do atual (*IPCC, 2004 apud Marengo et al., 2007*).

Para o Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,75° C até o final do Século XX, considerando a média anual 1961 a 1990 de 24,9° C, tendo o ano de 1998 sido registrado como o mais quente, até 0,95° C acima da normal climatológica de 24,9° C.

Em nível regional, pode-se observar que, para o período de 1951 a 2002, os índices mínimos de temperatura do ar aumentaram. Tendências de aquecimento foram detectadas anual e sazonalmente, maiores durante o inverno e a primavera (*Relatório 2, Obregon e Marengo, 2007 apud Marengo et al., 2007*).

Tendências lineares de chuva anual no período de 1951 a 2002 foram observadas (*Marengo et al., 2007*), incluindo propensões positivas de até +120 mm/década para a maior parte do Sul e Sudeste do Brasil, assim como alguns postos pluviométricos detectaram séries declinantes para Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Estudos têm mostrado relação de extremos de chuva no Sudeste e no Sul do Brasil ao padrão de frequência e intensidade de circulação, tais como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ou o jato de baixos níveis da América do Sul (SALLJ). Em especial, pode-se citar o Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC que exibiu tendências positivas de noites quentes para o Sudeste brasileiro, de 5% na década de 1950 até quase 35% no início do século XXI, enquanto que, os dias frios apresentaram frequência de 25 a 30% na década de 1970, chegando até a faixa entre 5 e 10% nos anos de 2001 e 2002, em comportamento consistente com propensões positivas de grande magnitude registradas no Brasil para índices mínimos de temperatura e, em menor grau, para os máximos.

Os dados das estações analisadas mostraram tendência de aumento de episódios de chuva intensa, definidos pelo índice R10 – o número de dias com mais de 10 mm de precipitação – e de pluviosidade extrema, definido pelo índice R95t – a fração do volume pluviométrico total devida a eventos acima do percentil de 95th – sobre grande parte do Sudeste da América do Sul, o centro da Argentina e até as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Na Região Sudeste, as tendências de chuva apareceram mais intensamente no Estado de São Paulo, mas a falta de dados pluviométricos não permite estender a análise para o de Minas Gerais. Vários estudos já identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa e muito intensa concentrada em tempo curto, bem como na quantidade concentrada em eventos chuvosos, os quais indicam ocorrência provável de enchentes no período de 1961 a 2000 (*Marengo e Valverde, 2007 apud Marengo et al., 2007*). Portanto, essa região brasileira não mostrou mudanças perceptíveis ou aumento de volume de precipitação definido até finais do século XX, mas ele pode ter sido mais intENSO (*Marengo et al., 2007*).

A média dos modelos estudados (*Marengo et al., 2007*) é indicativa de maior probabilidade de redução de chuva nessas regiões em consequência do aquecimento global. Para o futuro, a Bacia Hidrográfica do Rio da Prata ainda apresenta tendências positivas, enquanto que, sobre terras tropicais, se detectaram tendências positivas no caso da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas e, negativas, para o Nordeste e Sudeste do Brasil, contrastando com o apurado no presente.

As observações mostraram, ainda, que, para o Sudeste da América do Sul, os modelos para o clima do presente simulam bem as tendências observadas de aumento de chuvas intensas, representadas

pelo índice R10, o que confere um alto grau de certeza sobre as propensões futuras delineadas para essa região.

Poucos estudos enfocaram o impacto de mudanças climáticas sobre a biodiversidade do Brasil (Canhos *et al.*, 2008), destacando-se, nessa reduzida literatura especializada, aqueles a respeito desses efeitos sobre as espécies arbóreas de cerrado (Siqueira e Peterson, 2003) e de mata atlântica (Colombo, 2007). No primeiro caso, tal vulnerabilidade foi avaliada (Siqueira e Peterson, 2003 *apud* Canhos *et al.*, 2008) a partir da seleção de 162 delas e se projetou as futuras áreas potenciais de ocorrência das mesmas, baseadas em dois cenários climáticos do IPCC (2007).

Sua conclusão evidenciou uma perda de área maior que 50% para todas as espécies analisadas nos dois cenários. Esse processo indica extinção ou significativa redução de áreas habitáveis no bioma Cerrado para grande parte das variedades estudadas (Canhos *et al.*, 2008).

Seguindo essa tendência, os resultados desse estudo mostraram retração territorial média de 25% do bioma Mata Atlântica para todas as suas 38 espécies no cenário mais otimista e de 50%, no cenário mais pessimista, com deslocamento para o Sul.

#### 8.4.4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR4), no capítulo sobre a América Latina, a região tem sido afetada severamente por eventos extremos e variabilidade climática nos últimos anos, destacando-se relatos como secas na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas em 2005 e observadas na Região Sul do Brasil em 2004, 2005 e 2006, o furacão Catarina no Sul do Oceano Atlântico em 2004 (IPCC, 2007).

As mudanças no uso de terra têm afetado sensivelmente o clima da América do Sul (IPCC, 2004 *apud* Marengo e Valverde, 2007). Ainda segundo o Relatório, se pode observar aumentos de chuva no Sudeste. Os mesmos modelos utilizados pelo IPCC-AR4 (Vera *et al.*, 2006 *apud* Marengo e Valverde, 2007), para o período de 2070 a 2099 no cenário A1B, apontaram aumento de precipitação sobre a porção subtropical do continente durante o verão e sua redução durante o inverno sobre quase todo o Brasil. Destaca-se também nesse documento, a menção a um possível impacto de mudanças climáticas sobre os regimes hidrológicos e térmicos na Bacia Hidrográfica dos rios Paraná-Prata e a consideração da grande contribuição da mesma ao PIB do Brasil (Marengo e Valverde, 2007).

Entre as principais metrópoles da Região Sudeste do Brasil, cita-se como exemplo para cenários climáticos futuros, as principais ameaças naturais no município do Rio de Janeiro, que estão associadas a enchentes e inundações, além de movimentos de massa, como deslizamentos ou escorregamentos, que ocorrem em período chuvoso. Isso demanda análise de cenários de risco e condições de vulnerabilidade em conjunto com projeções de intensificação de ocorrência de eventos pluviométricos locais, considerando ainda, a expansão urbana, a forma de uso e ocupação de solo e o planejamento municipal (Young e Hogan, 2010).

Destaca-se que a situação do município do Rio de Janeiro é comum à enfrentada por outras regiões metropolitanas do Sudeste, sendo que esse tipo de área não responde de modo homogêneo aos eventos associados a mudanças climáticas devido à diversidade de condições naturais e sociais nela encontradas.

Áreas atingidas por inundações que possam vir a resultar de combinação entre elevação de nível do mar e eventos extremos terão efeitos diferenciados sobre estruturas produtivas, grupos sociais e condições ambientais, além de impactos geoeconômicos significativos para o Estado do Rio de Janeiro e sua metrópole, uma vez que a principal atividade econômica estadual – a extração marítima

ma ou *offshore* de petróleo e gás natural – é atividade extremamente vulnerável a eventos extremos (Egler, 2008).

Estudos apontaram elevação média de 2° C a 3° C na temperatura do ar na Região Metropolitana de São Paulo entre 2070 e 2100 que pode dobrar o número de dias com chuvas intensas – aquelas com volume acima de 10 mm. Nesse contexto, a principal vulnerabilidade dessa região são as enchentes, as inundações com alta energia de escoamento, as enxurradas com int<sup>ENSO</sup> potencial de arraste, além de alagamentos, escorregamento de massas em encostas e eventos pluviométricos mais severos (Nobre *et al.*, 2010b).

A alta vulnerabilidade ambiental e social do município de São Paulo abrange majoritariamente áreas de favelas que possuem condições socioeconômicas significativamente piores e maior concentração de crianças e jovens do que aquelas onde essa suscetibilidade é baixa ou média (Alves, 2006). Além disso, estudos observacionais detectam que os eventos extremos de chuva acima de 50 mm/dia na cidade têm se tornado mais frequentes e int<sup>ENSO</sup>s desde 1960 devido mais a efeitos da urbanização do que à mudança de clima (Nobre *et al.*, 2010a).

Para o período de 1931 a 2010, foi analisada a evolução dos extremos na precipitação diária na cidade de São Paulo e se encontrou tendências de aumento positivas. Os índices climáticos explicam 85% da variância na frequência de tais eventos na estação seca. Já na estação chuvosa, houve maior correlação com a temperatura na superfície do mar nas proximidades da costa paulista, de modo que comportamento térmico e os índices climáticos explicariam a menor fração na variância dos referidos extremos, quando comparada com a registrada durante o período de estiagem.

Tal correlação indica que outros fatores, como, por exemplo, ilha de calor urbana e poluição do ar, devam ser considerados causas possíveis das tendências observadas ao longo dessas quase oito décadas. A evolução dos eventos extremos diários de precipitação mostrou curvas de propensão maiores para os eventos mais extremos ao longo do período de análise (Silva Dias *et al.*, 2012).

Dados climáticos de longo período foram analisados para doze grandes cidades (Blake *et al.*, 2011 *apud* Grimm e Sampaio, 2012). Dez delas apresentaram tendência de aquecimento, sendo significativa em sete. No século passado, a maior tendência de aquecimento entre todos esses municípios ocorreu em São Paulo: 0,27° C/década.

No planalto brasileiro, que inclui a maior parte da Região Sudeste, os erros dos modelos climáticos regionais (MCRs) foram maiores para todas as variáveis analisadas. As comparações das simulações para os meses de janeiro e julho mostraram desempenho melhor durante o período de inverno. Os campos simulados de precipitação e temperatura do ar para os cenários A2 e B2 na estação de verão mostraram padrões muito similares, embora tenha se mostrado mais int<sup>ENSO</sup> para o primeiro deles, como seria esperado.

Sobre o Sudeste, se observou anomalias de precipitação positivas entre 2 e 4 mm/dia, enquanto que, sobre o Brasil, elas foram negativas, principalmente sobre sua parte Norte. No campo de temperatura, o estudo mostrou comportamento igual ao verificado sobre a citada região brasileira para toda a América do Sul. Esses resultados apontaram para um quadro de monção sul-americana mais seca e quente (Nicolini *et al.*, 2002 *apud* Ambrizzi *et al.*, 2007).

#### **8.4.5 MUDANÇA NO CICLO HIDROLÓGICO**

O clima e o ciclo hidrológico estão estreitamente relacionados. Há estimativas de que um acréscimo na temperatura média global entre 2,0 e 4,5° C até o final do século possam ser acompanhadas por substantivas e perturbadoras modificações na hidrologia de todo o planeta (Pope e Santos, 2007).

Embora o Brasil apresente grande disponibilidade de água, ela está intimamente ligada ao clima e sua distribuição por diferentes regiões do País é bastante desigual. Por exemplo, a Região Sudeste, com sua grande oferta hídrica, é afetada pela seca relacionada à urbanização descontrolada, o que a torna vulnerável quanto à escassez no abastecimento, e possivelmente decorrente de mudanças climáticas (Marengo *et al.*, 2010).

O Sudeste do Brasil tem mostrado, desde 1940, aumentos sistemáticos de até quase 58%/100 anos na frequência de chuvas intensas (Groisman *et al.*, 2005 apud Marengo *et al.*, 2010). Em relação a vazão de rios, há clara tendência de aumento no Rio Paraná e em outros do Sudeste da América do Sul (Marengo *et al.*, 2010). Em Ituverava (SP), onde a precipitação total na média atinge aproximadamente 1460 mm, verifica-se deficiência hídrica em torno de 184 mm nos meses de abril a setembro e excedente de 464 mm de novembro a março, como é típico na Região: as chuvas se concentram no verão e são escassas durante o inverno (Garcia, 2010). Em Lavras (MG), observou-se redução do volume pluviométrico normal anual de 1530 mm para 1460 mm em série de catorze anos (Dantas *et al.*, 2007).

Mudanças de curto prazo no comportamento local da tendência de chuva e temperatura do ar estão ocorrendo nos municípios paulistas de Ribeirão Preto, Campinas e Presidente Prudente. De acordo com estudos climatológicos e de balanço hídrico de 1969 a 2001, a primeira localidade apresentou brusca diminuição na tendência de volume pluviométrico – 120,4 mm –, propensão de aquecimento atmosférico – 0,5° C – e de deficiência hídrica em 49,68 mm, além de forte retração de seu excedente hídrico, da ordem de 135,4 mm.

Já em Campinas, ocorreu aumento tanto na tendência de chuvas – 78 mm – como nas de temperatura do ar – 0,4° C – e de excedente hídrico – da ordem de 114,7 mm. Em Presidente Prudente, houve expressivo incremento na linha térmica da ordem de 1,1° C, causando propensão maior de deficiência hídrica na ordem de 84,65 mm e diminuição no patamar de 25,3 mm de água excedente (Galina *et al.*, 2004).

Entre os principais rios do País, se destaca na Região Sudeste, o Paraná, ao lado do argentino da Prata, importantes pela contribuição ao potencial hidroelétrico desses países e pelos aspectos ecológicos, sociais e econômicos, inclusive em suas interfaces com a agricultura regional.

Foram identificados nos estudos existentes sinais de possível impacto de mudanças nos regimes hidrológicos e térmicos sentido na Bacia Hidrográfica dos rios Paraná e da Prata. Destaque-se que ela abriga as maiores cidades economicamente importantes do Brasil e do Sudeste da América do Sul (Marengo e Valverde, 2007).

Um estudo que avaliou o impacto de mudanças climáticas sobre a vazão de rios em nível mundial, utilizando doze modelos do IPCC-AR4, a saber:

CCSM3, CGCM3.1(T63), ECHAM5/MPI-OM, ECHO-G, FGOALS-g1.0, GFDL-CM2.0, GFDL-CM2.1, GISS-AOM, MIROC3.2 (hires), MRI-CGCM2.3.2, HadCM3 e HadGEM1, no período entre 2041 e 2060 comparado ao clima atual referenciado no ano de 2005 demonstrou possíveis aumentos de 20 a 60% para os rios Paraná e da Prata e reduções entre 10 e 15% para o bioma Amazônia e outras áreas do Brasil.

Os autores sugeriram uma maior confiabilidade para as projeções sobre as bacias hidrográficas do Rio Amazonas e do Sudeste da América do Sul, destacando-se a dos rios Paraná e da Prata e indicaram a continuidade das tendências observadas durante os últimos 50 anos (Milly *et al.*, 2005 apud Marengo e Valverde, 2007).

#### **8.4.6 REGISTROS HISTÓRICOS**

A análise da diferença entre as médias dos períodos de 1991 a 2004 e de 1961 a 1990 para índices de temperatura do ar indicaram que, para a Região Sudeste, os médios apresentaram aumento

de 0,6° C enquanto que, os máximos e mínimos indicaram aquecimento de 0,4°C. Já quanto aos volumes de precipitação, houve incremento de 57 mm, o que representou avanço de 4,8%.

Destaque-se que, a análise entre dados de temperatura do ar dos períodos de 1991 a 2004 e de 1961 a 1990 indicou aumento para todas as regiões do País estudadas – Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Com relação à precipitação, existe grande variabilidade entre elas e observa-se que, a perda de água por evapotranspiração é bastante elevada em grande parte do território nacional: em algumas, supera 80%. Como os menores valores foram encontrados na Região Sudeste, ela é apontada entre as mais críticas com referência à oferta de recursos hídricos, em função da variabilidade de sua pluviometria (Salati *et al.*, 2007).

#### 8.4.7 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE SAÚDE HUMANA

O Primeiro Relatório Global sobre Mudanças Climáticas e saúde foi publicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1990. Durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), em 1992, foi assinada a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas. Contudo, o objeto desse acordo só chegou à mídia com maior intensidade em 2007, principalmente a partir da divulgação do Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR4) em fevereiro daquele ano e do filme *Uma Verdade Inconveniente*, influenciando a agenda de governos e pesquisas (Barcellos *et al.*, 2009).

Os fenômenos climáticos podem influenciar a saúde humana de forma direta ou indireta. No caso do Brasil, inúmeras doenças infecciosas endêmicas são sensíveis às variações do clima, principalmente aquelas de transmissão vetorial e veiculação hídrica (Confalonieri, 2008), que podem ser agravadas por conta de enchentes ou secas, que afetam a qualidade e o acesso à água (Barcellos *et al.*, 2009).

As flutuações climáticas sazonais produzem um efeito na dinâmica das doenças vetoriais, como por exemplo, a maior incidência da dengue no verão (Fenner *et al.*, 2009). Com relação à malária, há a percepção equivocada de que essa endemia poderia se tornar endêmica em áreas localizadas fora da Amazônia, por decorrência do aquecimento global. Essa percepção se deve ao fato que a doença ocorreu em quase todo o País – inclusive na Região Sul – até há cerca de 60 anos (Confalonieri, 2008).

O estudo do impacto de mudanças climáticas sobre a distribuição de vetores de *leishmaniose* no Brasil mostra um *dramático* aumento no potencial de distribuição de *Lutzomyia whitmani* no Sudeste do Brasil (Peterson e Shaw, 2003 *apud* Canhos *et al.*, 2008). Além disso, pode ampliar a incidência também de doenças não transmissíveis, o que inclui desnutrição e doenças mentais, e levar a um quadro de alteração da disponibilidade de alimentos, provocando subnutrição, com implicações no crescimento e no desenvolvimento infantil, e casos de intoxicação por agrotóxicos, decorrentes dos efeitos negativos sobre a produção de alimentos (Fenner *et al.*, 2009).

Contudo, uma parte significativa desses estudos realizados, se refere à variabilidade natural do clima e não a mudanças climáticas (Confalonieri *et al.*, 2011). Alguns dos cenários dessas alterações são relatados, em especial, como consequência da intensificação de eventos decorrentes do *El Niño*–Oscilação Sul (ENSO), como por exemplo, as enchentes no Sudeste.

São conhecidos os impactos de chuvas fortes sobre as capitais do Sudeste, seguidas ou não por inundações, e seus efeitos sobre os índices de morbidade e na mortalidade da população. Como exemplo, um levantamento feito para o período de 1966 a 1996 na cidade do Rio de Janeiro foi capaz de identificar, pelo menos, 527 vítimas fatais de acidentes diretamente associados a chuvas e inundações. Da mesma forma, nesse município têm ocorrido surtos importantes de leptospirose

(Confalonieri e Marinho, 2007).

A variação das respostas da sociedade relacionadas a mudanças climáticas parece estar diretamente associada a seu grau de vulnerabilidade individual e coletiva. Variáveis como: idade, perfil de saúde, resiliência fisiológica e condições sociais contribuem diretamente para as respostas relacionadas às variáveis climáticas.

Estudos também apontam que, alguns fatores que aumentam a vulnerabilidade dos problemas climáticos são uma combinação entre crescimento populacional, pobreza e degradação ambiental. As condições atmosféricas podem influenciar o transporte de microrganismos, assim como de poluentes oriundos de fontes fixas e móveis. Dependendo das características físicas e químicas destes últimos, tais como temperatura do ar, umidade e precipitação, os efeitos de mudanças do clima podem ser potencializados, definindo seu tempo de residência na atmosfera e, inclusive, possibilitando seu transporte por longas distâncias.

Esses poluentes, conjugados às condições climáticas, podem afetar a saúde de populações, mesmo que elas estejam distantes das fontes geradoras de poluição (Barcellos *et al.*, 2009).

Mostra-se inevitável que mudanças climáticas de longo prazo possam exercer globalmente, efeitos sobre a saúde humana em áreas urbanas, lembrando que a Região Sudeste do Brasil abriga quatro das grandes capitais brasileiras, além de cidades com mais 1 milhão de habitantes, que concentram grandes frotas de veículos e fontes estacionárias de emissão de poluentes (Barcellos *et al.*, 2009). Um exemplo das dimensões desse fenômeno reside em números como: 46% da frota de caminhões cujos proprietários são empresas, e 49% das unidades similares de propriedade autônoma encontra-se nessa região do País (Motta *et al.*, 2011).

Também, condições sociais, como situação de moradia, alimentação e acesso aos serviços de saúde, são fatores que aumentam a vulnerabilidade de populações expostas aos episódios de mudanças climáticas que, somados à exposição a poluentes atmosféricos, poderão provocar agravamento de quadros clínicos.

Estudos epidemiológicos evidenciaram aumento de risco associado a doenças respiratórias e cardiovasculares, assim como de mortalidade, geral e específica, associada à exposição a poluentes presentes na atmosfera. Alguns efeitos dessa situação são potencializados quando ocorrem alterações climáticas, principalmente inversões térmicas, podendo-se citar como exemplo, asma, alergias, infecções bronco-pulmonares e infecções das vias aéreas superiores, contraídos principalmente pelos grupos mais vulneráveis, como os de crianças menores de cinco e adultos maiores de 65 anos de idade (Barcellos *et al.*, 2009).

Essa população, que se situa nos extremos da pirâmide etária, é mais vulnerável nos casos em que temperatura ambiente fica fora da chamada *zona de conforto térmico*, causando alterações em mecanismos de regulação endócrina, arquitetura do sono, pressão arterial e nível de estresse. Um evento meteorológico extremo matou 32 pessoas na primeira semana de fevereiro de 2010 em Santos (SP) quando os termômetros mediram 39 graus e, à noite, a umidade chegou a 21% – calor seco (Nobre *et al.*, 2010b).

#### **8.4.8 PROJEÇÕES DE IMPACTOS SOBRE PRODUÇÃO AGRÍCOLA E SEGURANÇA ALIMENTAR**

Impactos diretos de mudanças climáticas sobre a atividade agrícola podem afetar renda e produção, entre outros aspectos e causar deslocamento dos cultivos, com repercussões setoriais e regionais em diversos setores econômicos, afetando, dessa forma, a segurança alimentar, que é área de pesquisa com muito a ser desenvolvido, já que os resultados de investigações disponíveis até agora para o País são agregados. Saber a estrutura do consumo é importante para se definir a

vulnerabilidade e a disponibilidade de alimentos (Domingues, 2011).

Caso não sejam tomadas medidas de mitigação e adaptação, a geografia da produção nacional pode se alterar nas próximas décadas, influenciada pela intensificação de mudanças climáticas, diminuindo regiões aptas para o cultivo de café no Sudeste do Brasil. Nessa região, os estados de São Paulo e Minas Gerais deverão perder parte significativa da área hoje plantada (Deconto, 2008), se iniciativas como, por exemplo, o desenvolvimento de novas variedades afeitas à nova situação climática não forem adotadas.

Com base na tecnologia utilizada pelo Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos, elaborado pelo MAPA, e a partir de sua versão de 2007 (Assad & Pinto, 2008), cenários agrícolas do Brasil foram simulados para os anos de 2010, 2020, 2050 e 2070, levando em conta as projeções de aumento de temperatura do ar feitas pelo IPCC nos panoramas A2 e B2.

Concluiu-se que, entre nove culturas estudadas, a do café de espécie *arabica* é a que mais claramente estará sujeita a nova configuração geográfica, com a possível migração do grão para o Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Porém, para que o cultivo migre para este último estado federativo teria que haver também, o desenvolvimento de novas variedades, já que a estação seca e a duração do dia serem distintos daqueles da região original, além de serem bem maiores a susceptibilidade a geadas e a possibilidade de ocorrência de algum evento com precipitação de neve no Sul do País.

Mesmo que haja incremento de produção na Região Sul, esse acréscimo pode não compensar as perdas da cultura no Sudeste. Os pesquisadores enfatizam que, embora em um primeiro momento, a queda estimada de áreas de baixo risco não seja brusca no cenário B2 – -6,75% –, em 2050, o total de terrenos favoráveis pode diminuir 18,3%, chegando a recuar 27,6%, em 2070. Assim, o aquecimento poderia trazer prejuízos de R\$ 628,5 milhões em 2020, R\$ 1,7 bilhão em 2050 e R\$ 2,55 bilhões em 2070. Já no cenário A2, a redução de área de baixo risco seria de 9,48% em 2020, subindo para 17,1% em 2050 e podendo chegar a 33% em 2070, o que poderá representar um prejuízo de, respectivamente, R\$ 882 milhões, R\$ 1,6 bilhão e R\$ 3 bilhões.

Oliveira (2007) *apud* Santos *et al.* (2011) apontaram quedas de produtividade potencial nas culturas de milho e feijão para as mesorregiões de Minas Gerais em 2050 e 2080, quando comparada à simulada para o ano base de 2000, no cenário A2 do modelo *HadCM3* e sem se avaliar o efeito do CO<sub>2</sub> que pode ampliar a rentabilidade desses cultivos.

Uma simulação da produtividade do milho para os anos de 2020, 2050 e 2080, feita a partir do modelo *Crop Environment Resource Synthesis (CERES-MAIZE)* para os cenários de mudanças climáticas A2 e B2 do IPCC, verificou diminuição de produtividade devido ao aumento de temperatura do ar, além de redução no ciclo vegetativo (Silva Júnior 2007 *apud* Santos *et al.*, 2011). Essas projeções ainda mantiveram uma série de incertezas sobre tais impactos, uma vez que a produtividade das culturas citadas depende da quantificação de fatores difíceis de mensurar, como os biofísicos e os socioeconômicos (Santos *et al.*, 2011).

O aprofundamento e uma precisão maior no resultado desses estudos permitirão a análise dos possíveis impactos de mudanças climáticas sobre a agricultura e o planejamento de ações e o desenvolvimento de tecnologias estratégicas para o enfrentamento de novos cenários climáticos.

Estudos com simulações de impactos sobre a agricultura utilizando modelos matemáticos foram apresentados para trigo (Siqueira *et al.*, 2001, *apud* Pellegrino *et al.*, 2007), para milho e soja (Assad *et al.*, 2004, *apud* Pellegrino *et al.*, 2007) e, ainda, para café, milho, feijão, arroz e soja (Nobre *et al.*, 2005 *apud* Pellegrino *et al.*, 2007). Apontaram também perdas econômicas anuais potenciais devido a um aumento de 1° C na temperatura do ar e demonstraram valores de US\$ 375 milhões referentes ao cultivo de café na somatória dos estados de Minas Gerais, Paraná e São

Paulo, e, de US\$ 61 milhões em relação à produção de milho somente para o Estado em São Paulo (Pellegrino *et al.*, 2007).

Excetuando-se o Estado de Minas Gerais, que apresentou 34,3% de seus municípios com prevalência muito alta de insegurança alimentar grave, predominaram, na Região Sudeste, localidades com baixa – 40,1% – e média – 38,4% – exposição a tal condição, sendo a situação mais favorável, a do Estado de São Paulo, onde essa condição prevaleceu em mais da metade (50,5%) delas (Gubert *et al.*, 2010).

#### 8.4.9 SÍNTESE DAS ANÁLISES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a Região Sudeste do Brasil, os estudos coletados pelo IPCC (IPCC, 2011 *apud* Salati *et al.*, 2007) preveem, para o século XXI, elevação de 4 a 4,5° C na temperatura média do ar e possível aumento de 10 a 15% na precipitação pluviométrica de outono, além de indicarem possibilidade de secas durante o verão.

As alterações no uso da terra e de florestas e a agroindústria geraram profundas modificações, tanto na configuração ambiental, floresta e hídrica, quanto, em alguns casos, no clima local, além de impactos sobre o balanço de energia, influenciando todos os estados desta região. As tendências de chuvas futuras são preocupantes. Sobre as mudanças projetadas para temperatura do ar e extremos de precipitação no final do século XXI, as projeções para o período de 2071 a 2100, comparado ao de 1961 a 1990 ou, para de 2080 a 2100, comparado ao de 1980 a 2000 foram baseadas em resultados GCM e RCM<sup>4</sup>, executados sob o cenário de emissão A2/A1B.

Quanto à tendência dos índices de temperatura máximos na frequência de dias quentes e frios, são observado maior frequência de ocorrência de dias quentes, e redução de ocorrência de noites frias. Com relação às noites quentes, a frequência de ocorrência aumentou. Há uma forte tendência de ocorrência de ondas de calor.

Já com respeito a tendências de intensidade de precipitação, verificou-se aumento em áreas ao Norte do Sudeste e evidência insuficiente para aquelas do Sul da Região. Sobre aridez máxima e a estiagem, não se registrou propensão consistente (CDKN, 2012).

Com expectativa de eventos extremos mais frequentes e mudanças climáticas, a Região Sudeste apresentará, muito provavelmente, um padrão de elevação em seus valores médios de temperatura do ar, acompanhando o previsto para as demais regiões do País. Quanto a riscos de eventos extremos, o panorama é muito similar ao da Região Sul, destacando-se entre ele os alagamentos e enchentes, com grandes volumes de chuvas em curto espaço de tempo, principalmente nas áreas metropolitanas intensamente adensadas e permeabilizadas.

O meio agrícola poderá passar por algumas adaptações com a substituição de espécies mais adaptadas aos novos padrões de temperatura do ar, e também, conjugadas com técnicas alternativas, como as de plantio direto e consórcio com florestas, gado e agricultura, medidas necessárias para se minorar riscos climáticos futuros. Além disso, o incentivo a programas de conservação de biodiversidade se faz necessário, como estratégia para diminuir a vulnerabilidade da Região a uma possível intensificação de insegurança alimentar.

Entre as principais metrópoles da Região, Rio de Janeiro e Vitória se encontram na orla marítima e, em anos seguintes, novos estudos mais aprofundados sobre impactos específicos e sua respectiva vulnerabilidade certamente surgirão, fortalecendo as bases de informação sobre essa faceta na Região Sudeste. Nas regiões metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte, o aumento da população

<sup>4</sup> GCM refere-se a Modelo de Circulação Global ou *Global Circulation Model* e RCM significa Modelo Climático Regional ou *Regional Climate Model*.



urbana e a forma de ocupação do solo provocarão pressões sobre investimentos em programas de contenção de cheias e remoção de residentes em áreas vulneráveis e de risco, além de implicarem necessidade de incremento de programas de defesa civil para situações extremas como, por exemplo, enchentes e escorregamentos.

O Estado do Rio de Janeiro apresenta muitas áreas com risco de deslizamento e enchentes devido sua topografia natural e, especialmente sua forma de ocupação. Além da capital fluminense, cidades como Teresópolis, Nova Friburgo, Petrópolis, Sumidouro e São José do Vale do Rio Preto, em sua região serrana, foram atingidas em 2011, por cheias intensas. Foram contabilizadas 916 mortes e em torno de 345 desaparecidos, além de 25 mil desabrigados em eventos com muito impacto junto à opinião pública do País. Essa tragédia foi considerada um dos maiores desastres climáticos da história recente do Brasil, superando em muito, os 463 mortos do temporal que atingiu a cidade paulista de Caraguatatuba, no Estado de São Paulo, em 1967. A Região Metropolitana de Vitória também sofre com episódios frequentes de alagamentos e emergências causadas por chuvas fortes.

Destaque-se que, situações como essas poderão ocorrer cada vez mais frequentemente. Programas que envolvam aspectos de adaptação a essas ocorrências e profundas intervenções urbanas deverão ser considerados como estratégicos na definição do destino de recursos públicos pelos tomadores de decisão. Exemplos de políticas públicas bem sucedidas podem ser encontrados nas áreas de implantação dos parques lineares que estão sendo implantados às margens de córregos na cidade de São Paulo para minimizar os impactos de cheias em tais regiões e que apresentam eficácia ao serem conjugados ao remanejamento de populações residentes nessas áreas de risco para moradias com condições de segurança.

Outro aspecto importante, não só nos centros urbanos, é a adaptação à escassez hídrica, que pode ser potencializada na região e influenciará, não só a produção de alimentos, como também o acesso à água e à saúde pela população, potencializando assim, os cenários de incidência de doenças relacionadas a mudanças climáticas discutidas neste Relatório, o que resulta, inevitavelmente, na perda da qualidade de vida da região.

### **Lacunas de informação**

Durante a pesquisa para o desenvolvimento deste Relatório foi encontrada dificuldade de acesso a informações para se compor o item 8.4.6 deste capítulo, cujo tema é o de registros históricos..

## **8.5. REGIÃO CENTRO-OESTE**

### **8.5.1 INTRODUÇÃO**

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro superado apenas pelo Amazônia. Ele ocupa 21% do território nacional e se localiza no Planalto Central, nos estados de Goiás (GO), Tocantins (TO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS) Distrito Federal (DF), Minas Gerais e Bahia. Seu domínio é reconhecido como a savana mais rica em biodiversidade do mundo, além de abrigar nascentes de rios tão importantes quanto o São Francisco, o Paraguai e o Paraná.

O clima predominante do Cerrado é o tropical sazonal. A precipitação média anual sobre o bioma é de 1.500 mm e suas temperaturas do ar são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22° C e 27° C. As chuvas se concentram nos meses de primavera e verão – de outubro a março. No período de maio a setembro, os índices pluviométricos mensais se reduzem bastante, podendo chegar à zero. Disso resulta, uma estação seca de três a cinco meses de duração.

Deve-se notar que a expansão da produção de grãos e da pecuária extensiva na região trouxe,

juntamente com os benefícios econômicos, grandes danos ambientais para o Cerrado, tais como redução de biodiversidade, erosão de solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas e, possivelmente, modificações do clima regional. Mudanças climáticas, bem como a variabilidade climática natural com seus extremos, podem acentuar a vulnerabilidade social de suas populações e desencadear uma série de problemas ambientais e socioeconômicos.

Diversas pesquisas relacionadas a mudanças climáticas vêm sendo desenvolvidas no Cerrado em virtude das expectativas de impactos sobre a produtividade agrícola. Essas pesquisas têm o objetivo de prognosticar a situação do clima futuro e explicar como as alterações regionais dos sistemas atmosféricos poderão afetar culturas e, conseqüentemente, a economia do País, altamente dependente do mercado internacional de *commodities* (Salati *et al.*, 2004, Assad *et al.*, 2004).

Nesse contexto, o Centro-Oeste brasileiro confronta-se com diversos prognósticos climáticos negativos que preveem que as atividades agrícolas e de pecuária sofrerão redução de produtividade devido a mudanças de ciclo hidrológico e aumento de temperatura do ar, e também, devido à localização estratégica da Região, situada entre três biomas de maior importância no país, a Floresta Amazônica, o Cerrado e o Pantanal (Assad *et al.*, 2004, 2008).

A maior parte das precipitações no Centro-Oeste ocorre durante o verão austral devido à presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Já o inverno apresenta estação seca de maior duração nas áreas centro-sul da região e, de menor intensidade, no Norte e Noroeste da mesma (Cuadra e Rocha, 2006).

Quanto à temperatura do ar, ela pode ser inferior a 5° C no Sul da Região, podendo alcançar mais de 40° C, frequentemente nas áreas baixas dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Os biomas Cerrado, Amazônia e Pantanal permutam material genético entre suas zonas de amortecimento e têm sofrido severos impactos pelo uso e ocupação de sua terra no último século. Além dos problemas de cunho ambiental, a Região Centro-Oeste está envolvida em um quadro de conflitos sociais e fundiários profundos, o que a torna altamente vulnerável em caso de mudanças regionais no clima, o que preocupa atores institucionais em diversas esferas governamentais.

Atualmente o Centro-Oeste se consolida como o celeiro brasileiro da produção de grãos, sendo que o bioma Cerrado é classificado como foco de atenção ou *hotspot* da preservação ambiental mundial por deter o título de savana com maior biodiversidade do planeta, na qual mais de 48% da vegetação já foram destruídos (Ribeiro e Walter, 1998).

### **8.5.2. MUDANÇAS NO USO DA TERRA**

As mudanças no uso de terra têm reconhecido efeito sobre os níveis de carbono emitidos para a atmosfera. Portanto, elas são um importante vetor de alterações do clima. A atividade agrícola e outras, geradoras de tais modificações, não sofrem apenas seus impactos, mas também são grandes emissoras de GEEs (FAO, 2006). Além disso, tais atividades são responsáveis pela diminuição do estoque de carbono no solo, devido a práticas agrícolas que levam a perdas de sua camada orgânica bem como à própria conversão de florestas em áreas de plantio (World Bank, 2008).

Estima-se que a atividade agrícola seja responsável diretamente por aproximadamente 14% das emissões globais de GEEs, uma participação semelhante à do setor de transportes. Além disso, outros 17% se relacionam indiretamente com as mudanças no uso da terra (FAO, 2010). De 1700 até hoje, estima-se que houve aumento de 265 para 1473 Mha da área total de cultivo e de 524 para 3215 Mha de pasto em todo mundo (Hengeveld *et al.*, 2005).

Os países em desenvolvimento respondem por aproximadamente 74% das emissões provenientes de atividades agrícolas, um aumento de cerca de 30% entre 1990 e 2005 (World Bank, 2008). Nos últimos anos, uma maior atenção tem sido dada às áreas de savana devido às taxas maiores de desmatamento com consequências sobre a liberação de GEEs (Crutzen e Andreae, 1990). Mundialmente, avalia-se que, desde 1850, houve desmate de 4,7 milhões de km<sup>2</sup> desse tipo de vegetação e de e estepes (Lambin *et al.*, 2001).

O Cerrado é o maior bioma representante das savanas no continente americano e o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 25% do território (Siqueira-Neto *et al.*, 2011). É foco de atenção mundial por possuir uma alta riqueza de espécies com alto nível de endemismo (Myers *et al.*, 2000, Ratter *et al.*, 1997).

Devido ao crescente aumento das atividades agropecuárias, somente 20% da área do Cerrado se encontra em seu estado original, o que acarretou importantes consequências em termos de perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Isso o tornou, portanto, um bioma em risco (Ratter *et al.*, 1997; Boddey *et al.*, 2004).

Os padrões, taxas e extensão da mudança no uso de terra no Cerrado são pouco conhecidos, sendo de grande importância que se estude tanto aqueles do passado quanto as projeções para o futuro (Brannstrom *et al.*, 2008). Hoje, as estimativas de áreas desmatadas devido a atividades agropecuárias atingem até 80% da extensão original do bioma (Klink e Machado 2005).

Tal conversão do Cerrado em áreas de uso pela agropecuária pode se dar em duas etapas, como observado por Galford *et al.* (2010). Os autores avaliaram que 60% de sua área foram, primeiramente, convertidas em pasto e, posteriormente, em terras agrícolas, com taxas de conversão que variavam de um ano a outro.

### 8.5.3. VARIABILIDADE E CENÁRIOS CLIMÁTICOS

Há menos de uma década, os modelos climáticos globais alimentados por dados locais eram prejudicados devido à ausência de pesquisas em áreas tropicais. Hoje, eles buscam internalizar os avanços recentes do conhecimento em climatologia, que perseguem compreender as diversas interações entre atmosfera, hidrosfera e biosfera, além de contemplar a dinâmica do uso da terra. Esses avanços possibilitaram obtenção de prognósticos mais consistentes nas escalas global, continental e regional.

Devido à história recente da colonização, que se aprofunda a partir das décadas de 1940 e 1950, a Região Centro-Oeste ainda carece de rede mais densa de monitoramento de dados meteorológicos. Com isso, a modelagem de seus padrões de anomalias em precipitação e temperatura do ar se baseia em dados de apenas algumas estações meteorológicas existentes, sendo o restante, produzido a partir de cálculos matemáticos gerados por simulação (Nobre, 2001, Edwards, 2010).

Os modelos permitem identificar mudanças nas estações do ano e identificar padrões cíclicos, associados a fenômenos de grande escala no Brasil, como os eventos *El Niño*, assim como detectar alterações na temperatura da superfície do mar e padrões erráticos no movimento de massas de ar (Edwards, 2010).

De acordo com o modelo *HadCM3LC*, o Brasil apresentou aumento de temperatura atmosférica de 0,7°C até os anos 2000 e de 53,8 mm/ano em termos de precipitação pluviométrica. Entretanto, essas previsões indicam que haverá elevação térmica de 8,8°C até 2100 e decréscimo no volume de chuvas de -770,6 mm/ano. Esses dados contemplam também a Região Centro-Oeste, para a qual o prognóstico indica diminuição na capacidade de retenção de carbono pelas plantas, caso em que o decréscimo de pluviosidade parece estar relacionado com interações entre vegetação e

atmosfera.

De acordo com estudos realizados por meio de dados coletados por aeronaves, a vegetação de floresta exerce papel importante na produção de chuvas sobre todo o Centro-Oeste e o Sul do Brasil. Nesse sentido, se prevê que, com a conversão de floresta em área modificada pelo Homem, ocorrerão mudanças significativas no ciclo hidrológico de várias das regiões brasileiras (Cox *et al.*, 2004 e Fallon *et al.*, 2007, Adams, 2007).

Já Salati *et al.* (2007) avaliaram mudanças na vazão de doze bacias hidrográficas brasileiras para o final do século XXI. Para tanto, lançaram mão do modelo *HadRM3P* e dois cenários de emissões de GEEs – A2-BR e B2-BR –, com os quais realizaram projeções para uma série de parâmetros: precipitação, evapotranspiração, temperatura do ar e déficit hídrico.

De modo geral, os resultados apontaram redução de vazão em todas as bacias e sub-bacias hidrográficas que possuem importantes afluentes no Centro-Oeste – ou seja, as dos rios Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraguai; Amazonas, Paraná e da Prata – para o período de 2071 a 2100 em relação à média histórica de 1961 a 1990. A única exceção foi essa última região, que apresentou aumento de 11% no cenário A2-BR.

Essa tendência de redução está intimamente associada a variações nos parâmetros considerados, especialmente quanto à evaporação real, cujas projeções apontam para aumento substancial nas cinco bacias hidrográficas presentes no Centro-Oeste. Já no que tange a precipitação, na comparação entre o período de 2071 a 2100 em relação ao de 1961 a 1990, as propensões entre elas foram distintas. Para algumas, os modelos apontaram aumento anual – as dos rios Paraná e Paraguai – e, para outras, redução – as dos rios São Francisco e Tocantins –, enquanto que, a do Rio Amazonas, não apresentou tendência significativa.

Obviamente essa tendência é produto de mudanças climáticas em outras regiões brasileiras, cujo território também abriga afluentes das bacias e sub-bacias hidrográficas consideradas, assim como de outros vetores não climáticos, tal como a mudança no uso de terra.

Mudanças no ciclo hidrológico e na temperatura do ar seriam de suma importância para a Região Centro-Oeste, pois a alteração da fenologia das plantas de soja, arroz, milho e café poderá acarretar perda maciça de produção agrícola e na pecuária. Por essa razão, a EMBRAPA tem desenvolvido pesquisas de zoneamento agroclimático para diversas culturas. Esses resultados poderão auxiliar produtores e governo a criarem estratégias de adaptação, caso suas áreas plantadas se tornem impróprias para a produção de numerosos tipos de grãos no futuro (Assad *et al.*, 2008).

Nos modelos desenvolvidos pela EMBRAPA, os índices de temperatura do ar aumentarão entre 1° C e 5,8° C no Centro-Oeste, com período de estiagem mais seco e quente. Ele deverá predominar na Região com duração de sete meses. Logo, as plantas deverão suportar calor muito e acima de 32 graus Celsius nos períodos mais quentes do dia, cessando processos de fotossíntese e alterando suas fases normais de crescimento. Para o Estado do Goiás, espera-se perda de 95% da área apta para produção de café do tipo *arabica* (Assad *et al.*, 2004).

O Centro-Oeste brasileiro é uma Região cuja modelagem climática possui grande incerteza diante das projeções realizadas para as demais, como a Norte – que abriga a maior parte do bioma Amazônia – e a Nordeste (Marengo *et al.*, 2009). De modo geral, os modelos concordam sobre tendência de aquecimento do ar em seu território para o final do século XXI, porém, divergem quanto ao comportamento da precipitação pluviométrica (Marengo, 2007; 2008).

Marengo *et al.* (2009) realizaram projeções climáticas regionais para a América do Sul. Para a Região Centro-Oeste do Brasil, todos os modelos apontaram para tendência de aquecimento atmosférico para o final do século XXI – especialmente durante a primavera e o verão. Nessas estações, o

incremento na temperatura média variou de 4 a 5° C, dependendo do modelo utilizado. Quanto a projeções sobre precipitação pluviométrica, os resultados apresentaram grande divergência, apresentando tanto propensões negativas quanto positivas (Marengo *et al.*, 2009).

Tomando como referências o Cerrado, Bombardi e Carvalho (2008) sugeriram que os eventos extremos de seca e de chuvas tendem a se tornar mais frequentes no bioma durante o período de 2061 a 2080 e sob uma concentração atmosférica duas vezes maior do que a observada em 2007. Quanto ao Pantanal, Marengo (2007) encontrou divergências entre tendências pluviométricas projetadas para 2080 sob o cenário A2 do IPCC. A partir de três recortes temporais – os anos de 2020, 2050 e 2080 – e dos cenários B2 e A2 do IPCC, o autor apontou propensão de alta nos índices de temperatura do ar, que variaram respectivamente, entre 1 e 1,5° C, 1,5 e 3° C e 2,5 e 4,7° C.

### 8.5.3.1 ASPECTOS-CHAVE DA VULNERABILIDADE REGIONAL

O Cerrado é um bioma que apresenta características naturais de alta inflamabilidade. Uma peculiaridade regional que traz fortes implicações para o ciclo do carbono e de nutrientes é a prática do fogo no Centro-Oeste brasileiro.

Do ponto de vista climático, a fumaça aumenta a concentração de partículas na baixa atmosfera, o que inibe a formação de chuvas leves e favorece a formação de nuvens de tempestade. Além disso, as práticas agrícolas e de fogo descontrolada ocasionam anualmente perda de vegetação, e riscos à saúde humana e ambiental, seja pelo excesso de poluição e fuligem no ar que causa doenças respiratórias, seja pela destruição de espécies e ecossistemas os quais não são resilientes à ação antrópica recorrente (Bustamente e Oliveira, 2008). Esses processos também geram desperdício expressivo de espécies lenhosas e, no longo prazo, inibem a recuperação da vegetação. Por fim, a biomassa desperdiçada ocasiona maior déficit de nutrientes no solo devido a aumento do processo de lixiviação.

A Região Centro-Oeste é responsável por até 85% do total de queimadas ocorridas no Brasil (Alvalá e Kirchoff, 1998). Como consequência de tamanho impacto ambiental, encontra-se cientificamente demonstrado que a supressão de vegetação, por meio de fogo ou corte raso, gera alterações significativas no ciclo hidrológico e contribui para a maior emissão de GEEs (Zuidema *et al.*, 1994; Walker *et al.*, 1995). Em muitos casos, a supressão de extensas áreas florestais aumenta a intensidade de ventos e altera o balanço radioativo – provocando o efeito albedo local, pois permite maior incidência de raios solares (Shukla *et al.*, 1990; McWilliam *et al.*, 1993).

Ademais, sabe-se por meio de pesquisas em física atmosférica, que o excesso de partículas de poluentes gerado pela queima de biomassa dificulta a formação das naturais, benéficas para a produção de nuvens nos baixos níveis da atmosfera, como foi detectado no município mato-grossense de Alta Floresta (Ozanne *et al.*, 2003; Heintzenberg e Charlson 2009, Andreae *et al.*, 2004).

### 8.5.4. AGRICULTURA FAMILIAR

A Região Centro-Oeste abriga menos de 5% dos estabelecimentos agropecuários familiares brasileiros (IBGE, 2006), sendo que 80% deles se concentram nos estados de Mato Grosso – 40% – e de Goiás – 41%. Sobre ela, a pesquisa sobre vulnerabilidade e adaptação da produção familiar rural a mudanças do clima n ainda é muito escassa, contrastando com a realizada sobre outras, para as quais o volume de estudos é mais substancial: Norte e Nordeste.

É esperado que o aumento de variabilidade e a frequência de eventos climáticos, associados à expansão da cultura de grãos e de cana-de-açúcar na Região Centro-Oeste venha a aumentar

a pressão sobre a produção familiar rural, resultando em maiores suscetibilidade e demanda por estratégias adaptativas. O desenvolvimento de variedades agrícolas mais apropriadas e de formas de manejo mais adequadas aos contextos climáticos futuros esperados devem estar dentro de um amplo planejamento regional.

Iniciativas como a do projeto *Zoneamento de Riscos Climáticos: abordagem para agricultura familiar, bioenergia e pastagens*, desenvolvido pela EMBRAPA (Pellegrino *et al.*, 2007), contribuem para a compreensão da vulnerabilidade da produção familiar da Região a mudanças do clima e agregam um instrumento importante ao planejamento de adaptação. Ele se propõe a ampliar o atual zoneamento climático para culturas consorciadas típicas da agricultura familiar, assim como para as energéticas, e a integração entre lavoura e pecuária relacionada o setor (Marin, 2006).

Entretanto, a vulnerabilidade também é produto de fatores não climáticos (Smithers e Smit, 1997; Smit *et al.*, 2000; Smit e Wandel, 2006) e esforços adicionais para se entender como determinantes socioeconômicos, ambientais e institucionais interagem com o clima são fundamentais para que um panorama concreto da vulnerabilidade seja obtido e potenciais entradas para intervenção política sejam identificadas (Ford *et al.*, 2010). Acesso a assistência e recursos, técnicos e produtivos, regularização fundiária, grau de diversificação da produção e disponibilidade de meios financeiros para se empreender adaptações estão entre outros fatores que moderam ou amplificam impactos oriundos de estímulos dessa ordem e que devem ser considerados na análise (Lindoso *et al.*, 2011).

Ademais, a categoria agricultura familiar abrange no Brasil um conjunto heterogêneo de produtores, perpassando diferentes atividades e, conseqüentemente, vulnerabilidade e potenciais diversos de adaptação (Schimitz e Mota, 2010). Nesse âmbito, há uma tendência na literatura especializada de considerar a sensibilidade do setor aos distúrbios de mercado (O'Brien *et al.*, 2009) e outros vetores complementarmente aos climáticos, uma vez que, frequentemente, o ajuste ao primeiro é a motivação primária para a adaptação (Berrang-Ford *et al.*, 2011).

### 8.5.5. AGRONEGÓCIO

Modificações nos padrões de produção agropecuária têm levado a significativas mudanças no uso de terra em escalas local e global. Além da pressão por produção pelo mercado de *commodities*, existe aquela exercida pela demanda interna e externa sobre a produção de bicombustíveis. No Brasil, isso tem provocado aumento significativo nas taxas de desmatamento e deslocamento de áreas utilizadas para pecuária em direção ao Norte do País, enquanto as terras abandonadas são utilizadas para implantação de grandes extensões de monoculturas (Lapola *et al.*, 2010).

Demanda nacional e internacional tem causado rápida mudança nos padrões de produção agrícola, com o declínio da agricultura de subsistência em favor da mecanizada do agronegócio, com impactos expressivos sobre as alterações no uso de terra e o equilíbrio dos ecossistemas (Galford *et al.*, 2010). Essas modificações locais, quando consideradas globalmente podem levar a transformações significativas no funcionamento ecossistêmico devido à conjugação daquelas de ordem biótica e abiótica que afetam o clima global (Lambin *et al.*, 2001).

A pressão antrópica sobre o bioma Cerrado tem se dado, nos dias de hoje, principalmente devido à expansão da indústria de soja. O aumento da demanda por grãos, ligada principalmente à elevação do poder de compra e ao consumo de proteína animal nos países em desenvolvimento, tem levado a ampliação de produção e a desmatamento de sua vegetação, em uma área que atinge cerca de 10 milhões de hectares plantados com esse produto (Fearnside, 2001).

O Brasil, como segundo maior produtor de soja do mundo, e diante da crescente demanda por produtos dela derivados deve desenvolver atenção especial aos padrões de uso de terra ligados a essa atividade. O desmatamento do Cerrado acarreta perda de matéria orgânica, principalmente

quando as práticas de manejo envolvem o uso intensivo de fertilizantes e monoculturas, sendo necessário, como medida mitigadora, o emprego de técnicas sustentáveis de agricultura (Batlle–Bayer *et al.*, 2010).

Técnicas inapropriadas de manejo de solo fazem com que haja uma rápida perda de nutrientes e de matéria orgânica, contribuindo para seu empobrecimento e causando impactos sobre o assoreamento de rios, perda de produtividade agrícola e desertificação, entre outras consequências (Silva *et al.*, 2002).

### 8.5.6. EXTRATIVISMO

Os chamados produtos florestais não madeireiros (PFNM) têm adquirido importância crescente à medida que aumenta a conscientização da sociedade sobre a necessidade de se promover a conservação dos biomas e dos serviços ecossistêmicos em escala global. Os elevados índices de desmatamento das florestas indicam a imperiosidade da busca por alternativas econômicas capazes de diminuir a devastação provocada por atividades agropecuárias e extrativas de madeira (Zardo e Henriques, 2011). Além de se mostrar como alternativa, a crescente comercialização de produtos extrativistas tem contribuído para se preservar florestas, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (Arnold e Perez, 2001).

Além disso, reconhece-se o papel dos PFNM na melhoria da qualidade de vida das populações rurais localizadas no entorno de florestas, promovendo muitas vezes, sua proteção e da biodiversidade a elas associada (Arnold e Perez, 2001; Myers, 1988; Zardo e Henriques, 2011).

No Brasil, cerca de 5,2 milhões de pessoas dependem da atividade extrativista (MMA, 2008). O bioma Cerrado tem sido colocado em segundo plano para fins de conservação ambiental, conforme refletido na área requerida para preservação constante do Código Florestal Brasileiro, de apenas 20%, enquanto que para o Amazônia foram definidos 80% (Zardo e Henriques, 2011).

No Cerrado, as práticas de extrativismo têm coexistido com as da agropecuária convencionai, destacando-se principalmente, a utilização do pequi – *Caryocar brasiliense* – e do baru – *Dipteryx alata* –, como discutido em Roesler *et al.* (2007). Apesar da grande importância do primeiro como produto extrativista, ainda há escassez de dados quanto a sua capacidade produtiva e potencial auxiliar na renda de populações rurais (Zardo e Henriques, 2011).

Como milhões de pessoas dependem do uso extrativista ao redor do mundo, é estritamente necessário um manejo melhor desses recursos, de modo que as populações tradicionais possam subsistir e se desenvolver em torno dos mesmos ao longo do tempo (Ticktin, 2004). Além de se utilizar as reservas extrativistas como fator chave na preservação dos ecossistemas, é necessário se investigar quais aspectos sociais e culturais estão por detrás de comportamentos que levam à degradação ambiental. Também, deve-se investir na conservação dos fragmentos resultantes de atividades agropecuárias e extrativistas intensivas (Dobson, 1995), para assim se preservar o fluxo genético e a biodiversidade e garantir no longo prazo, a persistência dessa indústria.

Portanto, o desenvolvimento de políticas que favoreçam o uso da atividade extrativista por populações rurais deve ser entendido como medida adaptativa a mudanças climáticas.

No Brasil, algumas delas já têm sido tomadas enquanto políticas públicas. O Plano Nacional de Mudanças do Clima instituiu a fixação de preços mínimos para produtos extrativistas a fim de auxiliar na capacidade adaptativa e produtiva de povos e comunidades tradicionais. Seu objetivo é o fortalecimento de cadeias de extrativismo, agregando valor, consolidando mercado e garantindo desenvolvimento sustentável dessas populações (MMA, 2008).

### 8.5.7. IMPACTOS SOBRE A SAÚDE HUMANA

Alguns estudos começaram a traçar as possíveis consequências do aumento na temperatura do ar e da frequência de eventos climáticos extremos para a saúde humana no Brasil. É esperado que problemas dessa ordem relacionados a condições climáticas tenham sua severidade agravada em cenários futuros de mudança de clima.

A Região Centro-Oeste é caracterizada por uma forte sazonalidade e marcado por uma estação seca com níveis de umidade muito baixos, o que favorece a ocorrência de queimadas e, conseqüentemente, de doenças respiratórias. Destaque-se nele, as zonas de fronteira agrícola localizada no Estado do Mato Grosso, nas quais o uso de fogo pelo manejo agrícola e como estratégia de abertura de novas áreas potencializa o risco de queimadas, com reflexo sobre o incremento de doenças pulmonares (Barcellos *et al.*, 2009). Considerando-se os cenários de aumento conspícuo nas temperaturas da Região (Marengo, 2007) e de maior frequência potencial de eventos extremos de seca (Bombardi e Carvalho, 2008), são esperados problemas respiratórios mais corriqueiros, com impactos negativos sobre a saúde humana (Barcellos *et al.*, 2009; Brasil, 2008; Ribeiro e Assunção, 2002).

Outro aspecto relevante no que tange à saúde da população brasileira é a expansão da área de transmissão de doenças associadas a vetores e o aumento da incidência de doenças de veiculação hídrica (Brasil, 2008). Contudo, nesse contexto, o Centro-Oeste apresenta-se pouco vulnerável, considerando-se a perspectiva de impactos sanitários, segundo estudo empreendido pelo MCTI (2007). Riscos epidemiológicos de doenças como malária, dengue, leishmaniose tegumentar ou visceral, leptospirose, hantavirose e cólera foram levados em conta. Esse trabalho integrou indicadores epidemiológicos, socioeconômicos e climatológicos para obter um mapa nacional de vulnerabilidade. Os estados de MS e GO, assim como o DF, foram classificados na categoria de menor suscetibilidade – o grupo I – enquanto o de MT apresentou desempenho um pouco pior, sendo classificado no grupo II.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A.N.A., 1995: revanche dos ventos: derruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. *Ciência & Ambiente*, 11, 7-31.
- Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: surface climate. *Monthly Weather Review*, 116.
- Adams, J., 2007: Vegetation-climate interaction: how vegetation makes the global environment. Berlin, Germany, New York, NY, USA: Springer.
- Agroconsult, 2010. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da videira americana e videira europeia no Estado de Santa Catarina referente ao ano agrícola de 2009-2010. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 10 pp.
- Aguiar, R. et al., 2006: Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no Sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3B), 248-257.
- Alexander, L.V. et al., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-22.
- Alvalá, P.C. e W.V.J.H. Kirchhoff, 1998: Observations of atmospheric methane and carbon monoxide in Brazil: SCAR-B mission. *Journal of Geophysical Research*, 103(D24), 32101-32105.
- Alves, H.P.F., 2006: Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise socio-demográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Revista Brasileira Estudos Populares*, 23(1), 43-59.
- Ambrizzi, T. et al., 2007: Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais: Relatório 3. São Paulo: Inpe/ USP.
- Andreae, M.O. et al., 2004: Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*, 303(5662), 1337-1342.
- Andreoli, R.V. e M.T. Kayano, 2007: A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22, 63-74.
- Arnold, J.E.M e M.R. Perez, 2001: Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics*, 39, 437-447.
- Assad, E.D., 2008: Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. *Revista Plenarium*, 5, 96-117.
- Assad, E.D. e H.S. Pinto (Coords.), 2008: Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil, Embrapa/Unicamp.
- Assad, E.D. et al., 2004: Impactos das mudanças climáticas no Zoneamento Agroclimático do Café no Brasil. *Pesq. agropec. bras.*, 39(11), 1057-1064.
- Babujia, L.C. et al., 2010: Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology & Biochemistry*, 42, 2174-2181.

Back, A.J., 2001: Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(5), 717-726.

Baettig, M. *et al.*, 2007: A climate change index: where climate change may be most prominent in the 21st century. *Geophysical Research Letters*. 34(1), doi:10.1029/2006GL028159.

Baker, J.M. *et al.*, 2007: Tillage and soil carbon sequestration. What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 1-5.

BNB, 2005: Proposta de dimensionamento do semi-árido brasileiro. Banco do Nordeste do Brasil (BNB), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2005, Fortaleza, CE, 108 pp.

Barata, M.M.L e U.E.C. Confalonieri (Coords.), 2011: Mapa da vulnerabilidade da população do estado do Rio de Janeiro aos impactos das mudanças climáticas nas áreas social, saúde e ambiente. Relatório 4, versão final. Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Rio de Janeiro: SEA/ Fiocruz, 162 pp.

Barcellos, C. *et al.*, 2009: Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia e serviços de saúde. Revista do Sistema Único de Saúde*, 18(3), 285-304.

Barreto, P. *et al.*, 2006: Pressão humana na floresta amazônica brasileira. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). Belém, PA: Imazon.

Barreto, P. *et al.*, 2008: A pecuária e o desmatamento na Amazônia na era das mudanças climáticas. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). Belém, PA: Imazon.

Barros, V. *et al.*, 1999: Recent precipitation trends in South America to the east of the Andes. An introduction of climatic variability. In: *Southern Hemisphere Paleo and Neo-climates* [Volheimer, W. e P. Smolka, (Eds.)]. Berlin, Germany, New York, NY, USA: Springer Verlag.

Battle-Bayer, L. *et al.*, 2010: Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137, 47-58.

Berlato, M.A. e D.C. Fontana, 1999: Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7, 119-125.

Berlato, M.A. e D.C. Fontana, 2003: *El Niño e La Niña*: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 110 pp.

Berlato, M.A. *et al.*, 2005: Associação entre *El Niño* Oscilação Sul e a produtividade do milho no estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(5), 423-432.

Berrang-Ford L. *et al.*, 2011: Are we adapting to climate change? *Global Environmental Change*, 21, 25-33.

Betts, A.K. e M.A.F.S. Dias, 2010: Progress in understanding land-surface-atmosphere coupling from LBA research. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 2(2), 20 pp.

Betts, R. *et al.*, 2008: Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. *Philosophical Transactions*

- tions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 363(1498), 1873-1880.
- Betts, R.A. *et al.*, 2007: Projected increase in continental runoff due to plant response to increasing carbon dioxide. *Nature*, 448, 1037-1041, doi:10.1038/nature06045.
- Bittencourt, R.M. *et al.*, 1999: Estabilização sazonal da oferta de energia através da complementaridade entre os regimes hidrológico e eólico. In: *Anais do SNPTEE 15. XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE)*, 1999, Foz do Iguaçu, PR.
- Boddey, R.M. *et al.*, 2004: Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, Netherland, 103, 389-403.
- Bombardi R.J. e L. M.V. Carvalho, 2008: Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário 2 X CO<sub>2</sub> usando o modelo MIROC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23(1), 58-72.
- Bonan, G., 2008: Forests and climate change: forcing feedbacks and the climate benefits of forests. *Ecology*, 81, 425-432.
- Brannstrom, C. *et al.*, 2008: Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: comparative analysis and implications for land-use policy. *Land Use Policy*, 25(4), 579-595.
- Brasil, 1973: Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Ministério da Agricultura, Recife: convênio MA/DPP-AS/DRNR, Boletim Técnico, 30, 431 pp.
- Brasil, 2008: Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil. Ministério da Saúde, Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), Brasília, DF, 40 pp.
- Brasil, 2010: Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF: 2010.
- Brassaloti, R.A. *et al.*, 2010: Anurofauna da floresta estacional semidecídua da estação ecológica dos Caetetus, Sudeste do Brasil. *Biota Neotrópica*, 10(1), 275-292.
- Brodribb, T.J. *et al.*, 2009: Evolution of stomatal responsiveness to CO<sub>2</sub> and optimization of water-use efficiency among plants. *New Phytologist*, 183, 839-847, doi:10.1111/j.1469-8137.2009.02844.x.
- Broggio, C. *et al.*, 1999: A dinâmica territorial da cafeicultura brasileira: dois sistemas de produção em Minas Gerais. *Revista Território*, Ano IV, nº 6, 73-91.
- Bustamante, M. e E. L. Oliveira, 2008: Impacto das atividades agrícolas, florestais e pecuárias nos recursos naturais, pp. 647-669. In: *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais* [Faleiro, F.G. e A.L. de Farias Neto (Eds.). Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.
- Bustamante, M. *et al.*, 2006: Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas, pp. 209-237. In: *Nitrogen cycling in the Americas: Natural and Antropogenic Influences and Controls* [Martinelli, L.A. e R.W. Howarth (Eds.)]. Houten, Netherlands: Springer Netherlands.
- Campos, C.G.C., 2011: *Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na Região Sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssego e de nectarina em Santa Catarina*. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). São José dos Campos, SP, 157 pp.
- Campos, C.G.C. *et al.*, 2006: Mudanças climáticas atuais e seus impactos no estado de Santa

Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 19(3).

Campos, J.N.B. *et al.*: 2003: Vulnerabilidade no rendimento de reservatórios em mudanças climáticas In: *Global Change and Regional Impacts: Water availability and vulnerability of Ecosystems and Society* [Gaiser, T. *et al.* (Orgs.)]. Berlin, Germany; New York, NY, USA: Springer Verlag.

Canhos, V.P. *et al.*, 2008: Análise da vulnerabilidade da biodiversidade brasileira frente às mudanças climáticas globais. *Parcerias Estratégicas*, 27, 113-148.

Carmona, L.C. e M.A. Berlato, 2002: *El Niño e La Niña* e o rendimento de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10, 147-152.

Carvalho, D.F., 2007: Café, ferrovias e crescimento populacional: o florescimento da região do Noroeste Paulista. *Histórica: Revista Eletrônica do Arquivo do Estado*, nº 27.

Casarin, D.P. e E.V.E. Kousky, 1986: Anomalias de precipitação no Sul do Brasil e variações da circulação atmosférica. *Rev. Bras. Meteo.*, 1, 83-90.

Cedeplar/UFMG e Fiocruz, 2008: Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais (Cedeplar) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Belo Horizonte, MG, 47 pp.

CGEE, 2007: Mar e ambiente costeiros. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, 323 pp.

Cobb, K.M. *et al.*, 2003: *El Niño/Southern Oscillation* and tropical Pacific climate during the last millennium. *Nature*, 424, 271-276.

Cochrane, M. e M. Schulze, 1999: Fire as a recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species. *Biotropica*, 3, 221-227.

Cochrane, M. *et al.*, 1999: Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284, 1832-1835.

Coelho, C.A.S. *et al.*, 2002: Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3-4), 185-197.

Colombo, A.F., 2007: *Consequências potenciais das mudanças climáticas globais para as espécies arbóreas da Mata Atlântica*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP.

Conab, 2011: Levantamentos de safras. Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acessado em: agosto de 2011.

Confalonieri, U.E.C., 2005a : Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. *Terra Livre*, 19-1(20), 193-204.

Confalonieri, U.E.C., 2005b: Mudanças climáticas e saúde humana, pp. 166-171. In: *Mudança do Clima* [Poppe, M. K. e Rovere, E.L.L. (Coords.)], Cadernos NAE, nº 3.

Confalonieri, U.E.C. 2005c. Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sa-

nitários das mudanças climáticas. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Escola Nacional de Saúde Pública, Programa de Mudanças Ambientais Globais e Saúde. 184 pp.

Confalonieri, U.E.C., 2007: Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Pereira Passos, 19 pp.

Confalonieri, U.E.C., 2008: Mudança climática global e saúde humana no Brasil. *Parcerias Estratégicas*, 27, 323-349.

Confalonieri, U.E.C. e D. P. Marinho, 2007: Mudança climática global e saúde: perspectivas para o Brasil. *Revista Multiciência*, 8, 48-64.

Confalonieri, U.E.C. *et al.*, 2011: Vulnerabilidades em matéria de saúde pública na região metropolitana do Rio de Janeiro na perspectiva das mudanças climáticas, pp. 199-225. In: *Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. [Nobre, C. e A. Young (Coords.)]. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://www.poli.ufrj.br/noticias/arquivos/completo.pdf>.

Confalonieri, U.E.C. *et al.* 2005: Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Relatório Final de Projeto de Pesquisa, Fiocruz, Rio de Janeiro, 96 pp.

Costa dos Santos, C.A. *et al.*, 2009: Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(1), 39-47.

Costa, M. e J. Foley, 1999: Trends in the hydrological cycle of the Amazon Basin. *Geophys. Res. Lett.*, 104(14), 189-194, 198

Cox, P.M. *et al.*, 2004: Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st Century. *Theor. Appl. Climatol.*, 78, 137-156.

Cox P.M. *et al.*, 2008: Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453, 212.

Cptec/ Inpe, 2011: *El Niño e La Niña*. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Disponível em <http://enos.cptec.inpe.br>. Acessado em agosto de 2011.

Cuadra, S.N. e R.P. Rocha, 2006: Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade. Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP Universidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(2), 271-282.

Cunha, G.R. da *et al.*, 1999: ENSO influences on wheat crop in Brazil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7, 127-138.

Cunha, G.R. da *et al.*, 2007: Análise de tendências na temperatura do ar e na precipitação pluvial na região de Passo Fundo, RS. Passo Fundo: Embrapa Trigo. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online*, 48, 15 pp. Disponível em [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp48.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp48.htm).

Dantas, A. *et al.*, 2007: Classificação e tendências em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(6), 1862-1866.

Datsenko, N.M. *et al.*, 1995: Variações pluviométricas no Nordeste brasileiro: Comparações com mudanças climáticas globais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 10(112), 42-47.

- Davidson, E. et al., 2012: The Amazon Basin in transition. *Nature*, 481, 321-328. Disponível em <http://www.nature.com/nature/journal/v481/n7381/abs/nature10717.html>.
- Dean, W., 2004: *A ferro e fogo. A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. São Paulo, SP: Companhia das Letras, 484 pp.
- Deconto, J.G. (Coord.), 2008: *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*. São Paulo, 2008. Embrapa Agropecuária, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas, SP: Embrapa/ Unicamp, 84 pp.
- Dessay, N. et al., 2004: Comparative study of the 1982-1983 and 1997-1998 *El Niño* events over different types of vegetation in South America. *Int. J. Remote Sensing*, 25(20), 4063-4077.
- Dietz, T. et al., 2003: Struggle to govern the commons. *Science*, 302, 1907-1912.
- Dobson, A.P., 1995. Biodiversity and human health, *Trends in Ecology and Evolution*, 10(10), 390-391.
- Domingues, E.P., 2011: Impactos econômicos das mudanças climáticas no Brasil: agricultura e segurança alimentar, pp. 110-114. In: *Anais da IV CRMG. Conferência Regional sobre Mudanças Climáticas: O Plano Brasileiro para um Futuro Sustentável*, 4, São Paulo, SP, 4-7 de abril. Relatório técnico. Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP), Academia Brasileira de Ciência (ABC). São Paulo, SP: IEA/ ABC.
- Dubreuil, V. et al., 2012: Monitoring the pioneer frontier and agricultural intensification in Mato Grosso using SPOT vegetation images, pp. 2-11. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télé-détection*, 200, nº 5.
- Eakin, H. e M. Lemos, 2010: Institutions and change: the challenge of building adaptive capacity in Latin America. *Global Environmental Change*, 20(1), 1-210.
- Eamus, D., 1991: The interaction of rising CO<sub>2</sub> and temperature with water use efficiency. *Plant, Cell and Environment*, 14(8), 843-852.
- Edwards, P.N., 2010: *A Vast Machine. Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming*. Cambridge, MA, USA: MIT Press.
- Egler, C.A.G., 2008: O Rio de Janeiro e as mudanças globais: uma visão geoeconômica, pp. 43-54. In: *Rio próximos 100 anos: o aquecimento global e a cidade* [Gusmão, P.P. et al. (Orgs.)]. Rio de Janeiro, RJ: Instituto Pereira Passos.
- Eisenhauer, N. e M. Schädler, 2010: Inconsistent impacts of decomposer diversity on the stability of aboveground and belowground ecosystem functions. *Oecologia*; 165(2), 403-415, doi:10.1007/s00442-010-1784-0.
- Eltahir, E. e R.L. Bras, 1994: Precipitation recycling in Amazon Basin, *Q.J.R. Meteorological Society*. 120, 861-880.
- Embrapa, 2004: *Solos do estado de Santa Catarina*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 46. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 745 pp.
- Embrapa/ Iapar, 1984: *Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Serviço Nacional de Levantamento de Conservação de Solos, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná (Iapar). Londrina, PR: Iapar, 2 vol., 788 pp.

- EPE, 2010: Plano Decenal de Expansão de Energia: PDE 2019. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ.
- EPE, 2011: Balanço Energético Nacional 2011, Ano Base 2010. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, RJ.
- Fagundes, J.D. *et al.*, 2010: Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(4), 351-360.
- Fallon, P. *et al.*, 2007: Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 114-124.
- FAO, 2006: Global Forest Resources Assessment 2005-2006. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Forestry Paper 147, Rome, Italy.
- FAO, 2010: Global Forest Resources Assessment 2010. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Forestry Paper 163, Rome, Italy.
- Fearnside, P.M., 1999: Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*, 26, 305-321.
- Fearnside, P.M., 2001: Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil.** *Environmental Conservation*, 28, 23-38.
- Fearnside P.M., 2008a: Deforestation in Brazilian Amazonia and global warming.** *Annals of Arid Zone*. 47, 355-374.
- Fearnside, P.M.; 2008b: Are climate change impacts already affecting tropical forest biomass? *Global Environmental Change*, 14(4), 299-302.
- Fearnside, P.M. *et al.*, 2001: Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 146, 115-128.
- Fenner, A. *et al.*, 2009: *Mudança climática e saúde: um perfil do Brasil*. Organização Pan-Americana da Saúde (Opas), Ministério da Saúde, Brasília, DF, 44 pp.
- Fernandes, R.O. *et al.*, 2010: Impacto das mudanças climáticas globais na evaporação em um reservatório no semiárido. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, BA, 25-28 de novembro.
- Ferreira Filho, J.B. e M. Horridge, 2010: Climate change impacts on agriculture and internal migration in Brazil, In: 48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Campo Grande, MS, 25-28 de julho.
- Ferreira, S. *et al.*, 2005: Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, 35(1), 55-62.
- Field, C.B. *et al.*, 1995: Stomatal response to increased CO<sub>2</sub>: implications from the plant to the global scale, *Plant, Cell and Environment*, 18, 1214-1225.
- Fleischfresser, V., 1988: *Modernização tecnológica da agricultura: contrastes regionais e diferenciação social no Paraná da década de 70*. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (Ipardes). Curitiba, PR: Ipardes/ Livraria do Chain, 154 pp.

- Fontana, D.C. e M.A. Berlato, 1997: Influência do *El Niño* Oscilação Sul sobre a precipitação do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 5(1), 127-132.
- Ford J.D. *et al.*, 2010: Climate change policy responses for Canada's Inuit population: the importance of and opportunities for adaptation. *Global Environmental Change*, 20, 177-191.
- Heintzenberg, J. e R.J. Charlson (Eds.), 2009: Clouds in the perturbed climate system. Their relationship to energy balance, atmospheric dynamics, and precipitation. Strüngmann Forum Reports. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 608 pp.
- Funcate, 2012: Emissões do setor de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas, 1994 a 2008. Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (Funcate), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) [Santos, C.P.F. (Coord.), Scolastraci, A.S.S. *et al* (Elaboração)]. São Paulo, SP: Funcate/ Cetesb, 120 pp.
- Füssel, H. M., 2007: Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17, 155-167.
- Gaiser, T. *et al.* (Orgs.), 2003: *Global Change and Regional Impacts: Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society*. Berlin, Germany e New York, NY, USA: Springer Verlag.
- Galdolf, G.L. *et al.*, 2010: The Amazon frontier of land-use change: croplands and consequences for greenhouse gas emissions. *Earth Interactions*, 14(15), 1-24.
- Galina, M.H. *et al.*, 2004: Mudanças climáticas de curto prazo: análise da tendência dos regimes térmicos e hídricos e do balanço hídrico nos municípios de Ribeirão Preto, Campinas e Presidente Prudente (SP) no período de 1969-2001, pp. 185-199. In: *Sociedade e natureza na visão da geografia* [Gerardi, L.H. de O. e M.A. Lombardo (Orgs.)]. Rio Claro, SP: Editora da Unesp.
- Garcia, A., 2010: Balanço hídrico de Ituverava (SP) sob condições de cenários climáticos futuros. *Nucleus*, 7(1), 217-221.
- García, N.O. e W.M.Vargas, 1998: The temporal climatic variability in the Río de la Plata Basin displayed by the river discharges. *Climate Change*, 38, 359-379.
- Gasparotto, F.K. *et al.*, 2005: Análise de tendência de variáveis climáticas térmicas e hídricas para o estado do Paraná. In: *Anais do CBA 14. XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2005, Campinas, SP, 18-21 de julho*.
- Gedney, N. *et al.*, 2006: Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*, 439, 835-838, doi:10.1038/nature04504.
- Goodin, D.G., 2003: The interdecadal timescale: introductory overview. In: *Climate Variability and Ecosystem Response at Long-Term Ecological Research Sites*, [Grenland, D. *et al.*]. Oxford, UK: Oxford University Press, 459 pp.
- Gordon, L.J. *et al.*, 2005: Human modification of global water vapor flows from the land surface. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 102(21), 7612-7617.
- Grimm, A.M. e G. Sampaio, 2012: Observações ambientais atmosféricas e de propriedades da superfície, Cap. 2, pp. 37-93. In: Base Científica das Mudanças Climáticas. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Grupo de Trabalho 1 (GT1). Relatório de Avaliação Nacional (RAN1), vol. 1. Rio de Janeiro, RJ.
- Grimm, A.M. *et al.*, 1997: *El Niño* no Paraná: o que se pode esperar em cada região. Uma análise científica. Instituto Tecnológico Simepar, Informativo nº 1, Curitiba, PR.



- Grimm, A.M. *et al.*, 1998: Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with *El Niño* and *La Niña* events. *Journal of Climate*, 11, 2864-2880.
- Grimm, A.M., 2003: The *El Niño* impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, 16(2), 263-280.
- Groisman, P.Y. *et al.*, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, 18, 1326-1350.
- Gubert, M.B. *et al.*, 2010: Estimativas de insegurança alimentar grave nos municípios brasileiros. *Cadernos de Saúde Pública*, 26(8), 1595-1605.
- Guedes, R.G. *et al.*, 2006: Modulação do ciclo anual de variáveis de superfície em São Luís (Maranhão) por oscilações de baixa frequência. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(2), 245-255.
- Guimarães, R.B., 2005: Health and global changes in the urban environment. In: *A Contribution to Understand the Regional Impact of Global Change in South America*. [Dias, P.L.S. *et al.*]. S. Paulo, SP: USP.
- Hardin, G., 1968: The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859): 1243-1248.
- Hastenrath, S., 1984: Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the Tropical Atlantic. *Monthly Weather Review*, 112, 1097-1107.
- Hastenrath, S., 1990: Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, 3(8), 893-904.
- Hastenrath, S., 2000: Interannual and longer-term variability of upper air circulation in the Northeast Brazil-Tropical Atlantic Sector, *Journal of Geophysical Research*, 105(D6), 7327-7335.
- Hastenrath, S. e L. Heller, 1977: Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103, 77-92.
- Hastenrath, S. e L. Greischar, 1993: Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, 6(4), 743-758.
- Haylock, M.R. *et al.*, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490-1512.
- Hecht, S., 1992: Logics of livestock and deforestation: the case of Amazonia. pp. 7-25. In: *Development or Destruction: the Conversion of Tropical Forests to Pasture in Latin America*. [Downing, T.E. *et al.* (Eds.)] Boulder, Colorado, USA: Westview Press.
- Hengeveld, H. *et al.*, 2005. An introduction to climate change: A Canadian perspective. Minister of the Environment, Science Assessment and Integration Branch, Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada, 68 pp.
- Heredia, B. *et al.*, 2010: Sociedade e economia do agronegócio no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, 25(74), 159-195.
- Hulme, M. e N. Sheard, 1999: Cenários de alterações climáticas para o Brasil. Norwich: Climate Research Unit, 6 pp. Disponível em [www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf](http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf). Acessado em: agosto de 2011.
- IBGE, 2001: Mapa do Mercado de Trabalho no Brasil 1992-1997. Instituto Brasileiro de Geografia

- e Estatística (IBGE), Informação Demográfica e Socioeconômica n° 7, Rio de Janeiro, RJ, 159 pp.
- IBGE, 2006a: *CENSO Agropecuário 2006*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ, pp.1-146.
- IBGE, 2006b: *CENSO Agropecuário 2006 Agricultura familiar*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ.
- IBGE, 2006c: **CENSO Agropecuário 2006**. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ, 777 pp.
- IBGE, 2010: *CENSO 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- IBGE, 2011a: *CENSO Demográfico 2010. Características da população e dos domicílios. Resultados do universo*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, RJ, 270 pp.
- IBGE, 2011b: Banco de Dados Agregados. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acessado em agosto de 2011.
- IBGE, 2012: Banco de Dados Agregados. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acessado em 7/07/2012.
- IPCC, 2000: Special Report on Emission Scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Vienna, Austria, 2000.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report (AR3) of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds.)]. Cambridge, UK e New York, NY, USA: Cambridge University Press: 398 pp.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Pachauri, R.K e Reisinger, A. (Eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Janzen, D., 1967: Why mountain passes are higher in the tropics? *American Naturalist*, 101, 233-249.
- João, M.M., 2009: *Análise do comportamento das temperaturas máxima e mínima médias mensais para o estado do Rio Grande do Sul*. 2009. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 137 pp.
- Kageyama, A. (Coord.), 1990: O novo padrão agrícola brasileiro: do complexo rural aos complexos agroindustriais. In: *Agricultura e políticas públicas* [Delgado, G. et al. (Orgs.)], Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Rio de Janeiro, RJ.
- Kasperson, R. et al., 2005: Vulnerable peoples and places, Chapter 6, pp. 143-164. In: *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, vol. 1, "Findings of the Condition and Trends". Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment [Hassan, R. et al. (Eds.)]. London, UK: Island Press.

Kayano, M.T. *et al.*, 1988: Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. *J. Climatol.*, 8, 477-488.

Kayano, M.T. e R.V. Andreoli, 2007: A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(1), 63-74.

Kiladis, G.N. e H.F. Diaz, 1989: Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2, 1069-1090.

Klink, C.A. e R.B. Machado, 2005: Conservation of Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. 19, 707-713.

Kousky, V.E. e I.F.A. Cavalcanti, 1984: Eventos Oscilação Sul-El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciência e Cultura*, 36(11), 1888-1889.

Kousky, V.E. *et al.*, 1984: A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.

Krol, M.S. e A. Bronstert, 2007: Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software*, 22, 259-68.

Kundzewicz, Z.W. *et al.*, 2007: Freshwater resources and their management, pp. 173-210. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L. *et al.* (Eds.)]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.*

Lacerda, F.F. *et al.*, 2009: Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú, PE: mudanças climáticas ou variabilidade? Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS, 22-26 de novembro.

Lago, I. *et al.*, 2008: Impact of increasing mean air temperature on the development of rice and red rice. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(11), 1441-1448.

Lambin, E.F. *et al.*, 2001: Our emerging understanding of the causes of land-use and -cover change. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269.

Lapola, D.M. *et al.*, 2010: Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 107, 3388-3393.

Larcher, W., 2000: *Ecofisiologia vegetal: as influências do ambiente sobre o crescimento e sobre o desenvolvimento*. Tradução: Carlos Henrique B.A. Prado. São Carlos, RiMa, 2000. Título original: *Ökophysiologie der Pflanzen*. ISBN 85-86553-03-8.

Latif, M. e N. Keenlyside, 2009: El Niño/ Southern Oscillation response to global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 106(49), 20578-30583.

**Laurance, S. *et al.*, 2009: Long-term variation in Amazon forest dynamics. *Journal of Vegetation Science*, 20, 323-333.**

Leipprand, A. e D. Gerten, 2006: Global effects of doubled atmospheric CO<sub>2</sub> content on evapotranspiration, soil moisture and runoff under potential natural vegetation. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 1171-1185.

Lepsch, I.F., 2005: Formação e conservação dos solos. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 192 pp.  
Lima, J.F. et al., 2006: O uso das terras no Sul do Brasil: uma análise a partir de indicadores de localização. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 44(4), 677-694.

Lindoso, D. et al., 2011: Agricultura familiar e mudanças climáticas: avaliando a vulnerabilidade à seca no semiárido nordestino, pp. 277-300. In: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios* [Motta, R.S. et al. (Eds.)]. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Brasília, DF.

Lobell, D.B. et al., 2008: Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(607), doi:10.1126/science.1152339.

Lucena, A.F.P. et al., 2010a: Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system. *Global Environmental Change*, 20, 342-350.

Lucena, A.F.P. et al., 2010b: The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. *Global Environmental Change*, 35, 904-912.

Maack, R., 1981: *Geografia física do Paraná*. 2ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 450 pp.

Madox, R.A., 1983: Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. *Monthly Weather Review*, 111, 1475-1493.

Makarieva, A. et al., 2009: Precipitation on land versus distance from the ocean: evidence for a forest pump of atmospheric moisture. *Ecological Complexity*, 6, 302.

Makarieva, A. et al., 2012: Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 79-96, doi:10.1007/s00704-012-0643-9.

Malhi, Y. et al., 2004: Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319, 169-172.

Manzatto, C.V. et al. (Orgs.), 2009: Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar, Embrapa, Documentos 110.

Manzatto, C.V. et al. (Eds.), 2002: *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa. 184 pp.

Marengo, J.A., 2006a: Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, DF: Biodiversidade 26.

Marengo, J.A., 2006b: On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21, 1-19.

Marengo, J.A., 2007: Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados de modelos globais de clima do IPCC. Relatório nº 1, Ministério do Meio Ambiente (MMA). São Paulo, SP: CPTEC/ Inpe. Disponível em [http://mudancas-climaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod\\_probio/Relatorio\\_1.pdf](http://mudancas-climaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_1.pdf).

Marengo, J.A., 2008: Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil, pp. 149-176. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Parcerias Estratégicas, 27, dezembro.

Marengo, J.A. e C.A. Nobre, 2005: Lições do Catarina e do Katrina. As mudanças do clima e os fenômenos extremos. *Ciência Hoje*, 37, 22-27.

Marengo, J.A. e C.C. Camargo, 2008: Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. *International Journal of Climatology*, 28(7), 893-904.

Marengo, J.A. e M.C. Valverde, 2007: Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, 8, 5-28.

Marengo, J.A. et al., 1998: Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil, and Northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research*, 103, 1775-1784.

Marengo, J.A. et al., 2007: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Sumário Técnico. Brasília, DF: MMA, 54 pp.

Marengo, J.A. et al., 2008: The drought of Amazonia in 2005. *Climate Journal of Climate*, 21, 495-516, doi:10.1175/2007JCLI1600.1.

Marengo, J.A. et al., 2009: Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*, 35(6), 1073-1097, doi:10.1007/s00382-009-0721-6.

Marengo, J.A. et al., 2010: Mudanças climáticas e recursos hídricos, Cap. 12, pp. 199-215. In: *Águas do Brasil: análises estratégicas* [Bicudo, C.E.M. et al. (Orgs.)]. Academia Brasileira de Ciências (ABC), Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do Estado de São Paulo. São Paulo, SP: ABC.

Marengo, J.A. et al., 2011: The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* 38(12), doi:10.1029/2011GL047436.

Margulis, S., 2003: *Causas do desmatamento da Amazônia brasileira*. Banco Mundial, Brasília, DF. ISBN: 85-88192-10-1, 100 pp.

Marin, F. R. (Coord.), 2006: Zoneamento de riscos climáticos: abordagem para agricultura familiar, bioenergia e pastagens. Projeto Macroprograma 1. Embrapa Informática Agropecuária, Brasília, DF.

Markham, C.G. e D.R. McLain, 1977: Sea surface temperatures related to rain in Ceara Northeastern Brazil, *Nature*, 265, 320-323, doi:10.1038/265320a0.

Marques, J.R.Q. et al., 2005: Aumento da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, sua relação com o aquecimento global e possíveis impactos no arroz irrigado, pp. 224-229. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado*, 4, Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 26, 2005, Santa Maria, RS.

Martins, E.S.P.R. et al., 2012: As águas do Nordeste e o balanço hídrico. In: *A questão da água no Nordeste*. Agência Nacional de Águas (ANA). Brasília, DF.

Martins, E.S.P.R., 2011: Adapting water resources planning and operation to climate variability and

- climate change in selected river basins in Northeast Brazil. Desk Review: Climatic and Hydrologic Components, World Bank Report, September.
- Martins, L.C. *et al.*, 2002: Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in São Paulo, Brazil. *Rev. Saúde Pública*, 36(1), 88-94.
- Martins, M.C. *et al.*, 2004: Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 58(1), 41-46.
- McMichael, A.J., 2003: Global climate change and health: an old story writ large, Chapter 1, pp 1-17. In: *Climate change and human health. Risks and responses*. [McMichael, A.J. *et al.* (Eds.)]. Geneva, Switzerland, 322 pp.
- MCT, 2007: Análise da vulnerabilidade da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF, 201 pp.
- McWilliam, A. *et al.*, 1993: Leaf-area index and above-ground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazonia. *Functional Ecology*, 7(3), 310-317.
- Medeiros, Y.D.P., 2003: Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semiárida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 127-136.
- Meggers, B., 1994: Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change*, 28 (1-2), 321-338.
- Mello, E. *et al.*, 2008: Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu (médio São Francisco). *Eng. Agríc.*, 28(4), 635-644.
- Melo, H.P., 2008: A Zona Rio Cafeeira: uma expansão pioneira. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 4(3), 49-82.
- Mendelsohn, R. *et al.*, 2001: The effect of development on the climate sensitivity of agriculture. *Environment and Development Economics*, 6(1), 85-101.
- Mezzomo, D. *et al.*, 2007: Análise espectral da temperatura mínima média em dois trimestres numa região homogênea do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15(2), 121-132.
- Micol, L. *et al.*, 2008: Pacto pela valorização da floresta e pelo fim do desmatamento na Amazônia brasileira: potencial de aplicação no estado de Mato Grosso. Instituto Centro de Vida (ICV).
- Miller, D. e J.M. Fritsch, 1991: Mesoscale convective complexes in the Western Pacific region. *Monthly Weather Review*, 119, 2978-2992.
- Milly, P.C.D. *et al.*, 2005: Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, 347-350.
- Milton, Y. e M.Kaspari, 2007: Bottom up and top down regulation of decomposition in a tropical forest. *Oecologia*, 153, 163-172.
- Minuzzi, R.B., 2010: Chuvas em Santa Catarina durante os eventos do El Niño Oscilação Sul. *Geosul.*, 25(50), 107-127.
- MMA, 1997: Plano Nacional de Combate à Desertificação. Centro de SENSORiamento Remoto,

- Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Brasília, DF.
- Moncunill, D.F., 2006: The rainfall trend over Ceara and its implications, pp. 315-323. In: *Proceedings of 8 ICSHMO*. International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 8, 2006, Foz do Iguaçu, PR, 24-28 de abril.
- Montenegro, A. e R. Ragab, 2010: Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: a modelling study, *Hydrological Process*, 24, 2705-2723, doi:10.1002/hyp.7825.
- Moraes, G.I., 2010: *Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável*. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), Piracicaba, SP.
- Moreno, J.A., 1961: Clima do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Divisão de Terras e Colonização, Porto Alegre, RS.
- Morton, D., 2006: Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 103(39), 14637-14641.
- Morton, J.F., 2007: The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 104(50), 19680-19685.
- Mósen, M., 2008: *Agricultura em áreas frágeis: as transformações decorrentes do processo de arenização em São Francisco de Assis, RS*. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Rural, Faculdade de Ciências Econômicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- Mota, F.S. et al., 1993: Tendência temporal da temperatura no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 1(1), 101-103.
- Motta, R.S. et al., 2011: *Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Brasília, DF: Ipea, 428 pp.
- Moura, A.D. e J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 3(2), 2653-2675.
- Moutinho, P. e S. Schwartzman, 2005: Tropical deforestation and climate change. Belém, PA: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam). Environmental Defense, Washington, DC, 131 pp.
- Muhe, D., 2001: Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites de orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1), 35-44.
- Muhe, D., 2003: Beach morphodynamic research in Brazil: evolution and applicability. *Journal of Coastal Research*, 35(Special Issue), 32-42.
- Müller, I.I. et al., 1998: Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(4), 51-71.
- Myers, N., 1988: Tropical forests: Much more than stocks of wood. *J Trop Ecol.*, 4, 209-221.
- Negrón Juárez, R. I. e H.R. Rocha, 2004: Estudo numérico da sensibilidade do clima no Sudeste do Brasil devido às mudanças do uso da terra. *Anais do Cbmet 13*. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, 2004.

Nepstad, D. *et al.*, 1999: Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fires. World Bank, Brasília, DF.

Nepstad, D. *et al.*, 2001: Road paving, fire regimes feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, 154, 395-407.

Neves, C.F. e D. Muhe, 2008: Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira, pp. 217-296. In: *Mudanças do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. ParceriasEstratégicas, 27.

Nobre, C.A. *et al.*, 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *American Meteorological Society, J. Climate*, 4(10), 957-988. Disponível em <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%281991%29004%3C0957%3AADARCC%3E2.0.CO%3B2>. Acessado em 20/04/2012.

Nobre, C.A., 2010a: Tecnologia para mudanças climáticas. INCT para Mudanças Climáticas: Relatório de atividades 2009-2010. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT). São José dos Campos, SP, 96 pp. Disponível em [http://inct.ccst.inpe.br/INCT\\_report\\_digital\\_port.pdf](http://inct.ccst.inpe.br/INCT_report_digital_port.pdf).

Nobre, C.A. *et al.*, 2010b: Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo. Inpe/ Unicamp/ FMUSP/ IPT/ Unesp-Rio Claro. São Paulo, SP. Disponível em [http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo\\_megacidades.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2010/SumarioExecutivo_megacidades.pdf).

Nobre, C.A., 2001: Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. *Parcerias Estratégicas*, 12, 239-258.

Nóbrega, M.T. *et al.*, 2011: Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 585-595.

O'Brien, K. *et al.*, 2009: Vulnerability interventions in the context of multiple stressors: Lessons from the Southern Africa Vulnerability Initiative (Savi). *Environmental Science & Policy*, 12, 23-32.

Opas, 2009: Mudança climática e saúde: um perfil do Brasil. Organização Pan-Americana da Saúde (Opas), Ministério da Saúde. Brasília, DF: Opas.

Ozanne, C.M.P. *et al.*, 2003: Biodiversity meets the atmosphere: a global view of Forest Canopies. *Science*, 301, 183, doi:10.1126/science.1084507.

Pandolfo, C. *et al.*, 2007a :Estimativas dos impactos das mudanças climáticas nos zoneamentos da cultura da banana e da maçã no estado de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 20(2), 36-40.

Pandolfo, C. *et al.*, 2007b: Estimativas dos impactos das mudanças climáticas no zoneamento da cultura do feijão no estado de Santa Catarina. *Revista Agropecuária Catarinense*, 20(3), 39-42.

Pandolfo, C. *et al.*, 2009: Mudanças climáticas e a área de produção da videira europeia (*Vitis vinifera* L.) no estado de Santa Catarina. In: Anais do CBA 16. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte, MG, 22-25 de setembro.

Pellegrino G.Q. *et al.*: Mudanças climáticas globais e agricultura no Brasil, *Revista Multiciência*, 8, 139-162.



MMA, 2006 Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 135 pp.

**MMA, 2008: Plano Nacional Sobre Mudança do Clima (PNMC). Versão para consulta pública.** Brasília,. 154 pp. Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/169/\\_arquivos/169\\_29092008073244.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf).

Poppe, M.K. e M.M. Santos, 2007: Impactos, vulnerabilidade e adaptação. Tema 2. pp. 23-29. In: Mudança climática: rumo a um novo acordo mundial. Relatório Científico [Diniz, E.M. (Ed.)]. Conferência Regional sobre Mudanças Globais: América do Sul, 3. São Paulo, SP, IEA/USP.

Prudêncio, R.S. *et al.*, 1999: Análise do ritmo pluviométrico do litoral catarinense, pp. 1055-1063. In: Anais do CBA 11. XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Rio de Janeiro, RJ.

Quadro, M.F.L. *et al.*, 1996: Climatologia de precipitação e temperatura no período de 1986-1996. Climanálise Especial, Edição Comemorativa de 10 anos. Disponível em <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>.

Rao, V.B. e K. Hada, 1990: Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with southern oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, 81-91.

Ratter, J.A. *et al.*, 1997: The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*, 80, 223-230.

CDKN, 2012: *Gerenciando extremos climáticos e desastres na América Latina e no Caribe: Lições do Relatório SREX IPCC*. The Climate and Development Knowledge Network (CDKN)/ Rede de Conhecimento de Clima e Desenvolvimento. CDKN/ Alianza Clima y Desarrollo.

Ribeiro, H. e J.V. Assunção, 2002: Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, 16(44): 125-148.

Ribeiro, J.F. e B.M.T. Walter, 1998: Fitofisionomias do bioma Cerrado, pp.89-166. In: *Cerrado: ambiente e flora* [Sano, S.M. e S.P. Almeida (Eds.)]. Planaltina, GO: Embrapa/ CPAC.

Ribeiro Neto, A. *et al.*, 2011: Impacto das mudanças climáticas no escoamento superficial usando modelo climático regional: Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: Proceedings. XIV World Water Congress. International Water Resources Association (IWRA), Porto de Galinhas, PE, 25-29 de setembro.

Ricce, W. da S. *et al.*, 2009: Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, estado do Paraná. In: *Anais do CBA 14*. XV Congresso Brasileiro da Agrometeorologia, Belo Horizonte, MG, 22-25 de setembro.

Rodrigues-Filho S. *et al.* 2008: Aspectos geopolíticos das mudanças climáticas: a sustentabilidade do Brasil numa economia global de baixo carbono. Câmara dos Deputados, Brasília, DF. *Revista Plenarium*, Ano 4, nº 5, pp. 84-94.

Roesler, R. *et al.*, 2007: Atividade antioxidante de frutas do Cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, 53-60.

Ropelewski, C.F. e M.S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the *El Niño*/ Southern Oscillation. *Mon. Weather Rev.*, 115, 1606-1626.

Roson, R. e D. van der Mensbrugge, 2010: Climate change and economic growth: impacts and interactions. Department of Economics, Ca'Foscari University of Venice, Working Papers, n° 7/ WP/2010. Disponível em [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1594708](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1594708).

Salati, E. *et al.*, 2004: As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros. Disponível em [www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm](http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm). Acessado em 25/06/2004.

Salati, E. *et al.*, 2007: Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI. Relatório 4. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Brasília, DF, 182 pp.

Salati, T. *et al.*, 2008: Economia das mudanças climáticas no Brasil. Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FDBS). Rio de Janeiro, RJ: FDBS, 80 pp.

Sant'Anna Neto, J.L., 2005: Decálogo da climatologia do Sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1(1), 43-60.

Santos, R.S. *et al.*, 2011: Avaliação da relação seca/ produtividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(2), 313-321.

Satyamurty, P. *et al.*, 1998: South America, pp. 119-139. In: *Meteorology of the Southern Hemisphere*, vol. 27. American Meteorological Society (AMS). Boston, MA, USA: AMS.

Schaeffer, R. *et al.*, 2008: Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Relatório do PPE/ Coppe/ UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

Schmitz, H. e D.M. Mota, 2010: Agricultura familiar: elementos teóricos e empíricos. In: *Agricultura familiar: extensão rural e pesquisa participativa* [Schmitz, H. (Org.)]. São Paulo, SP: Annablume, 348 pp.

Seab, 2008: Produção Agropecuária Comparativo Paraná, Brasil. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (Seab), Curitiba, PR. Disponível em <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/cprbr.pdf>. Acessado em 29/09/2011.

Sheil, D. e D. Murdiyarso, 2009: How forests attract rain: an examination of a new hypothesis. *BioScience*, 4(59), 341-347.

Shukla, J. *et al.*, 1990: Amazon deforestation and climate change. *Science*, 247, 1322-1325.

Silva Dias, M.A.F. *et al.*, 2012: Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, 116(3-4), 705-722, doi 10.1007/s10584-012-0504-7.

Silva Júnior, J.L.C., 2007: *Simulação da produtividade das culturas do milho e do feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, do estado de Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Silva Neto, B. e T.R. Frantz, 2003: Dinâmica da agricultura e desenvolvimento no Rio Grande do Sul. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 41(3).

Silva, J.M.C. e J.M. Bates, 2002: Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. *BioScience*, 52(3), 225-234.

- Silva, M.E.S e A.K. Guetter, 2003: Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. *Revista Terra Livre*, 1(20), 111-126.
- Siqueira Neto, M. *et al.*, 2011: Greenhouse gas emission caused by different land-uses in Brazilian Savannah. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(1), 63-76, 2011.
- Siqueira, M.F. e A.T. Peterson, 2003: Consequences of global climate change for geographic distributions of Cerrado tree species. *Biota Neotropica*, 3(2), 1-14.
- Siqueira, O.J.F. *et al.*, 1994: Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 2, 115-129.
- Smit, B. e J. Wandel, 2006: Adaptation, adaptive capacity, and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 282-292.
- Smit, B. *et al.*, 2000: An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climate Change*, 45, 223-251.
- Smithers, J. e B. Smit, 1997: Human adaptation to climatic variability and change. *Global Environmental Change*, 7, 129-146.
- SOS Mata Atlântica/ Inpe, 2010: *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2008-2010. Relatório Parcial*. 60 pp. Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São Paulo, SP/ São José dos Campos, SP, 122 pp. Disponível em <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>. Acessado em outubro de 2010.
- Souza Filho, F.A. e U. Lall, 2003: Seasonal to interannual ensemble streamflow forecasts for Ceara, Brazil: application of multivariate, semiparametric algorithm. *Water Resources Research*, 39(11), doi:10.1029/2002wr001373.
- Steinmetz, S. *et al.*, 2005: Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis consequências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Anais do CBA 14. XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Campinas, SP.
- Streck, N.A. e C.M. Alberto, 2006: Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. *Ciência Rural*, 36(2), 424-433.
- Streck, N.A. *et al.*, 2010: Simulating leaf appearance in a maize variety. *Bioscience Journal*, 26, 384-393.
- Studzinski, C., 1995: *Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e a sua relação com os oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Sul*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 99 pp.
- Suertegaray, D.M.A. *et al.* (Orgs.), 2001: *Atlas da Arenização: Sudoeste do Rio Grande do Sul*. Secretaria de Estado da Coordenação e Planejamento e Secretaria da Ciência e Tecnologia, Porto Alegre, RS, 84 pp.
- Suertegaray, D.M.A., 1995: O Rio Grande do Sul descobre os seus desertos. *Ciência & Ambiente*, 11, 33-52.
- Suertegaray, D.M.A., 1987: *A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais*

- de Quaraí, RS. Tese de Doutorado em Geografia Física. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 243 pp.
- Talbot, R. *et al.*, 1990: Aerosol chemistry during the wet season in Central Amazonia: the influence of long-range transport. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 95(D10), 16955-16969, doi:10.1029/JD095iD10p16955.
- Tanajura, C.A.S. *et al.*, 2010: Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HADRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(3), 345-358.
- Teixeira, M.S. 2004: *Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, SP, 94 pp.
- Thompson, J. e C.Cairncross, 2002: Drawers of water: assessing domestic water use in Africa. *Bull Who*, 80, 61-62.
- Ticktin, T., 2004: The ecological implications of harvesting non-timber forest products. *Journal of Applied Ecology*, 41, 11-21.
- Timmermann, A. *et al.*, 1999: Increased *El Niño* frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, 398, 694-696.
- Timmins, C., 2006: Endogeneous land use and the ricardian valuation of climate change, environment and resource economics, 33(1), 119-142, doi:10.1007/s10640-005-2646-9.
- Tucci, C.E.M. e R.T. Clarke, 1997: Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(1), 135-152.
- Tucci, C.E.M. e R.T. Clarke, 1998: Environmental issues in the La Plata Basin. *Water Resources Development*, 14(2), 157-173.
- Tucci, C.E.M., 2001: Bacias brasileiras do Rio da Prata: avaliações e propostas. Agência Nacional de Águas (ANA), 124 pp.
- Tucci, C.E.M., 2003: Drenagem urbana. *Ciência e Cultura*, 55(4).
- Turner, B. *et al.*, 2003: A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 100(14):8074-8079.
- Uhl, C. e J. Kauffman, 1990: Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. *Ecology*, 71(2), 437-449.
- Uhl, C. e R. Buschbacher, 1985: A disturbing synergism between cattle-ranch burning practices and selective tree harvesting in the Eastern Amazon. *Biotropica*, 17(4), 265-268.
- UK Met Office, 2005: Climate change, rivers and rainfall. Recent research on climate change science from the Hadley Centre. Exeter, UK: UK Met Office.
- Uvo, C.B. *et al.*, 1998: The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. *J. Climate*, 11, 551-562.
- Veiga, J. *et al.*, 2004: *Expansão e trajetórias da pecuária na Amazônia*. Brasília, DF: Editora da UnB.

- Veloso, H.P. et al., 1991: *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE. 124 pp.
- Wagner, R., 1996: Decadal-scale trend in mechanisms controlling meridional sea surface temperature gradients in the tropical Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 101, 16683-16694.
- Walker, G.K. et al., 1995: Impact of the ongoing Amazonian deforestation on local precipitation: a GCM study. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(3), 346-361.
- Walter, L.C. et al., 2010: Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz. *Ciência Rural*, 40(11), 2411-2418.
- World Bank, 2008: World Development Report 2008: Agriculture for development. The World Bank, 365 pp. Disponível em <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/0,,contentMDK:23062293~pagePK:478093~piPK:477627~theSitePK:477624,00.html>.
- Webster, P.J. et al., 2005: Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309(5742), 1844-1846.
- Wrege, M.S. et al., 2010: Impact of global warming on the accumulated chilling hours in the Southern Region of Brazil. *Acta Horticulturae*, 872, 31-40.
- Young, A.F. e D.F. Hogan, 2010: Vulnerabilidades às mudanças climáticas: efeitos da elevação do nível do mar e precipitação intensa nas planícies e encostas da cidade do Rio de Janeiro. XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambu, MG, 20-24 de setembro. Disponível em [http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs\\_pdf/eixo\\_3/abep2010\\_2357.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2010/docs_pdf/eixo_3/abep2010_2357.pdf)
- Zardo, R.N. e R.P.B. Henriques, 2011: Growth and fruit production of the tree *Caryocar brasiliense* in the Cerrado of Central Brazil. *Agroforest Syst.*, 82, 15-23.
- Zhao, F. et al., 2010: Evaluation of methods for estimating the effects of vegetation change and climate variability on streamflow. *Water Resour. Res.*, 46(3), doi:10.1029/2009WR007702.
- Zuidema, G. et al., 1994: Simulating changes in global land cover as affected by economic and climatic factors. *Water, Air, and Soil Pollution*, 76(1-2), 163-198.





