



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THALITA DE SOUZA GURGEL

**OCORRÊNCIA DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE MACAÍBA NO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE**

NATAL - RN
(NOVEMBRO - 2017)

THALITA DE SOUZA GURGEL

**OCORRÊNCIA DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE MACAÍBA NO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE**

**Trabalho de Conclusão de Curso 2
apresentado à Graduação em Engenharia
Ambiental, da Universidade Federal do Rio
Grande do Norte, como requisitos parcial e
obrigatório para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Ambiental.**

Orientadora: Professora Dr^a. Joana Darc Freire de Medeiros

**NATAL-RN
(NOVEMBRO - 2017)**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

Gurgel, Thalita de Souza.

Ocorrência de cheias no município de Macaíba no estado do Rio Grande do Norte / Thalita de Souza Gurgel. 2017.

21 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental. Natal, RN, 2017.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Joana Darc Freire de Medeiros.

1. Inundações – Drenagem Urbana. 2. Enchentes – Controle de enchentes. 3. Vazões máximas – Precipitações. Monografia. I. Medeiros, Joana Darc Freire de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 502.53

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado o fôlego da vida, graça, persistência, consistência, paciência, forças nessa longa caminhada que agora chega ao fim!

À minha família por estar ao meu lado, sempre me apoiando, nos momentos mais difíceis e nos mais alegres.

Aos meus pais pela paciência, o amor e incentivo para comigo.

À minha Orientadora Joana Darc pelo apoio, aprendizado e experiência profissional que me foi concedido.

Às amigas que aguentaram minhas reclamações e ao mesmo tempo por compreenderem minhas ausências em encontros e festas.

OCORRÊNCIA DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE MACAÍBA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO

As enchentes são fenômenos naturais comuns em áreas próximas aos rios e estuários. A cidade de Macaíba apresenta uma certa vulnerabilidade devido às suas características geomorfológicas com ocorrências registradas de inundações ao longo do rio Jundiaí. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é estudar uma área de inundação numa seção do rio Jundiaí, previamente escolhida, na cidade de Macaíba.

Os resultados mostraram que no ponto escolhido, em Macaíba, para vazões com um Tempo de recorrência até dois anos não há ocorrências de extravasamento. Para vazões correspondentes a mais de 5 anos ocorre tendências ao transbordamento da calha do rio, confirmando a sua vulnerabilidade.

Palavras-chaves:

Controle de enchentes, Precipitações, Drenagem Urbana, Inundações, Vazões Máximas.

ABSTRACT

The floods are natural common phenomenon in areas close to rivers and estuaries. The city of Macaíba presents a certain vulnerability due to their geomorphological characteristics with occurrence of floods along the Jundiaí River. Therefore, this work aims to identify the flood areas in a section of the Jundiaí river in the city of Macaíba. The results showed that in the chosen point, for flows corresponding to more than 5 years, there are tendencies to overflow of the river channel, confirming its vulnerability.

Key-words:

Flood Control, Precipitation, Urban Drainage, Inundated, Maximum Flows.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1– Área de Estudo	8
3.2 – Obtenção dos Hietogramas de Projeto	9
3.3 – Obtenção da Vazão de Projeto	10
3.4 – Nível de cheia através do Método de Manning	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4.1 Hietograma de Projeto	14
4.2. Vazão de Projeto	15
4.3 Níveis de Cheia em Macaíba	17
5. CONCLUSÕES	18
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

Inundação é um transbordamento de água da calha normal de rios, lagos, açudes e mares, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas que habitualmente não ficam submersas. Já enchente se refere à elevação do nível de água de um rio acima de sua vazão normal. As enxurradas podem ser definidas como os volumes de água que escoam na superfície do terreno, com grande velocidade, em decorrência de fortes chuvas. Os alagamentos, por sua vez, são resultantes do acúmulo de água no leito de ruas e no perímetro urbano, causado por precipitações pluviométricas fortes, em cidades com drenagem deficiente (ANA, 2012). Frequentemente, inundação e enchente são usadas como sinônimos. As inundações não podem ser evitadas por serem fenômenos naturais, porém seus danos podem ser mitigados (FLEMMING, 2002).

As inundações constituem um grave problema no espaço das cidades. Geralmente, sua causa está relacionada com o acúmulo da água das chuvas sem a existência de meios adequados para o seu escoamento. Entretanto, nem todas as suas causas são antrópicas. Em alguns casos, essa é apenas uma ocorrência natural, que é intensificada pelo processo de urbanização desordenado e sem planejamento, além da ocupação de áreas naturalmente mais sujeitas aos riscos de enchentes, principalmente pela população de baixa renda. No Brasil, segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT/CGE, 2002), as inundações causam perdas de 1 bilhão de dólares por ano, principalmente, em razão da ocupação desordenada das margens de rios e impermeabilização do solo de bacias urbanas.

De acordo com o Atlas de Desastres Naturais no Brasil (Brasil, 2012), as enxurradas e inundações são os desastres naturais com maior número de afetados, atrás somente dos eventos de secas. Apesar de haver muitos históricos de secas, o Rio Grande do Norte (RN) também apresenta registros de inundações ao longo de seu território em diferentes regiões. Foram 206 registros oficiais de inundações excepcionais entre 1991 e 2012. Dentre os 167 municípios do Estado, 116 foram atingidos por desastres de inundações, entre eles o município de Macaíba (CEPED/UFSC, 2013).

As chuvas máximas são uma das causadoras de enchentes e inundações. Em áreas de ocupação irregular, sujeitas aos regimes de inundações, próxima aos leitos dos rios, isso se torna um problema mais sério (evidente). Além das causas naturais, a elevação do volume do leito dos rios pode ser intensificada por ações como a impermeabilização do solo. Após as precipitações, as águas podem seguir três direções principais: para cima (quando evaporam), para baixo (quando infiltram) e horizontalmente (escoamento superficial). Com a impermeabilização dos solos (com asfaltos e calçadas), as enxurradas tendem a aumentar e intensificar o poder das enchentes (PENA, 2014).

Alguns rios formam planícies de inundações. Esses cursos d'água dispõem de uma área nos limites de suas margens para as quais extravasam a sua vazão durante alguns períodos de fortes chuvas. O problema é que, graças à expansão urbana acelerada, algumas dessas áreas de inundação são erroneamente ocupadas.

A questão das enchentes e inundações nos centros urbanos é um típico caso de uma manifestação natural que é intensificada pela ação humana e pela forma com que ocorre o processo de uso e ocupação do

espaço. Em linhas gerais, o uso irregular do espaço das cidades, sobretudo nas margens dos cursos d'água, está relacionado com as administrações municipais e com a ineficácia ou inexistência de um Plano Diretor de Drenagem plenamente adequado a essas questões (PENA, 2014).

O estudo das cheias é importante tanto na prevenção de enchente e inundações de áreas urbanas, sendo essenciais nos estudos da drenagem, quanto para sistemas de alerta em caso de situações extremas de calamidades públicas, a fim de serem tomadas as medidas necessárias quando há o risco do sinistro, principalmente na prevenção de perdas de materiais e vidas.

A bacia do rio Jundiá se desenvolve principalmente na região agreste do Estado, tratando-se de uma zona de transição, pouco estudada no ponto de vista hidrológico. Esta bacia apresenta diversos problemas ambientais. Alguns deles são destacados por Trancoso (2012):

“... ocorrências periódicas de inundações no perímetro urbano da cidade de Macaíba e problemas ambientais significativos em seu estuário decorrentes de poluições provocadas pelo lançamento de efluentes de carnicultura, esgotos domésticos e industriais são alguns problemas ambientais enfrentados pela população de Macaíba.”

A cidade de Macaíba tem sido atingida por problemas de enchentes provocadas por cheias no rio Jundiá, que causam prejuízos econômicos e sociais devido à inundação de áreas habitadas (principalmente no centro comercial), como atestado em documento elaborado pelo SINDCOMÉRCIO e CDL de Macaíba (SINDCOMERCIO, 2003).

Nesse contexto, a gestão do risco à inundação, se torna necessário. Segundo Tucci (2007), medidas de controle da inundação, que podem ser do tipo estrutural e não estrutural, visam tornar mínimo o risco das populações que estão expostas, diminuindo os prejuízos causados. As medidas não estruturais, segundo o mesmo autor se destacam pela tentativa de diminuir prejuízos em função da melhor convivência da população com as cheias. Entre o conjunto de medidas não estruturais disponíveis, pode-se citar o zoneamento das áreas de risco de inundação.

Assim, o estudo da ocorrência de cheias em Macaíba, propósito principal do presente estudo, permitirá identificar se o local escolhido é uma área sujeita a inundação para diferentes tempos de recorrência, o que poderá auxiliar a gestão de cheias na região.

2. OBJETIVOS

Geral:

Estudar a ocorrência de eventos extremos de cheias e suas consequências na cidade de Macaíba no estado do Rio grande do Norte.

Específicos:

- Estimar as vazões máximas para diferentes tempos de recorrência na sub-bacia do Rio Jundiá;

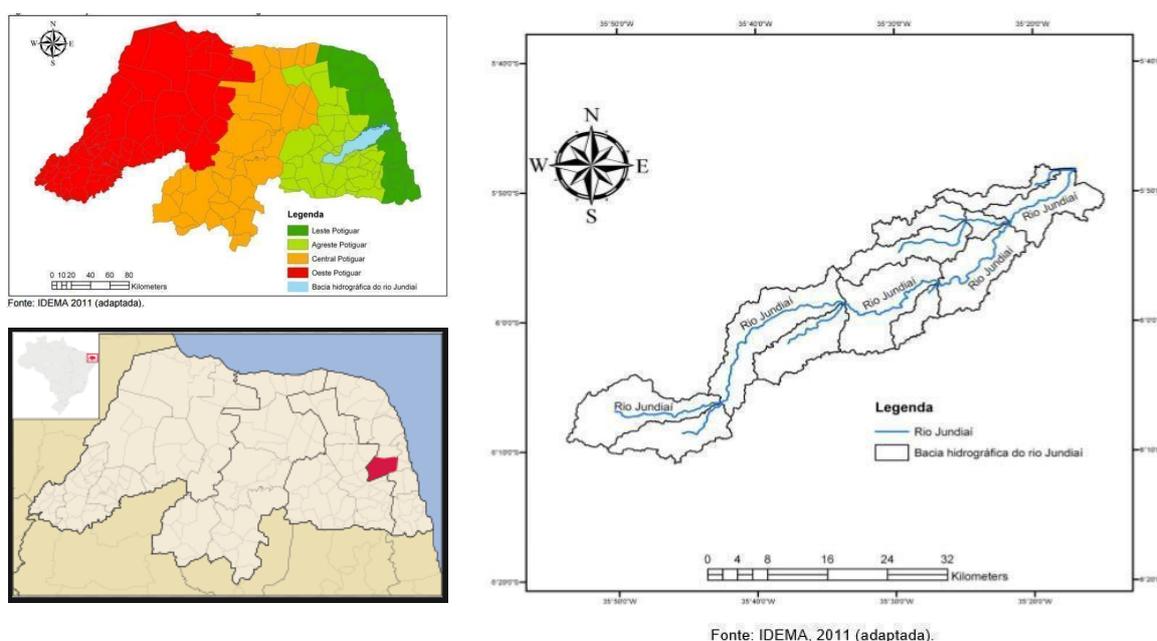
- Estimar o nível de água para as diferentes vazões máximas na cidade de Macaíba;

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1– Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Jundiáí, que encontra-se inserida na bacia hidrográfica do rio Potengi localizada nas mesorregiões Leste e Agreste do estado do Rio Grande do Norte, apresentando uma área de contribuição de 803 km².

Figura 1 – Localização da bacia do rio Jundiáí.



Os municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Jundiáí são Natal, Parnamirim, Macaíba, São Gonçalo do Amarante, Monte Alegre, Vera Cruz, Sítio Novo, Tangará, Serra Caíada, Senador Elói de Souza e Bom Jesus (IDEMA, 2001).

O rio Jundiáí nasce, em terreno cristalino, na serra Chata, município de Sítio Novo – RN, a uma altitude de 280 metros e tem a extensão total do seu curso de aproximadamente 85 Km e uma vazão média aproximada de 5m³/s (TRANCOSO, 2012).

Em seu percurso, passa por distintas zonas físicas do estado do Rio Grande do Norte entre o alto e médio curso. O rio se caracteriza como drenagem intermitente em decorrência da irregularidade e reduzida pluviosidade da região afetada pelas estiagens, associado a um substrato cristalino. Em seu baixo curso, nas proximidades da cidade de Macaíba, a 7 Km da desembocadura no oceano Atlântico, apresenta-se perene, pois recebe aporte do aquífero Barreiras.(TRANCOSO, 2012). Seus principais contribuintes são os riachos da Prata/Guarapes, das Quintas, do Baldo, do Carvão, do Fundão e do Pedro.

A cidade de Macaíba, cuja população estimada para o ano de 2017 é de 80.031 habitantes (IBGE, 2017), tem histórico de frequentes inundações em alguns trechos da cidade, no qual houve crescimento nas imediações das margens desse rio, gerando uma ocupação do solo irregular.

3.2 – Obtenção dos Hietogramas de Projeto

Uma chuva de projeto é um evento idealizado, ao qual está associado ao tempo de retorno ou uma probabilidade de que este evento venha a ser igualado ou superado em um ano qualquer (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013). Considera-se que o tempo de retorno da vazão máxima gerada por uma chuva de projeto é igual ao tempo de retorno da própria chuva de projeto.

As chuvas de projeto normalmente são obtidas por meio de uma curva IDF, expressão que relaciona a intensidade de chuva com sua duração e seu tempo de retorno. Considerando que a cidade de Macaíba não dispõe de séries de dados de pluviógrafos longas o suficiente para estimativa de uma curva IDF, foi utilizado, neste trabalho, a curva IDF de Natal, disponível no Plano Diretor de Drenagem da Cidade (NATAL, 2009) (Equação 01).

A equação IDF ajustada pelo plano diretor de drenagem do município de Natal, com os dados pluviográficos do período compreendido entre 1926 a 1977:

$$i = \frac{502,47 \times T^{0,1431}}{(t + 10,8)^{0,606}} \quad \text{Equação 01}$$

i é a intensidade da precipitação (mm/h)

T é o tempo de retorno (anos)

t é a duração da precipitação (min)

Observando a equação das curvas IDF, percebe-se que a intensidade das chuvas diminui à medida que aumenta a duração das chuvas. Com base nisso, admite-se que as chuvas que causam as situações mais críticas em uma bacia têm a duração aproximadamente igual ao tempo de concentração da bacia (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013), que é definido como o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada (TUCCI, 1997).

As características que influem sobre o tempo de concentração são área da bacia; comprimento e declividade do canal mais longo; comprimento ao longo do curso principal, desde o centro da bacia até a seção de saída considerada (ARAUJO, 2011).

Existem várias fórmulas empíricas para determinar o valor do tempo de concentração. A equação utilizada e que apresentou resultados satisfatórios para a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá - Macaíba/RN foi a equação do corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (Equação 02). Nessa fórmula, a área da bacia hidrográfica deve ser menor que 12.000 km² e o comprimento do rio principal deve ser até 257 km (SILVEIRA, 2005). De acordo com as características da bacia do Rio Jundiá, que apresenta 803 km² de área e o comprimento do curso principal de 85 km, se enquadra nos requisitos da equação acima.

$$tc = 11,46 \frac{L^{0,76}}{S^{0,19}}$$

tc é o tempo de concentração (min)

L é o comprimento de água do curso principal do rio (km)

S é declividade do curso principal (adimensional)

O método dos blocos alternados foi utilizado na obtenção do hietograma de projeto. Foi realizado em duas etapas:

1º- Calculou-se, através das intensidades dadas pela curva IDF, o hietograma completamente adiantado, isto é, aquele onde o pico está no primeiro intervalo de tempo. Cada duração cumulativa, a partir desse pico, tem também sua altura de chuva calculada através das intensidades da IDF, até o limite da duração crítica do evento (que é normalmente o tempo de concentração da área contribuinte). Assim, é um método derivado das relações IDF e que atribui a cada intensidade do hietograma um mesmo período de retorno;

2º- Na segunda etapa o hietograma foi reordenado, utilizando o método dos blocos alternados de forma que o pico fica centralizado. Cada bloco de chuva do hietograma adiantado é sucessiva e alternadamente colocado no entorno do bloco do pico, à direita e à esquerda. Conforme Akan, 1993, como regra prática, o maior valor da precipitação deve estar entre 1/3 a 1/2 da duração da chuva.

O período de duração da chuva (Δt) adotado foi de 5hs ou 300 min, sendo menor que o tempo de concentração da bacia (1941 min) do rio Jundiá. A partir disso, foram obtidos os hietogramas para os tempo de retorno de 2, 5, 10, 15 e 20 anos.

3.3 – Obtenção da Vazão de Projeto

Para obter a vazão de projeto, inicialmente foi calculada a precipitação efetiva utilizando-se o método do Soil Conservation Service – SCS (Equação 03), a partir do hietograma de projeto para os diferentes tempos de retorno.

O método SCS estima a chuva efetiva ou o volume de escoamento superficial resultante de um evento de chuva. Está baseado na equação de balanço hídrico aplicada na superfície do solo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

A parcela da precipitação que gera escoamento superficial foi obtido pela expressão:

$$H = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}$$

Em que:

H é precipitação excedente acumulada, em mm;

P é a precipitação pluvial acumulada, em mm;

S é o potencial máximo de infiltração após o início do escoamento superficial, em mm;

I_a é a abstração inicial (mm), ou a quantidade de água antes do escoamento, como infiltração, ou chuvas de interceptação pela vegetação, e é geralmente aceito que $I_a = 0,2 S$; Sendo S :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 04}$$

Em que CN é o parâmetro curva-número que caracteriza o uso e ocupação do solo esse valor é entre 0 e 100, sendo que 0 é um solo com capacidade infinita e 100 um solo completamente impermeável; e S é a máxima infiltração acumulada potencial (mm). A equação do SCS somente se aplica quando $P > 0,2.S$.

O valor de CN é influenciado pelo tipo de solo, as condições de cobertura e de umidade antecedente da bacia de drenagem. O valor adotado para a bacia do rio Jundiáí foi de $CN = 36$, devido às suas características de uso de solo de campo permanente, cobertura de superfícies normais densas e de elevada transpiração (TUCCI, 1997).

A precipitação efetiva obtida pelo método do SCS considera que a precipitação ocorreu de forma uniforme em toda a bacia, o que é uma hipótese válida para pequenas bacias, no entanto, a bacia do rio Jundiáí foi classificada como sendo de médio porte (área de 803 Km²), segundo a classificação de Beck (2013).

Collischonn e Dornelles (2013) afirmam que as bacias hidrográficas grandes têm menor possibilidade de serem atingidas por chuvas intensas simultaneamente em toda sua área do que bacias pequenas. Sendo assim, utilizou-se o fator de redução de área proposto por Silveira (2001) (Equação 5).

$$F_{RA} = 1 - \frac{\sqrt{A}}{27,3 * t^{0,215}} \quad \text{Equação 05}$$

F_{RA} é o fator de redução de área (adimensional);

A é área da bacia (km²);

t é o período de duração da chuva (min).

Após obtida a precipitação efetiva, obteve-se o hidrograma unitário pelo método do SCS. Segundo Tucci (1997) o hidrograma unitário é a resposta da bacia a uma precipitação de volume unitário de duração Δt . Para que a precipitação tenha um volume unitário e ocorra no intervalo de tempo Δt , a sua intensidade deve ser $1/\Delta t$.

O hidrograma unitário sintético proposto pelo Soil Conservation Service pode ser obtido pelas Equações 06 a 08: (TUCCI, 1997).

$$Q_p = \frac{2,08 \times A}{T_p} \quad \text{Equação 06}$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0,6 \times T_c \quad \text{Equação 07}$$

$$T_b = 2,67 \times T_p \quad \text{Equação 08}$$

Q_p é a vazão em m³/s para uma chuva efetiva de 1 mm;

A = área da bacia (km²);

T_p = tempo de pico (horas);

D = duração da chuva (horas);

T_c = tempo de concentração da bacia (min);

T_b = tempo de base do hidrograma (h).

Para obtenção do hidrograma de projeto com base no hidrograma unitário sintético, considerou duas hipóteses básicas: a proporcionalidade e a superposição (CANHOLI, 2014). Pelo princípio da proporcionalidade, conhecido o hidrograma correspondente a uma chuva unitária, pode-se obter o hidrograma de qualquer outra chuva com a mesma duração. O princípio da superposição diz que o hidrograma total é resultante da soma dos hidrogramas unitários de cada bloco de chuva excedente.

3.4 – Nível de cheia através do Método de Manning

Obtido o hidrograma de projeto para os diferentes tempos de retorno, calculou-se o nível de água na cidade de Macaíba pela fórmula de Manning.

A fórmula de Manning (Equação 09) é a fórmula para canais mais utilizada no mundo. Dentre outros motivos, a estimativa da rugosidade por Manning é mais fácil do que a fórmula de Darcy-Weisbach. Existem muitas medições e aferições do uso do coeficiente de Manning de maneira que uma pessoa experiente pode com relativa facilidade escolher o valor adequado para cada caso (TOMAZ, 2013).

A fórmula de Manning para qualquer seção de canal ou tubulação é a seguinte:

$$V = \frac{1}{n} R h^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Equação 09}$$

Sendo:

V = Velocidade média na seção (m/s);

n = Coeficiente de Manning tem as dimensões: s.m^{-1/3};

R_h = Raio hidráulico (m).

R_h = Área molhada/Perímetro molhado;

S = Declividade (m/m).

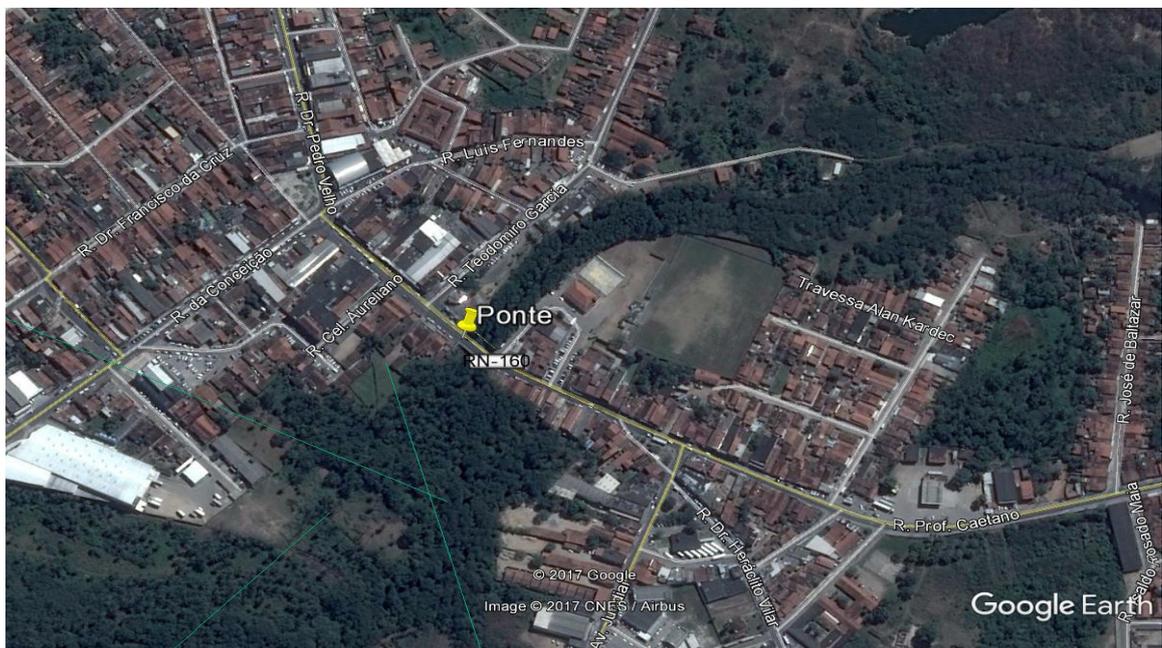
Considerando que $Q = V/A$, obteve-se os níveis de água por iteração, com o auxílio do software excel 2013, com as informações da seção transversal selecionada.

Os valores de n de Manning na seção foram obtidos na bibliografia para canais naturais. O coeficiente de Manning utilizado foi de $n = 0,035$. De acordo com Carvalho, [2012?] este valor de coeficiente de Manning caracteriza canais com leito pedregoso e talude vegetado de condições regulares.

O ponto escolhido para estimar a altura da cheia na cidade de Macaíba corresponde a seção do rio Jundiá a jusante da ponte localizada no centro da cidade de Macaíba (Figura 2), pelo motivo dessa região ter sido registrado os maiores eventos de inundações. Além de ser uma área natural de inundação do rio, também tem sido alvo de intensa urbanização: sendo o trecho do rio com maior uso e ocupação do solo próximo às margens do rio.

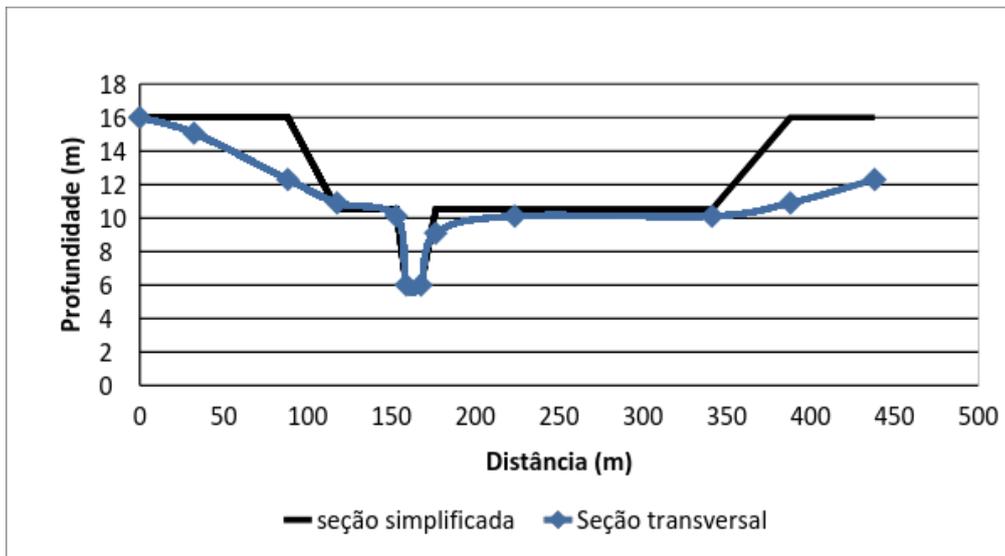
Diante da falta de informação detalhada sobre a seção de interesse, optou-se por utilizar o perfil da seção obtidas das imagens de satélite do sistema Google Earth. Tendo-se simplificado o mesmo para facilitar a obtenção dos níveis de cheia (Figura 3)

Figura 2 – Ponto escolhido para a secção do rio. Local: centro de Macaíba/RN (Ponte).



Fonte: Google Earth

Figura 3 - Perfil do rio Jundiá localização: ponte do centro de Macaíba/RN.



Fonte: Adaptado de SEMARH,(2013).

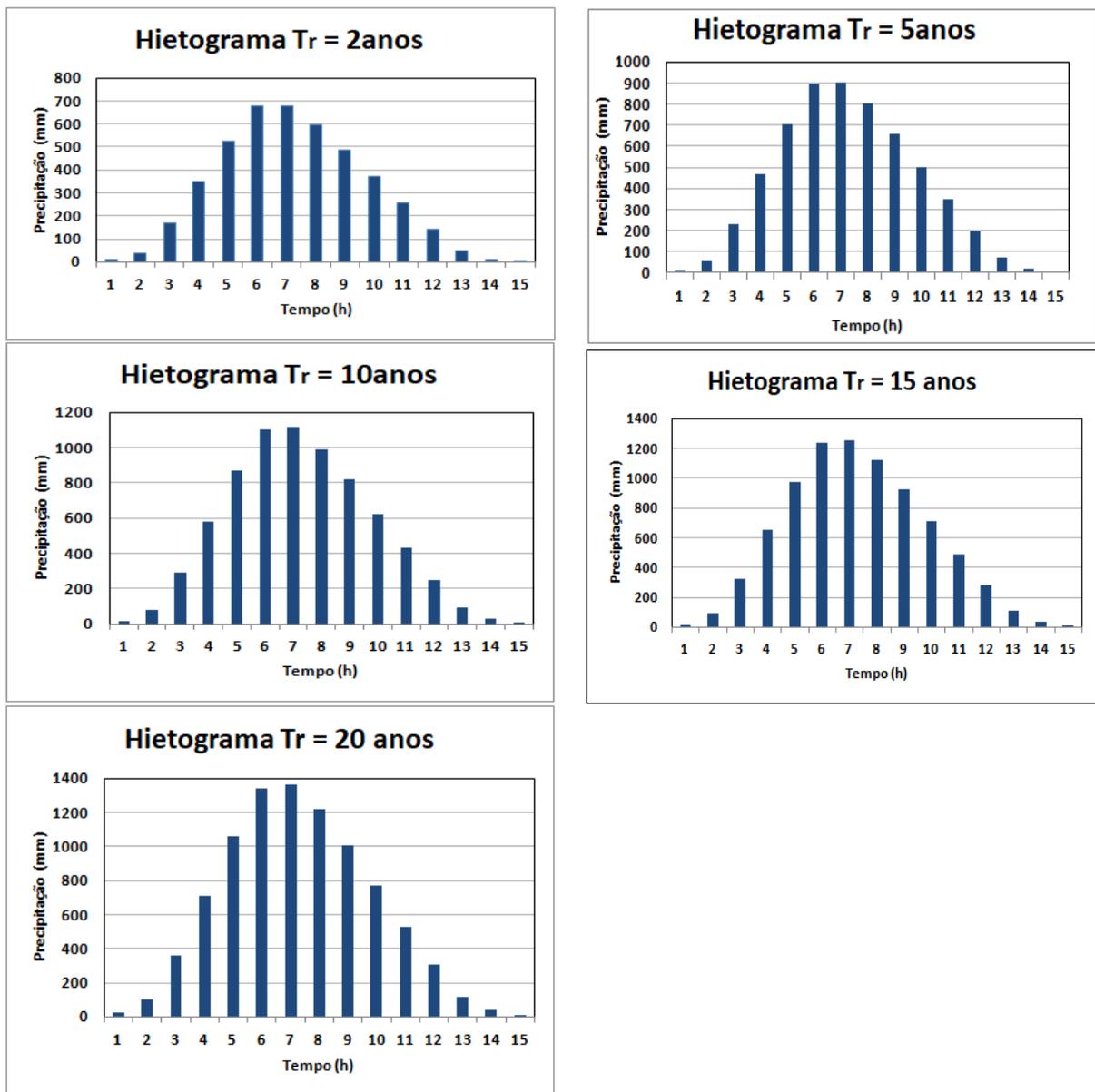
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Hietograma de Projeto

Considerando um Δt de 5h, para um tempo de concentração da bacia do rio Jundiá de 1941 min, obteve-se os hietogramas de projeto mostrados na Figura 3. É importante lembrar que utilizou-se um fator de redução de 0,88 em função do tamanho da bacia.

Observa-se que ocorre um aumento progressivo das precipitações, a medida que se aumenta o tempo de retorno, de forma que a precipitação de projeto para um TR de 20 anos é aproximadamente o dobro da precipitação para um TR de 2 anos.

Figura 4 - Hietogramas de projetos obtidos para a cidade Macaíba – RN para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15 e 20 anos.

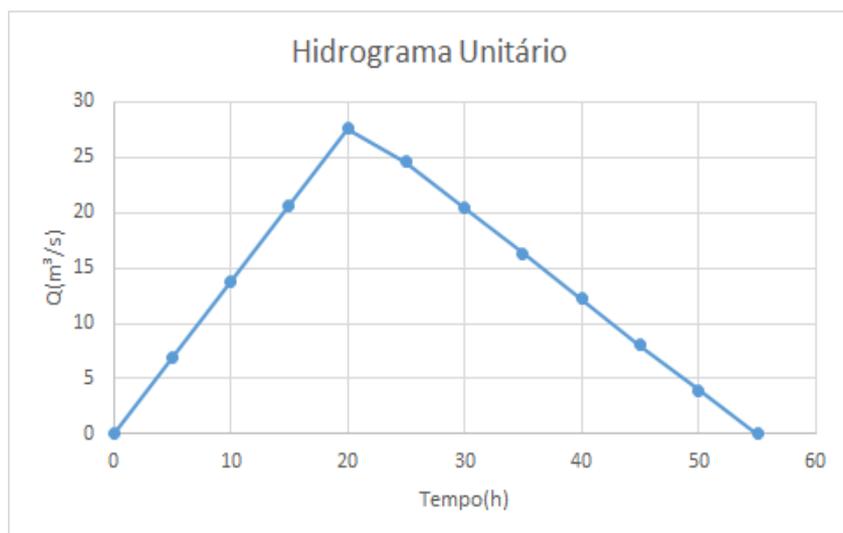


Fonte: Elaboração própria

4.2. Vazão de Projeto

O hidrograma unitário obtido pelo método do SCS (Figura 4) apresenta uma vazão máxima de 28,28 m³/s com o tempo de pico 20,5 horas e um tempo de base de 54,73 horas.

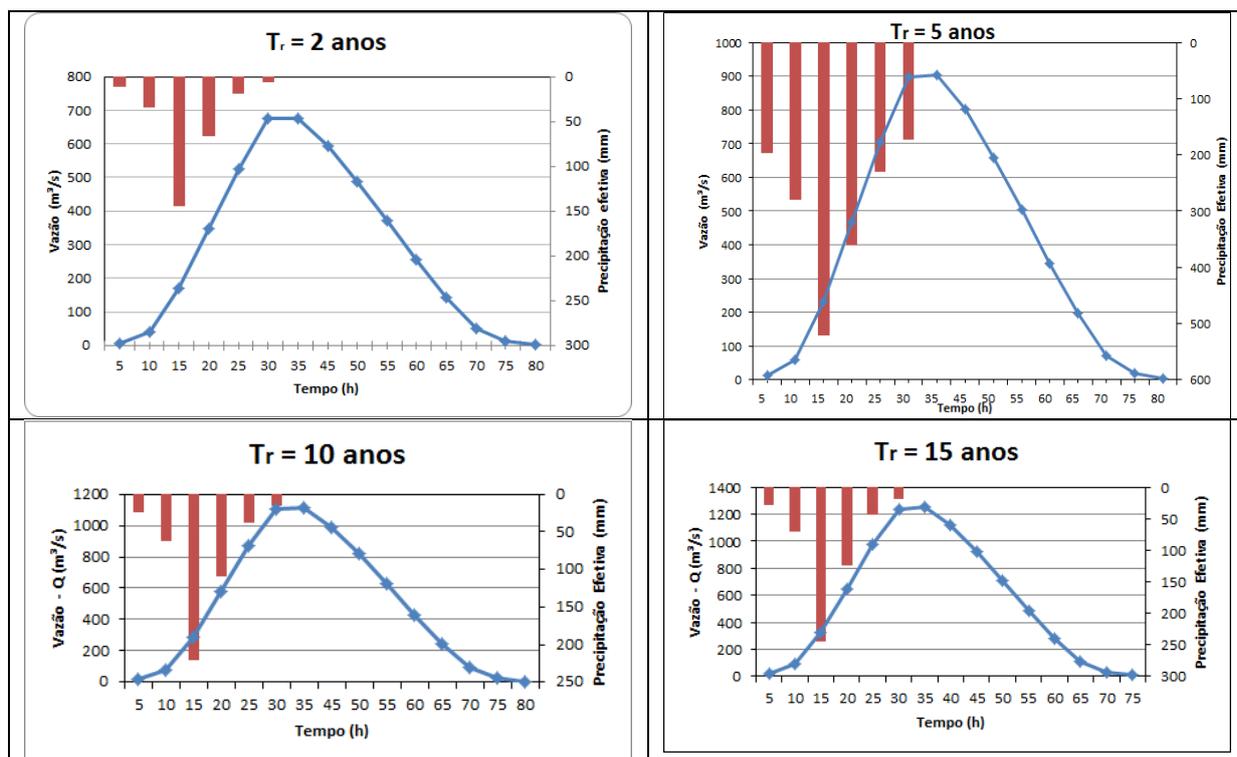
Figura 5 - Hidrograma Unitário obtido para a cidade de Macaíba RN

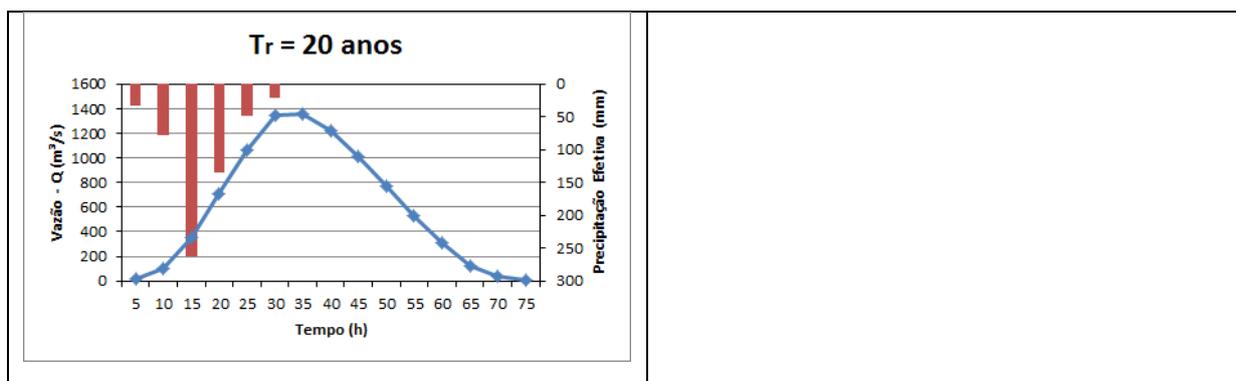


Fonte: Elaboração própria

As vazões de projeto para diferentes tempos de retorno (Figura 6) mostram diferentes vazões de pico. O tempo de retorno de 2 anos registra a uma precipitação máxima de 144,47mm. e uma vazão de projeto de 675,97m³/s. O tempo de retorno de 5 anos traz uma a precipitação máxima de 521,41mm, vazão de projeto de 904,5m³/s. O tempo de retorno de 10 anos traz uma a precipitação máxima de 210,55mm, vazão de projeto de 1114,26m³/s. O tempo de retorno de 15 anos traz uma a precipitação máxima de 244,25mm, vazão de projeto de 1253,5m³/s. O tempo de retorno de 20 anos traz uma a precipitação máxima de 262,2mm, vazão de projeto de 1360,4m³/s.

Figura 6 - Precipitação (mm) x Vazão Efetiva (m³/s) na cidade de Macaíba RN.





Fonte: Elaboração própria

De acordo com os gráficos acima obtidos, podemos perceber que a precipitação efetiva máxima de 521,44 mm ocorre para o tempo de recorrência de 5 anos. Já a precipitação efetiva mínima registrada de 144,47 mm ocorre para o Tr de 2 anos.

A vazão de projeto máxima de 1360,4 m³/s correspondente ao maior Tr de 20 anos, seria a vazão de pico na bacia.

4.3 Níveis de Cheia em Macaíba

Os níveis de cheia, calculado pela equação de Manning para as vazões de pico nos diferentes tempos de recorrência na seção de estudo, são mostrados na Tabela 1.

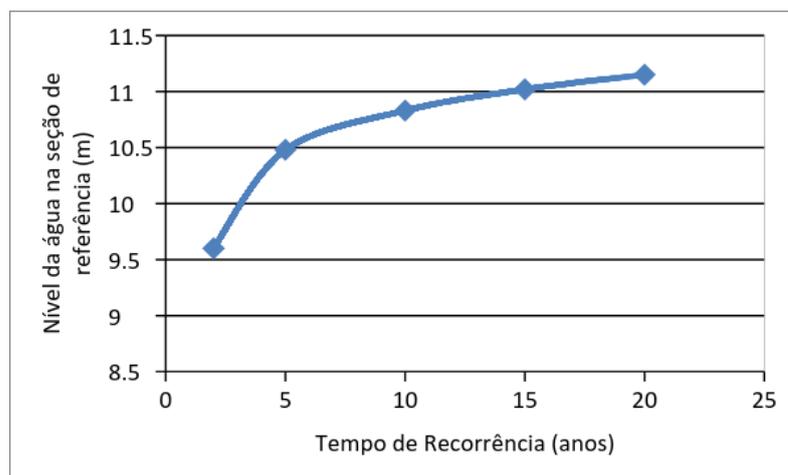
Tabela 1 – Tr (anos), Vazão - Q(m³/s), e Nível de Cheia(m)

Tr (anos)	Q máx(m ³ /s)	Nível (m)	Variação percentual
2	675.97	9.6	---
5	904.499	10.48	9.2
10	1114.26	10.83	3.3
15	1253.50	11.02	1.8
20	1360.40	11.15	1.2

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que o maior nível de água na seção de referência corresponde ao maior tempo de recorrência e, conseqüentemente, a maior vazão, seguindo a tendência de aumentar o nível conforme o Tr e a vazão aumenta. No entanto, esta tendência não é linear nesta seção, ou seja, a medida que o Tr aumenta, a variação percentual do aumento no nível de água na seção reduz (Tabela 1 e Figura 7).

Figura 7 - Tempo de recorrência (anos) x Nível de água na seção de referência (m)



Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que conforme aumenta o Tr, o percentual de aumento nas cotas vai diminuindo. Isso é mais acentuado entre os Tr 2 e 5 anos porque para a vazão de cheia com 2 anos de tempo de recorrência não ocorre o transbordamento da calha do rio, fazendo com que a água ocupe somente a parte central da seção, já para a vazão com 5 anos de tempo de recorrência até a vazão para 20 anos de tempo de recorrência ocorre o extravasamento da calha do rio, de forma que a água passa a ocupar parte da seção maior (Tabela 1).

Esta tendência de extravasamento, deixa claro a suscetibilidade da cidade de Macaíba a inundações, principalmente na região mais central e urbanizada da cidade.

5. CONCLUSÕES

As vazões de projetos seguiram um comportamento esperado, pois cresceu à medida que se aumentava o Tr.

Com o nível de cheia até 2 anos não ocorre inundações, porém para vazões a partir do Tr 5 anos ocorre um extravasamento da calha do rio, ou seja, vazões correspondentes ao Tr maior ou igual a 5 anos ocorrerá inundações nessa região de Macaíba. Assim, os resultados deste trabalho poderão ser utilizados no zoneamento das áreas que apresentam maiores riscos de inundação o que permitirá ao poder público ordenar e controlar o uso e ocupação do solo nestas áreas. No entanto, para que os resultados possam ser utilizados na prática, torna-se necessário avaliar o impacto da construção da barragem de Tabatinga na redução da cheia em Macaíba.

Outro efeito que deve ser avaliado é o aumento crescente da impermeabilização na Bacia do rio Jundiáí, através da urbanização, retirada de vegetação e matas ciliares para implantação de indústrias, comércios e residências. A ocupação do solo em áreas naturais de inundação traz consigo o aumento do escoamento superficial e das vazões de pico.

6. REFERÊNCIAS

ACÁCIO, S. C. **Gestão de drenagem urbana no controle de Enchentes: Captação, Reservação e Armazenamento de águas Pluviais**. Belo Horizonte, MG, 2015. Em: <<http://br.monografias.com/trabalhos-pdf/gestao-drenagem-urbana-controle-enchentes/gestao-drenagem-urbana-controle-enchentes.pdf>> Acesso em: 21 de setembro de 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2011**. Brasília, ANA: 2012.

ARAÚJO, B. A. M. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas das Bacias Urbanas**. Maceió/Alagoas. 2011. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

AKAN, A. O. **Urban Stormwater Hydrology - A Guide to Engineering Calculations**, Technomic Publishing Co. Lancaster, Pennsylvania, 1993.

BECK, H.E.; BRUIJNZEEL, L.A.; van DIJK, A.I.J.M.; McVICAR, T.R.; SCATENA, F.N.; SCHELLEKENS, J. **The impact of forest regeneration on stream flow in 12 mesoscale humid tropical catchments**. Hydrology and Earth System Sciences, v.17, p.2613-2635, 2013.> BH peq., med., grande. Em: <<http://www.webartigos.com/artigos/bacia-hidrografica-pequena-media-ou-grande/132899/>> Acesso em: 20 de abril de 2016.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controles de Enchentes**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARVALHO, J. A. **Coefficiente de rugosidade de Manning**. Notas de Aula. Lavras/MG. [2012?] Em:<http://deg.ufla.br/professores/jacinto_carvalho/eng191/tabelas.pdf> Acesso em: 08 de setembro de 17.

CARVALHO, J. A. **Obras Hidráulicas**. Lavras, MG: UFLA, 2000. 200 p.

CARVALHO, J.A. **Captação de águas**. 145p. Em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/12526/1/TEXTO%20ACAD%20C3%8AMICO_Capta%20C3%A7%20C3%A3o%20e%20eleva%20C3%A7%20C3%A3o%20e%20condu%20C3%A7%20C3%A3o%20de%20C3%A1gua.pdf> Acesso em: 28 de setembro de 2017.[20--?] 262 p.

CEPED/UFSC - CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISA EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL/ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas de Desastres Naturais no Brasil**. Florianópolis. 2013

COLLISCHONN W.; DORNELLES F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 1ª Ed. Porto Alegre/RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 350p: II (Coleção ABRH; 12).

CPRM- SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE MACAÍBA/RN**. Data: Setembro de 2005. Em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/Hidrologia/mapas_publicacoes/Atlas_Digital_RHS/rgnorte/relatorios/MACA079.PDF> Acesso em: 03 de abril de 2016.

DANTAS, C. E. O.; CIRILO, J. A. C.; NETO, A. R.; SILVA, E. R. **Caracterização da formação de cheias na Bacia do Rio Una em Pernambuco: Análise estatística regional.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Recife/PE. Volume 19 n.4 –Out/Dez 2014, p.239 - 248.

FLEMMING, G. How can we learn to live with rivers? **The Findings of the Institution of Civil Engineers Presidential Commission on Flood-risk management.** Phil. Trans. R. Soc. Lond., London, v. 360, n. 1796, p. 1.527- 1.530, 2002.

FRINKLER, R. **Instrumentos de Planejamento e Manejo de Bacia Hidrográfica.** Planejamento, manejo e gestão de bacias. ANA. DF. Em:<http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_2.pdf> Acesso em: 18 de abril de 2016.

GARCIA, J. F. C. **Análise da precipitação no Semi-Árido Potiguar.** Natal RN, 2011. Em:<http://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15980/1/JoemaFCG_DISSERT.pdf> Acesso em: 22 de maio de 2016.

GUEDES J.A. e AMARAL V.S. **Percepção Ambiental das Comunidades Residentes no Entorno do Reservatório Tabatinga, Macaíba/RN.** Em: <<file:///C:/Users/user/Documents/5089-18540-1-PB.pdf>> Acesso em: 02 de abril de 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL - MANUAL DE DRENAGEM. **Plano Diretor de Drenagem de Natal/RN (2009).** p.256. Em: <<http://www.lrengenhariaeconsultoria.com.br/planodiretor/03-Proposicoes/3.3.%20Manual%20de%20Drenagem/MANUAL%20DE%20DRENAGEM%20-%20VERS%C3%83O%20FINAL-%20OUTUBRO%202009.pdf>> Acesso em: 15 de maio de 2016. L. R. Engenharia e consultoria

MEDEIROS. P. H. A.; JOCA, E. L. L.; ARAÚJO, F. F. V. A.; FARIAS, J. A. M. F.; MOLINAS, P. A. **Estudos de cheias na área urbana de cidade de Macaíba – RN: simulação hidráulica em regime não permanente utilizando HEC – RAS.**(Acquatol) Fortaleza, CE.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA/ CENTRO DE ESTUDOS E GESTÃO ESTRATÉGICA – MCT/CGE. **Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.** Brasília, 2002. Em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/198/192> Acesso em: 22 de setembro de 2017.

MONTE, B. E. O.; COSTA, D.D.; CHAVES, D.D.C.; MAHELVSON, B. C.; MAGALHÃES, L.O.; UVO, C. B. **Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Versão On-line ISSN 2318-0331. RBRH vol. 21 no.1 Porto Alegre jan./mar. 2016 p. 152 - 167.

PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2001. p.625.

PENA, Rodolfo F. A. **Enchentes: O problema das enchentes e das inundações no espaço urbano muito se relaciona com o crescimento desordenado das cidades.** 2014. Em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>> Acesso em: 18 de maio de 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÍBA. **Plano Diretor Participativo do Município de Macaíba/RN** (2008). 66 p. Em: <<http://www.prefeiturademacaiba.com.br/2017/assets/site/arquivos/semurb-online/plano-diretor-macaiba.pdf>> Acesso em: 30 de setembro de 2017.

SEMARH - SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte – PERH-RN. RAA1 - Atualização do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas no Estado.** Águas superficiais. Tomo II. Julho de 2013.

SERHID – Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **Elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica-Econômica, Projeto Executivo de Impacto Ambiental das Obras de Controle de Enchentes e Drenagem da Cidade de Macaíba.** Nata, RN, (2002).

SERHID - Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **Gerenciamento, supervisão e consultoria técnica das obras de construção da barragem de Tabatinga, no município de Macaíba: Volume I – Estudos básicos complementares: Tomo 2 – Estudos Hidrológicos.** KL Engenharia. Fortaleza, 2007.

SERHID – Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **Revisão do Projeto Executivo das Obras de Controle de Enchentes e Drenagem na cidade de Macaíba.** Natal, RN. (2004). Natal, RN.

SINDCOMÉRCIO E CDL DE MACAÍBA (2003). **Macaíba Sem Enchente, Mais Progresso.** Macaíba, RN. (2003).

SILVEIRA, A. L. L. **Abatimento espacial da chuva em Porto Alegre.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 6. No 2. pp. 5 - 13. 2001.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais .** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 10. No 1 Jan/Mar 2005. 05 - 24.

TOMAZ, Plinio. **Tempo de Concentração.** Curso de Manejo de Águas Pluviais. 39 páginas .
Data: 19/12/13.
Em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf. > Acesso em: 05 de abril de 2016.

TOMAZ, Plinio. **Hietograma pelo método dos blocos alternados.** 4 páginas . Data: 12 de maio de 2010.
Em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vaza_o/capitulo42.pdf> Acesso em: 09 de abril de 2016.

TOMAZ, Plinio. **Fórmula de Manning e canais**. 61 páginas. Data: 20 de maio de 2011. Em:<http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo_50_formula_de_manning_galerias_e_canais.pdf>. Acesso em: 05 de março de 2016.

TRANCOSO, R. F. **Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá – visando a implantação de bacia experimental e atenuação de cheias pela barragem de Tabatinga**. (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

TUCCI C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**, 2ª Edição, Porto Alegre/RS, V.4. Editora da Universidade. ABRH, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídrico; v4).

TUCCI C. E. M. **Curso de Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre/RS. 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – CEPED. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**. 1991-2012. 2ª Ed. Florianópolis. 2013. Volume Rio Grande do Norte.

WIKIPÉDIA. 2006. **Localização do município de Macaíba - Rio grande do Norte**. Em:<https://pt.wikipedia.org/wiki/Maca%C3%ADba#/media/File:RioGrandedoNorte_Municip_Macaiba.svg> Acesso em: 04 de dezembro de 2017.