

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO LESTE DE MINAS GERAIS - UnilesteMG
Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial

VIVIANE MACEDO REIS ARAÚJO

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO DO VALE DO AÇO –
MG: MUNICÍPIOS DE CORONEL FABRICIANO E IPATINGA.

Coronel Fabriciano - MG

2011

VIVIANE MACEDO REIS ARAÚJO

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO DO VALE DO AÇO –
MG: MUNICÍPIOS DE CORONEL FABRICIANO E IPATINGA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadora: Gabriela von Rückert

Coronel Fabriciano - MG

2011

Dedico este trabalho principalmente ao meu filho Vitor Luis Reis Araújo e à todos os cidadãos da Região Metropolitana do Vale do Aço, que acreditam na melhoria de vida para o presente e futuras gerações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Fé Nele não conseguiríamos chegar até aqui.

Agradeço imensamente ao meu filho Vitor Luis Reis Araújo, que mesmo pequeno, teve muita compreensão quando estive ausente, ao meu marido André Luiz de Araújo Vicente pelo socorro nos momentos em que precisava me concentrar.

Agradeço a minha mãe Maria Aparecida Cesário de Macedo Reis, pelo apoio psicológico nos momentos de inquietação e crise, ao meu pai Luiz Carlos Otoni dos Reis, pela instalação dos suportes para os equipamentos de amostragem e pela confiança e carinho incondicional.

Agradeço ao meu irmão Luiz Eduardo Macedo Reis que mesmo estando longe me direcionava palavras de conforto e determinação.

Agradeço a Érica Aparecida dos Santos Adriano por ser minha fiel secretária e sempre demonstrar carinho com minha família todos os dias. À minha sogra Dona Maria de Araújo e minha cunhada Patrícia de Araújo Vicente.

Agradeço a minha professora, amiga e orientadora Gabriela von Rückert Heleno pela paciência, dedicação, garra e sempre disposição ao me orientar, à professora Maria Adelaide Vasconcelos pela sua demonstração de experiência na vida acadêmica.

Agradeço a todos os amigos, colaboradores do Departamento de Meio Ambiente e Qualidade – DEMAQ – Celulose Nipo Brasileira - CENIBRA S.A., em especial o coordenador de monitoramento ambiental Leandro Coelho Dalvi e o amigo supervisor Humberto Lopes dos Santos, que depositaram total confiança na execução deste projeto, colaborando imensamente com o mesmo, através do empréstimo dos equipamentos de amostragem e análises. Agradeço aos meus amigos do Instituto Interagir Projetos e Pesquisas pelo apoio e pelos momentos de discussão sobre a temática ambiental nos seus diversos segmentos.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE MG por fornecer recurso financeiro para execução do projeto.

À Sandra Oliveira, pela força e empenho em colaborar.

Agradeço ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, na pessoa da pesquisadora Maria Ângela de Barros Correia Menezes que não mediu esforços em contribuir com o projeto.

Agradeço a todos os meus familiares (tios, tias, primos e primas) e amigos, que entenderam quando não aparecia para visitá-los e mesmo assim torceram por mim sempre.

Agradeço em especial á minhas amigas Adriana Rocha de Souza Drumond, Josiany Gabriela de Brito, Marisa Alves Gandra que sempre estavam dispostas a me ajudar quando necessário e sempre tinham palavras reconfortantes quando algo de anormal acontecia. Á todos os meus colegas de mestrado: Kívia, Nielson, José Márcio, Maressa, Renata, Raquel, Marcus, Eduardo, Anderson, Sabrina e Felipe que compartilharam comigo as disciplinas brilhantes e discursivas, além do dia a dia de estudos no decorrer do mestrado.

Agradeço à todos os funcionários do UnilesteMG, principalmente aos técnicos em manutenção elétrica Marcelo Duarte Ferreira, Anario Alves Freitas, Perpétuo Amilar Costa, a encarregada Leila Martins Lopes e a todos os vigilantes, em especial o Sr José Wilson e o Sr José Pedro dos Santos, pois sem eles não conseguiríamos realizar as amostragens.

*“Nenhuma abundância de recursos naturais
resiste a uma exploração sem retorno”*

(Paulo Nogueira)

RESUMO

Os municípios de Ipatinga (IPA) e Coronel Fabriciano (FAB) estão inseridos na Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA). Esta região é um dos maiores pólos industriais de Minas Gerais, onde estão localizadas micro e pequenas empresas, bem como duas indústrias siderúrgicas e uma indústria de extração de celulose. Neste estudo, foram obtidas as concentrações de Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis com tamanho aerodinâmico de até 10 μm (MP_{10}), utilizando amostradores manuais HI-VOL (AGV), concentração de dióxido de enxofre (SO_2) através de amostrador de pequeno volume (APV TRIGÁS), além da concentração de elementos no material particulado em IPA e FAB entre maio e novembro de 2010. PTS e MP_{10} foram avaliados por gravimetria e SO_2 pelo método espectrofotométrico de pararrosalina. A concentração de elementos no material particulado amostrado foi obtida através das técnicas de Análise por Espectrometria de Absorção Atômica (AAS), os elementos: Al, Ca, Cu, Cd, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn, Ativação Neutrônica Instrumental (AANI) As, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, La, Sb, Sc, Sr, Th, K, Zn, Zr, e Espectrofotometria de Emissão de Chama o Na. A qualidade do ar foi avaliada com base nas concentrações de PTS, MP_{10} e SO_2 de acordo com a Resolução CONAMA 03/1990 e elementos químicos pelos padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS). Também foram obtidos valores de PTS, MP_{10} e SO_2 da Rede Automática de Monitoramento Atmosférico e Meteorologia (RAMQAM) de IPA e avaliados quanto a qualidade do ar. O número de atendimentos relacionados a doenças do trato respiratório foi avaliado na rede hospitalar de FAB. Observou-se que em FAB a concentração de PTS e principalmente MP_{10} se apresentou com maior variação e alcançou valores superiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA mais frequentemente se comparado ao ponto em IPA. A qualidade do ar se apresentou em geral regular para PTS, sendo que para MP_{10} e SO_2 esta foi frequentemente boa em ambos os locais amostrados. Com base nos dados da RAMQAM, a qualidade do ar foi na maior parte classificada como boa para todas as variáveis consideradas. Quanto aos atendimentos num hospital da rede hospitalar em FAB, no período avaliado, foi encontrado que o maior número de atendimentos ocorreram no mês subsequente ao período de concentrações de PTS e MP_{10} mais elevadas. Os elementos Sn, Ca, Fe, Pb, Na, K, Zn e Al nas PTS e MP_{10} em ambos os municípios foram os mais abundantes. Fe e Sn se apresentaram acima do limite estabelecido pela norma OMS, assim como Cr, Pb e As. As concentrações mais elevadas de PTS, MP_{10} e elementos foram registradas nos meses secos e frios (junho a agosto), devido aos baixos índices de precipitação úmida e ocorrência de calmaria nesse período, sendo que o contrário foi observado para o SO_2 que está estreitamente relacionado a ocorrência de chuva. De acordo com os resultados apresentados, verificou-se uma forte correlação entre a composição e concentrações de elementos e as atividades siderúrgicas e de tráfego de veículos na região.

Palavras-chave: Elementos traços. Material particulado. Qualidade do ar. SO_2 . Vale do Aço.

ABSTRACT

The Ipatinga (IPA) and Coronel Fabriciano (FAB) cities are situated in the Vale do Aço - a metropolitan area. This region is the largest industrial area in Minas Gerais state, where there are two steel mill and one pulp and paper mill, as well as others micro and small factories. This study evaluated the concentrations of the total suspended particles (TSP) and inhalable particles with aerodynamic size up to 10 μm (PM_{10}) by HI-VOL manual samplers, concentration of SO_2 by small sample volume (APV TRIGAS) and metals and trace elements in particulate matter in IPA and FAB from May to November 2010. Metals and trace elements were determined in the particulate matter samples. It was used the Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) to quantify the metals As, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, La, Sb, Sc, Sr, Th, K, Zn, Zr, the Atomic Absorption Analysis (AAS) to Al, Ca, Cu, Cd, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn, and the Flame Emission Photometry (FEP) to Na. The air quality was measured based on national and international rules (CONAMA and OMS). The number of visits related to respiratory diseases was evaluated in the hospital network of FAB. The concentrations of TSP and, mainly, PM_{10} measured in FAB exhibited a greater variation and were more frequently higher than the superior limit ($150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$) described in the Brazilian resolution CONAMA 03/1990 when compared to IPA. The air quality was usually classified as regular to TSP, but frequently it was good if based on PM_{10} and SO_2 in both sampling sites. Using the RAMQAM data, the air quality was generally classified as good for all variables evaluated. The hospital visit numbers were higher during the month after the period that the greater concentrations of PTS and PM_{10} were detected. The elements Sn, Ca, Fe, Pb, Na, K, Zn and Al in TSP and PM_{10} in both cities were the most abundant. The high concentrations of Fe and Sn were high due to the emissions from hematite transport and steel mill. Further this elements that were above the limit set by the WHO standard, as well as Cr, Pb and As. Regarding Cr, this result is relevant because it offers a risk to human health even at very low concentrations. The metals Ca, Na and K were frequently detected in FAB city. These metals are related to vehicular traffic and dust resuspension. The sample point in FAB city was located near a highway and this fact must have contributed to the high concentrations of these elements. Only the element Cr, during June and July at FAB and IPA respectively, exceeded the limit concentration established by WHO ($2.5 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$). The highest concentrations of metals, TSP and PM_{10} were recorded in dry and cold period (June 2010 to August 2010), due to the low volumes of humid precipitation and to the absence of winds; whereas a opposite situation was observed for SO_2 which is closely related to rainfall events. According to the observed results, it was found a strong correlation between metal composition and concentrations and the steel factory activities and the vehicle traffic in this region.

Key-words: Trace elemental. Particulate matter. Air quality. SO_2 . Steel Valey.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa esquemático dos municípios que constituem o colar metropolitano do Vale do Aço. Em cores os quatro municípios que compõem a RMVA e em vermelho os municípios avaliados nesta pesquisa.	16
Figura 2: Aerossóis típicos encontrados na atmosfera.	24
Figura 3: Distribuição de tamanho das partículas na atmosfera.....	25
Figura 4: Conversão do gás dióxido de enxofre em partículas de sulfato.....	26
Figura 5: Curva de penetração de partículas no sistema respiratório em função de seu tamanho.	27
Figura 6: Etapas do processo de produção simplificado do aço.....	36
Figura 7: Gráfico da Projeção de Emissões Totais de Material Particulado no Brasil por tonelada/ano para cada tipo de veículo automotor (gás natural veicular (GNV), caminhões pesados, caminhões médios, caminhões leves, ônibus rodoviários, ônibus urbanos, veículos comerciais leves (roxo), veículos de passeio (vermelho).	43
Figura 8: Sistema Respiratório e seus Locais de Deposição de Partículas em Função do Tamanho.	45
Figura 9: Carta topográfica com curvas de nível da localização da área de estudo na RMVA	55
Figura 10: Carta topográfica com curvas de nível aumentada nos pontos de amostragem dos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B), visualizando altura dos topos de morro.	56
Figura 11: Identificação das siderúrgicas, pontos de amostragens e RAMQARM envolvidos no projeto. A oeste se localiza a indústria Siderúrgica APERAM – Timóteo. A leste a Siderúrgica USIMINAS-Ipatinga.	60
Figura 12: Localização do ponto de amostragem FAB no UnilesteMG campus Universitário e a Av. Tancredo de Almeida Neves.	61
Figura 13: Localização do ponto de amostragem Ipatinga no UnilesteMG campus Bom Retiro e estação da RAMQAM dentro das instalações da Unidade II do Hospital Márcio Cunha.	61
Figura 14: Desenho esquemático das normas de instalação de amostradores para poluentes atmosféricos.....	65
Figura 15: Amostradores para monitoramento da qualidade do ar devidamente instalados no ponto de amostragem Ipatinga (A) e Coronel Fabriciano (B), com vista à distância de obstáculos dentro das instalações do UnilesteMG e dos suportes para distanciamento do chão.	66
Figura 16: Desenhos esquemáticos do amostrador de grandes volumes para PTS com teto e portas abertos (A) e direção do fluxo de ar dentro da casinhola de abrigo (B).	67
Figura 17: Desenho esquemático do amostrador de grandes volumes para MP ₁₀	69
Figura 18: Desenho esquemático do amostrador de pequenos volumes (APV – TRIGÁS).	71
Figura 19: Desenho esquemático do processo geral da Ativação Neutrônica.....	75
Figura 20: Pontos de localização da Rede Automática de Monitoramento Contínuo da Qualidade do Ar e Meteorologia nos bairros do município de Ipatinga – MG.	86
Figura 21: Container da Rede Automática de Monitoramento Contínuo da Qualidade do Ar e Meteorologia no bairro Cariru, Ipatinga – MG.	87
Figura 22: Temperaturas médias, máximas e mínimas e precipitação pluviométrica durante o período amostrado na estação RAMQAM Bom Retiro em Ipatinga-MG.....	88
Figura 23: Médias aritméticas diárias da umidade relativa do ar e temperatura no período de amostragem.....	89
Figura 24: Direção e velocidade do vento (km.h ⁻¹) nos dias de amostragem compreendidos entre os meses referentes às estações de seca.	90

Figura 25: Direção e velocidade do vento (km.h^{-1}) nos dias de amostragem compreendidos entre os meses referentes à estação de transição entre seca e chuva.	91
Figura 26: Concentrações diárias de PTS ($\mu\text{g.m}^{-3}$) nos pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B) e suas respectivas médias aritméticas mensais e desvio padrão no período de maio a novembro de 2010. As linhas Tracejadas indicam os padrões de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA n° 03/1990.	94
Figura 27: Concentrações diárias de MP ₁₀ ($\mu\text{g.m}^{-3}$) nos pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B), no período de junho a novembro de 2010, comparadas aos padrões de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA n° 03/1990 e suas respectivas médias aritméticas mensais e desvio padrão.	98
Figura 28: Concentrações diárias de SO ₂ ($\mu\text{g.m}^{-3}$) nos pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B) e suas respectivas médias aritméticas mensais e desvio padrão no período de junho a novembro de 2010. As linhas tracejadas indicam o padrão de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA n° 03/1990 para SO ₂	101
Figura 29: Relação entre PTS, MP ₁₀ e SO ₂ , em $\mu\text{g.m}^{-3}$ e os Atendimentos por Doenças Respiratórias (ADR) no município de Coronel Fabriciano nos meses de julho, agosto e setembro de 2010.	104
Figura 30: Concentrações médias relativa aos elementos (ng.m^{-3}) encontrados nas PTS em FAB e IPA.	105
Figura 31: Concentrações médias relativa aos elementos (ng.m^{-3}) encontrados nas MP ₁₀ em FAB e IPA.	105
Figura 32: Distribuição percentual das classes de qualidade do ar de acordo com o IQAr quanto a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10) e SO ₂ no município de Coronel Fabriciano durante o período amostrado de maio a novembro de 2010 pelo método HI-VOL.	121
Figura 33: Distribuição percentual das classes de qualidade do ar de acordo com o IQAr quanto a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10) e SO ₂ no município de Ipatinga durante o período amostrado de maio a novembro de 2010 pelo método HI-VOL.	122
Figura 34: Distribuição percentual das classes de qualidade do ar de acordo com o IQAr quanto a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10) e SO ₂ no município de Ipatinga durante o período amostrado de maio a novembro de 2010.pelo método RAMQAM.	122
Figura 35: Tubos de polietileno (A) utilizados para inserção das amostras no reator nuclear (B) e detector do tipo semicondutor de cristal de Germânio Hiper-puro (C).	140
Figura 36: Preparação (A, B), digestão (C) e filtração (D) dos filtros de PTS e MP10 para leitura em absorção atômica (E, F).	140
Figura 37: Curva de trabalho (A) e amostras preparadas (B) para análise de SO ₂ pelo método de pararrosanilina (PRA).	143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Padrões Nacionais da Qualidade do Ar de acordo com a Resolução CONAMA n° 03 de 1990	20
Quadro 2: Índices máximos e mínimos para classificação dos parâmetros da qualidade do ar e níveis de cautela sobre a saúde.	22
Quadro 3: Transformação de Espécies de Enxofre na Troposfera.	29
Quadro 4: Categoria dos compostos inorgânicos solúveis.	31
Quadro 5: Limites máximos de concentrações de elementos ($\mu\text{g.m}^{-3}$) e seus respectivos danos à saúde.	34
Quadro 6: Distribuição dos elementos químicos do carvão durante a coqueificação.	37
Quadro 7: Reserva Mundial e Vida útil Estimada dos Recursos Renováveis.	40
Quadro 8: Evolução Histórica da Frota de Veículos, por categoria em Minas Gerais 1999/2005.	44
Quadro 9: Quantidade de amostras e distribuição das amostragens por semana nos meses de período de amostragem.	63
Quadro 10: Limites de detecção utilizados na determinação dos elementos pelo método de Ativação Neutrônica para as amostras em estudo nesta pesquisa.	76
Quadro 11: Absorbâncias utilizadas na determinação dos elementos pelo método de Absorção Atômica e seus respectivos limites de detecção.	80
Quadro 12: Limites de detecção do método de Fotometria de Emissão de Chama para os elementos Na e K.	81
Quadro 13: Princípio utilizado para monitoramento da qualidade do ar em equipamentos automáticos.	84
Quadro 14: Inventário de empresas e prestadoras de serviço existentes no município de Coronel Fabriciano próximas ao ponto de amostragem e suas respectivas fontes de emissão.	137
Quadro 15: Inventário de empresas e prestadoras de serviço existentes no município de Ipatinga próximas ao ponto de amostragem e suas respectivas fontes de emissão.	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo estatístico das concentrações de PTS, expressas em $\mu\text{g.m}^{-3}$, para os pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (FAB) e Ipatinga (IPA).	95
Tabela 2: Resumo estatístico das concentrações de MP_{10} , expressas em $\mu\text{g.m}^{-3}$, para os municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga.	99
Tabela 3: Resumo estatístico das concentrações de SO_2 , expressas em $\mu\text{g.m}^{-3}$, para os municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga.	100
Tabela 4: Resumo estatístico das concentrações em ng.m^{-3} dos elementos associados ao PTS no município de Coronel Fabriciano e Ipatinga. Média aritmética, desvio padrão (DP), valores mínimos e máximos.	107
Tabela 5: Resumo estatístico das concentrações dos elementos associados ao MP_{10} no município de Coronel Fabriciano e Ipatinga. Médias aritméticas, desvio padrão, valores mínimos e máximos, expressos em ng.m^{-3}	108
Tabela 6: Coeficiente de Correlação de Pearson entre as concentrações dos elementos obtidos nas PTS no município de Coronel Fabriciano	109
Tabela 7: Coeficiente de Correlação de Pearson entre os níveis de concentrações de elementos obtidos nos PTS no município de Ipatinga.	110
Tabela 8: Coeficiente de Correlação entre os níveis de concentrações de elementos obtidos nos MP_{10} no município de Coronel Fabriciano.	112
Tabela 9: Coeficiente de Correlação entre os níveis de concentrações de elementos obtidos nos MP_{10} no município de Ipatinga.	113
Tabela 10: atendimentos de doenças no trato respiratório no Hospital Siderúrgica no município de Coronel Fabriciano - MG.	136
Tabela 11: Quadro comparativo das concentrações de elementos obtidas nos filtros de fibra de vidro e quartzo, sem amostras, pelo fabricante, contidas no manual dos equipamentos (ENERGÉTICA, 2005) entre as concentrações obtidas pelas análises realizadas nesta pesquisa pelo método de absorção atômica e ativação neutrônica.	139
Tabela 12: Curva de trabalho para análise de dióxido de enxofre (SO_2) por espectrometria colorimétrica, através do método pararrosanilina.	142
Tabela 13: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em FAB, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.	144
Tabela 14: Concentração de elementos nos MP_{10} (ng.m^{-3}) em FAB, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.	145
Tabela 15: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em IPA, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.	146
Tabela 16: Concentração de elementos nos MP_{10} (ng.m^{-3}) em IPA, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.	147
Tabela 17: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em FAB, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.	148
Tabela 18: Concentração de elementos nos MP_{10} (ng.m^{-3}) em FAB, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.	149
Tabela 19: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em IPA, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.	150
Tabela 20: Concentração de elementos nos MP_{10} (ng.m^{-3}) em IPA, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.	151
Tabela 21: Concentração de MP_{10} , PTS e SO_2 em $\mu\text{g.m}^{-3}$ obtidos por Hi-Vol e sua classificação para qualidade do ar segundo CONAMA no município de Coronel Fabriciano, no período de amostragem.	152

Tabela 22: Concentração de MP ₁₀ , PTS e SO ₂ em µg.m ⁻³ obtidos por Hi-Vol e sua classificação para a qualidade do ar segundo CONAMA no município de Ipatinga, no período de amostragem.	153
Tabela 23: Concentração de MP ₁₀ , PTS e SO ₂ em µg.m ⁻³ de hora em hora obtidos por RAMQAM e sua classificação para qualidade do ar segundo CONAMA no município de Ipatinga, no período e horário de amostragem a esta pesquisa.	154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RMVA – Região Metropolitana do Vale do Aço.
APERAM – Grupo Siderúrgico ARCELOR MITTAL
USIMINAS – Usina Intendente Câmara
CENIBRA – Celulose Nipo-Brasileira S.A.
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
MP – Material Particulado
SO₂ – Dióxido de Enxofre
CO – Monóxido de Carbono
O₃ – Ozônio
HC – Hidrocarbonetos
NO_x – Óxido de Nitrogênio
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
PRONAR – Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar
IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IQAR – Índice de Qualidade da Água
PTS – Partículas Totais em Suspensão
COVs – Compostos Orgânicos Voláteis
FMC – Fumaça
ERT – Enxofre Reduzido Total
USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
IPM – Material Particulado Inalável
MP₁₀ – Material Particulado Inalável menor que 10 µm
TPM – Partículas Torácicas
RPM – Partículas Respiráveis
PM_{2,5} – Partículas menores que 2,5 µm
H₂O₂ – Peróxido de Hidrogênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 PROBLEMATIZAÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 Poluição Atmosférica	18
2.1.2 Aerossol Atmosférico	23
2.1.3 Dióxido de Enxofre	28
2.1.4 Elementos Químicos na Atmosfera	30
2.1.5 Fontes Antrópicas de Emissão de Material Particulado	35
2.1.6 Efeitos do Material Particulado sobre a Sociedade e o Meio Ambiente	44
3 OBJETIVOS	49
4 JUSTIFICATIVA	50
5 MATERIAIS E MÉTODOS	52
5.1 Área de Estudo	52
5.1.1 Aspectos Geográficos e Geológicos	53
5.1.2 Fontes Potencialmente Poluidoras	57
5.2 Pontos de Amostragem	59
5.3 Metodologia de Amostragem e Análises	62
5.3.1 Amostradores do Material Particulado (PTS e MP₁₀) e SO₂	64
5.3.1.1 Instalação dos Amostradores aos pontos de Amostragem	64
5.3.2 Determinação da Concentração das Partículas Totais em Suspensão (PTS)	66
5.3.3 Determinação da Concentração das Partículas Inaláveis (MP₁₀)	68
5.3.4 Determinação das concentrações de SO₂	71
5.3.5 Determinação das concentrações de elementos	73
5.4 Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM)	84
5.4.1 Determinação de Partículas Totais em Suspensão e Partículas Inaláveis na RAMQAM de Ipatinga	85
5.4.2 Determinação de Dióxido de Enxofre na Rede	87
5.5 Meteorologia e Direção do Vento	88
5.6 Análises Estatísticas	92
6 RESULTADOS	93
6.1 Partículas Totais em Suspensão	93

6.2 Partículas Inaláveis em Suspensão – MP₁₀	97
6.3 Dióxido de Enxofre – SO₂	100
6.4 Doenças no Trato Respiratório no Município de Coronel Fabriciano	103
6.5 Concentrações de Elementos	104
6.5.1 Elementos nas PTS	118
6.5.2 Elementos no MP₁₀	119
6.6 Classificação da Qualidade do Ar	120
7 CONCLUSÃO	124
8 RECOMENDAÇÕES	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
APÊNDICE 01 – Dados de atendimento por doenças no trato respiratório em coronel fabriciano e possíveis fontes de emissão de poluentes atmosféricos em Coronel Fabriciano e Ipatinga	136
APÊNDICE 02 - Quantificação e comparação da concentração de elementos químicos nos filtros utilizados para amostragem, ilustração dos métodos utilizados como técnicas de análises para obtenção dos elementos, descrição da metodologia de obtenção do gás SO₂ e concentração de elementos nos filtros amostrados.	139
APÊNDICE 03 – Classificação da qualidade do ar pelos métodos HI-VOL (FAB e IPA) e RAMQAM (IPA).	152

1 INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) é um dos maiores pólos industriais de Minas Gerais, onde estão localizadas duas indústrias siderúrgicas (Usiminas e APERAM) e uma indústria de extração de celulose (Cenibra), além de diversas micro e pequenas empresas.

Os municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga, juntamente com Timóteo e Santana do Paraíso, constituem a RMVA (BRASIL, 1998). Trata-se de uma aglomeração urbana com aproximadamente 468.378 habitantes. Somadas as populações dos outros 11 municípios, que formam o colar metropolitano, a região atinge mais de 600 mil habitantes (IBGE, 2010) (FIGURA 1).



Figura 1: Mapa esquemático dos municípios que constituem o colar metropolitano do Vale do Aço. Em cores os quatro municípios que compõem a RMVA e em vermelho os municípios avaliados nesta pesquisa.

Fonte: IBGE, 2011

Ipatinga é hoje o município industrial mais próspero do Leste do estado de Minas Gerais (PNUD, 2000). A economia de Ipatinga baseia-se principalmente na siderurgia, representada pela empresa USIMINAS – Usina Intendente Câmara, que se instalou na região em meados dos anos cinquenta no século XX. Logo após, iniciou-se o zoneamento urbano da

cidade em bairros de acordo com a hierarquia da empresa. Este município, atualmente, passa por um processo de diversificação econômica, com a implantação de um distrito industrial que vem estimulando o empreendedorismo e a abertura de novas e diferentes plantas industriais.

Já a economia de Coronel Fabriciano está ligada, principalmente, ao comércio. Por se localizar entre os municípios de Timóteo e Ipatinga, onde existem as principais indústrias siderúrgicas de Minas Gerais, Coronel Fabriciano está em significativa expansão. Mesmo não possuindo instaladas indústrias de grande porte em sua área de abrangência, Coronel Fabriciano pode apresentar uma elevada poluição atmosférica, que pode ser representada pela carga de material particulado advindo das indústrias siderúrgicas das outras cidades e do crescente tráfego de veículos.

Em consequência do crescimento econômico das cidades inseridas na RMVA, a poluição atmosférica advinda do tráfego de veículos na região, principalmente em Coronel Fabriciano, por ser uma cidade que dá acesso aos outros municípios, também se caracteriza como uma ameaça ao meio ambiente.

As principais fontes de poluição atmosférica na RMVA são siderurgia, indústrias de transformação, queimadas e tráfego de veículos, o que torna importante a quantificação de elementos químicos que se aglomeram no material particulado.

A provável concentração elevada de material particulado no ar da RMVA pode levar a problemas respiratórios na população. Desta forma, o número de internações por doenças respiratórias nos hospitais da região, mais especificamente em Coronel Fabriciano, pode estar relacionado à quantidade de material particulado oriundo de atividades dentro da região.

2 PROBLEMATIZAÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

O desenvolvimento industrial e urbano tem originado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações dessas substâncias, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais são fatores responsáveis por danos à saúde humana (JACOMINO *et al*, 2007).

2.1 Poluição Atmosférica

De acordo com a legislação brasileira que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar, considera-se:

“Poluente atmosférico qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (BRASIL, 1990, página 15937).

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluente presentes no ar (CETESB, 2011). Tais substâncias podem ser divididas em duas categorias, poluentes primários e poluentes secundários. O primeiro refere-se aos poluentes emitidos diretamente pelas fontes de emissão e o segundo aos formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera (BOUBEL *et al.*, 1994).

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e os materiais. A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento (CETESB, 2011).

O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, são: Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Oxidantes Fotoquímicos, como o Ozônio (O₃), Hidrocarbonetos (HC), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) (CETESB, 2011).

Diversos estudos já foram conduzidos com base em tais parâmetros tais como os de: MAGALHÃES (2005) avaliou a concentração do material particulado em suspensão no município de Ouro Preto; PULINO (2010) diagnosticou a qualidade do ar na Região Metropolitana do Vale do Aço; SILVA (2006) estudou a qualidade do ar na favela de Paraisópolis em São Paulo, além de CANCIO *et al.* (2008) e AVINO *et al.* (2008).

A concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas. Alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas a baixa altitude (AMATO, 2009; MAGALHÃES, 2005; PULINO, 2010).

O fenômeno natural que ameniza os altos índices de poluição do ar é a renovação atmosférica. Para que isto aconteça é preciso que ocorra o fenômeno de convecção, ou seja, movimento de calor que ocorre na massa de ar através da radiação solar que aquece a crosta terrestre. O calor radiante do solo torna o ar mais leve, desta forma o ar aquecido sobe para camadas mais altas da atmosfera o que renova o ar próximo à superfície e dissipa os poluentes. Em dias mais frios, nos grandes centros urbanos, ocorre a inversão térmica, um fenômeno natural meteorológico que forma uma camada atmosférica que retém o ar quente impedindo a renovação pelo ar frio. Isto favorece o confinamento de grandes quantidades de poluentes por dificultar a convecção (FONTES, 2011).

2.1.1 Legislação Ambiental sobre a Qualidade do Ar no Brasil

A fim de promover a gestão da qualidade do ar no Brasil, foram criadas medidas mitigadoras que definem os limites permissíveis de concentração de poluentes na atmosfera, restrição de emissões, bem como um melhor desempenho na aplicação dos instrumentos de comando e controle, entre eles o licenciamento e o monitoramento.

Com isso foi criado através da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 05 de 15 de junho de 1989 o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR).

“O PRONAR tem o intuito de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhoria da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas (BRASIL, 1989) páginas 14713-14714”.

Ainda se tratando da gestão e avaliação da qualidade do ar no Brasil, foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) os padrões nacionais da qualidade do ar, os mesmos foram aprovados por meio da Resolução CONAMA n° 03 de 1990 (QUADRO 1). Este foi o primeiro dispositivo legal do PRONAR, o qual dispõe sobre o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no país (BRASIL,1990).

Quadro 1: Padrões Nacionais da Qualidade do Ar de acordo com a Resolução CONAMA n° 03 de 1990

<i>Poluente</i>	<i>Tempo de Amostragem</i>	<i>Padrão Primário</i> ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁽⁴⁾	<i>Padrão Secundário</i> ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁽⁴⁾	<i>Método de Medição</i>
Partículas Totais em Suspensão	24 horas ⁽¹⁾	240	150	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA ⁽²⁾	80	50	
Partículas Inaláveis	24 horas ⁽¹⁾	150	150	Separador Inercial/Filtração
	MAA ⁽³⁾	50	50	
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾	150	100	Refletância
	MAA ⁽³⁾	60	40	
Dióxido de Enxofre	24 horas ⁽¹⁾	365	100	Pararrosanilina
	MAA ⁽³⁾	80	40	
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ⁽¹⁾	320	190	Quimiluminescência
	MAA ⁽³⁾	100	100	
Monóxido de Carbono	1 hora ⁽¹⁾	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infra-vermelho não dispersivo
	8 horas ⁽¹⁾	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora ⁽¹⁾	160	160	Quimiluminescência

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

(2) Média Geométrica Anual

(3) Média Aritmética Anual

(4) Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 101,32 kPa.

Fonte: BRASIL, 1990

Como identificado no QUADRO 1, os padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que se ultrapassadas poderão afetar a saúde da população. Os padrões secundários são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (BRASIL, 1990).

Segundo a CETESB (2011), o objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, em curto prazo, a áreas de desenvolvimento, ou seja, centros urbanos onde devem ser aplicados os padrões primários. Como prevê a Resolução CONAMA n.º 03/90 (BRASIL, 1990), a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. Cabe ao Estado a classificação das áreas no território nacional.

Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica

Classe II : Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.

Classe III : Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade (BRASIL, 1989) páginas 14713-14714.

A área da Região Metropolitana do Vale do Aço, apesar de se destacar como sendo a segunda aglomeração urbana de Minas Gerais e constituir um forte pólo industrial, pelo menos à curto prazo, ainda não está classificada. Por ser uma área urbana em desenvolvimento deve-se aplicar portanto os padrões primários. Ressalta-se que a mesma resolução prevê que enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis ao monitoramento da qualidade do ar serão os primários (BRASIL, 1990).

Com o intuito de garantir a preservação do meio ambiente e saúde da população humana, a Organização Mundial da Saúde (OMS) promoveu em outubro de 2005, em Bonn na Alemanha, um encontro com especialistas em poluição atmosférica para rever seus padrões de qualidade do ar. Entretanto, somente em outubro de 2006, a OMS anunciou as mudanças que foram extremamente significativas, sobretudo para os parâmetros de MP_{10} e SO_2 . Segundo os novos padrões propostos pela OMS, a concentração média diária de MP_{10} foi reduzida de $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e SO_2 de $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (WHO, 2006a).

2.1.1.1 Índice de Qualidade do Ar (IQAR)

Com a finalidade de gerar uma informação precisa à população a cerca da qualidade do ar dos municípios, foi criado o cálculo dos Índices de Qualidade do Ar (IQAr), onde há uma conversão das concentrações dos poluentes, por meio de um artifício matemático, em escalas boa, regular, inadequada, má, péssima e crítica (FEAM, 2011) (QUADRO 2).

Quadro 2: Índices máximos e mínimos para classificação dos parâmetros da qualidade do ar e níveis de cautela sobre a saúde.

<i>Classificação</i>	<i>Índice</i>	<i>Níveis de Cautela sobre a saúde</i>	<i>PTS 24 h $\mu\text{g.m}^{-3}$</i>	<i>MP₁₀ 24 h $\mu\text{g.m}^{-3}$</i>	<i>SO₂ 24 h $\mu\text{g.m}^{-3}$</i>	<i>CO 08 h $\mu\text{g.m}^{-3}$</i>	<i>O₃ 01 h $\mu\text{g.m}^{-3}$</i>	<i>NO₂ 01 h $\mu\text{g.m}^{-3}$</i>
Boa	0-50		80	50	80	4,5	80	100
Regular	51-100		240	150	365	9,0	160	320
Inadequada	101-199	Atenção	375	250	800	15	400	1130
Má	200-299	Alerta	425	420	1600	30	800	2260
Péssima	300-399	Emergência	625	500	2100	40	1000	3000
Crítica	Acima de 400	Crítica	875	600	2620	50	1200	3750

Fonte: EPA, 2009

A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Tais como umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar e inversão térmica (EPA, 2009).

2.1.2 Aerossol Atmosférico

Os poluentes na forma de materiais particulados suspensos na atmosfera se aglomeram e se juntam a gotículas de água formando os chamados aerossóis atmosféricos, causando conseqüências sobre o meio ambiente urbano em grandes centros (JACOMINO *et al.*, 2007).

Sob a denominação geral de material particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera estão classificadas em naturais e antropogênicas (SILVA, 2010).

Os aerossóis, constituídos por partículas sólidas ou líquidas em suspensão, são formados por uma mistura de partículas de origem primária e secundária. As de origem primária são aquelas emitidas diretamente pelas fontes sejam elas naturais ou artificiais. As partículas de origem secundária não são emitidas diretamente no ambiente, mas formam-se a partir da transformação das partículas primárias por meio de reações químicas e físicas (CETESB, 2011). Como fontes naturais há as cinzas e gases de emissão vulcânica, tempestade de areia, ressuspensão de poeira do solo, decomposição de animais e vegetais, partículas de gases de incêndios florestais, poeira cósmica, evaporação natural, aerossol dos mares e oceanos. Já as fontes artificiais, aquelas que são produzidas pela ação humana, ou seja, são advindas de fontes fixas, como queima de combustíveis fósseis na indústria e termoelétrica, queima de biomassa e incineração de lixo, e fontes móveis, como veículos a gasolina, álcool, diesel, gás natural e emissão de processos químicos (SILVA, 2010).

O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos, principalmente, em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (GODOY, 2008).

O material particulado pode ser avaliado como: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP₁₀), Fumaça (FMC), Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O₃) e Oxidantes Fotoquímicos, Hidrocarbonetos (HC), Óxido de Nitrogênio (NO), Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Enxofre Reduzido Total (ERT) (CETESB, 2011).

Os aerossóis típicos encontrados na atmosfera, bem como sua faixa aproximada do tamanho aerodinâmico das partículas em micrômetros (µm) (FIG. 2) são classificados como

sólidos (fumaças e poeiras) e líquidos (névoas e sprays) (MALM, 2000). É possível citar alguns tipos de aerossóis mais comuns como fumaça da queima de óleo, cinzas do pó de carvão, sementes moídas, sais dissolvidos em água, névoa ácida, carvão pulverizado, entre outros.

O diâmetro aerodinâmico de uma partícula é entendido como o diâmetro de uma esfera de densidade unitária que possui a mesma velocidade de sedimentação da partícula de interesse (MALM, 2000).

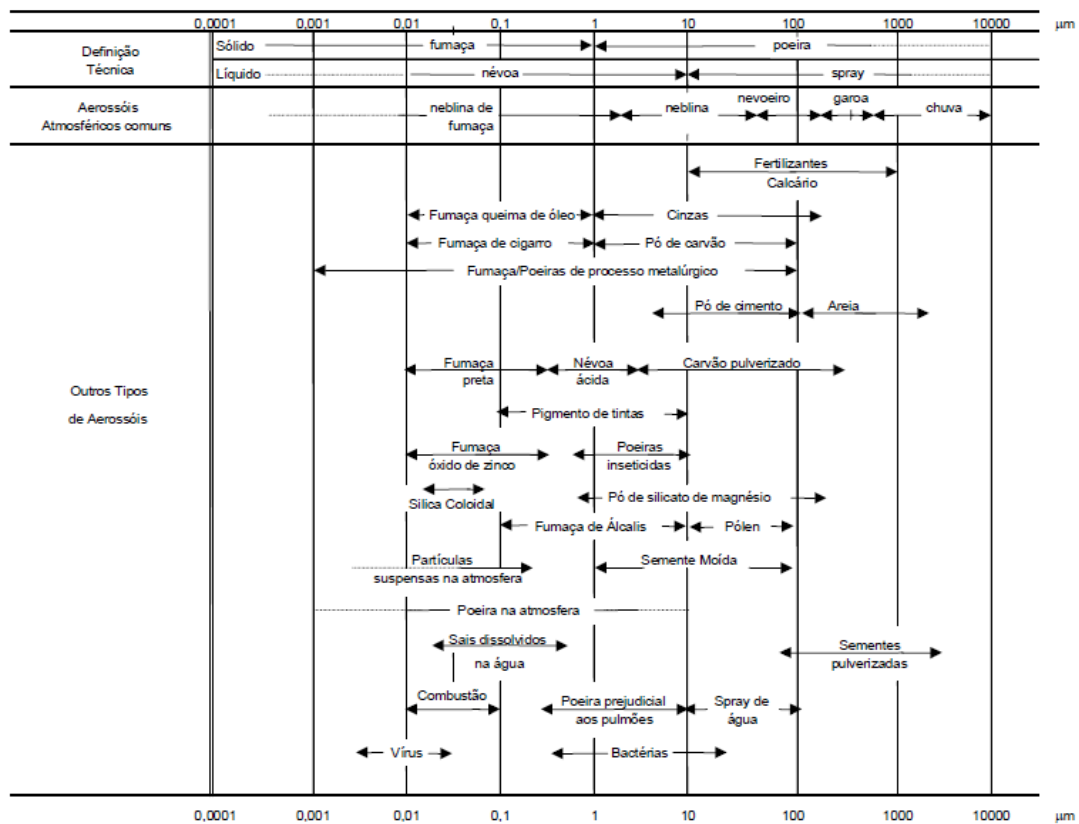


Figura 2: Aerossóis típicos encontrados na atmosfera.

Fonte: MALM, 2000

2.1.2.1 Distribuição do Tamanho das Partículas no Material Particulado

O material particulado, em termos de partículas inaláveis, é composto pelas partículas com tamanho de até 10 µm. Estas podem ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP_{2,5} (< 2,5µm) e partículas inaláveis grossas (de 2,5 a 10µm) (JACOMINO *et al*, 2007). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório (JACOMINO

et al, 2007). As partículas inaláveis, quando presentes em maiores proporções no organismo, podem ser tóxicas para os pulmões, mesmo quando contêm componentes que não são tóxicos (MACNEE E DONALDSON, 1999).

O tamanho das partículas qualificadas por meio da análise do diâmetro é um importante parâmetro físico na determinação das características, efeitos e destino dessas partículas na atmosfera; sendo que existem diversas classificações de tamanho. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2004) cita o modo, a dosimetria e o diâmetro de corte como as mais empregadas.

A classificação por modo fundamenta-se nas distribuições de tamanho de partículas observadas e em mecanismos de formação (FIG. 3).

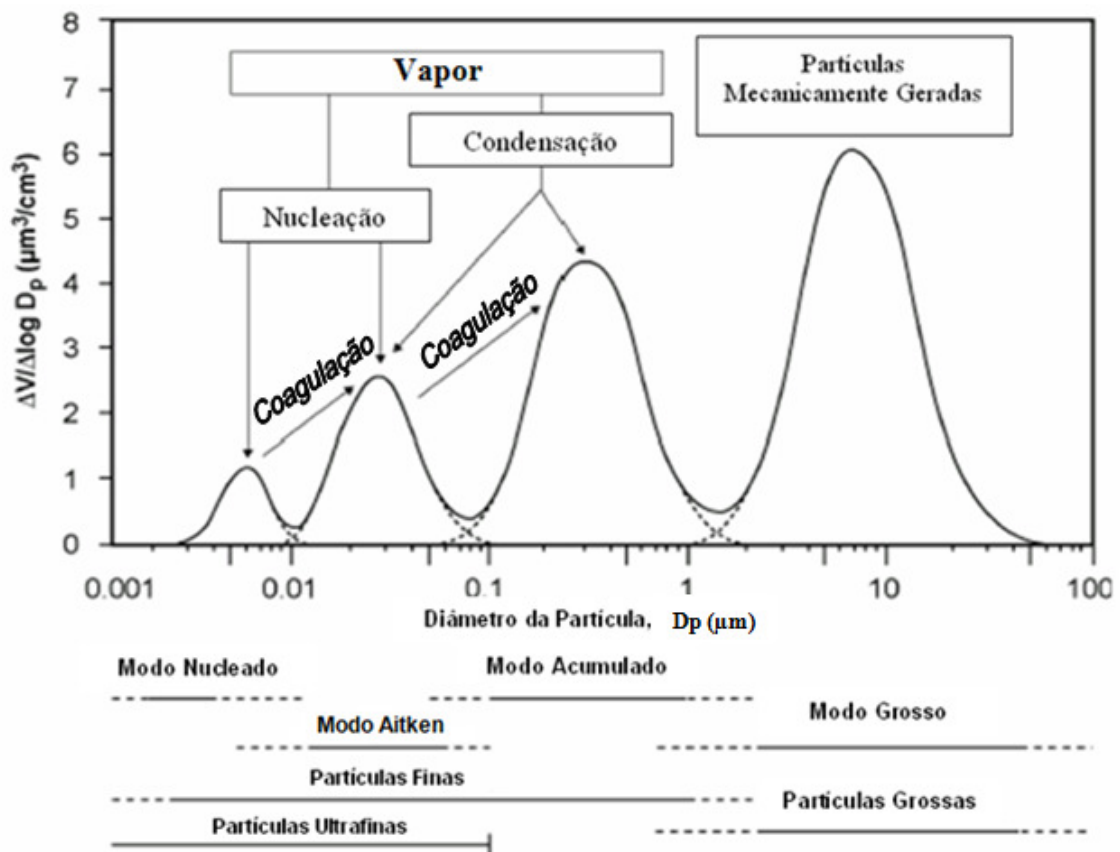


Figura 3: Distribuição de tamanho das partículas na atmosfera
Fonte: US EPA, 2004

Segundo a US EPA (2004), existem três modos de distribuição, são eles *nuclei* (núcleo), *accumulation* (acumulação) e *coarse* (grosso). Os modos núcleo acumulação apresentam partículas de diâmetro inferior a 2,5 µm e estão associados aos mecanismos de formação de partículas a partir de componentes gasosos (conversão do gás em partícula),

sendo eles a condensação, a nucleação e a coagulação. O modo Aitken são partículas menores que 0,1 μm e apresentam em fase de nucleação.

Para a condensação acontecer é preciso avaliar as condições atmosféricas, como a temperatura ambiente, a umidade relativa e, principalmente, a pressão de vapor, a área superficial e os constituintes dos gases.

No processo de nucleação, os gases interagem para formar aerossóis maiores. Uma vez formados, os aerossóis podem crescer ainda mais pelo processo de coagulação, no qual as partículas são bombardeadas umas às outras e passam a crescer juntas. Este é o processo que leva a formação das partículas de sulfato a partir do dióxido de enxofre (FIGURA 4).

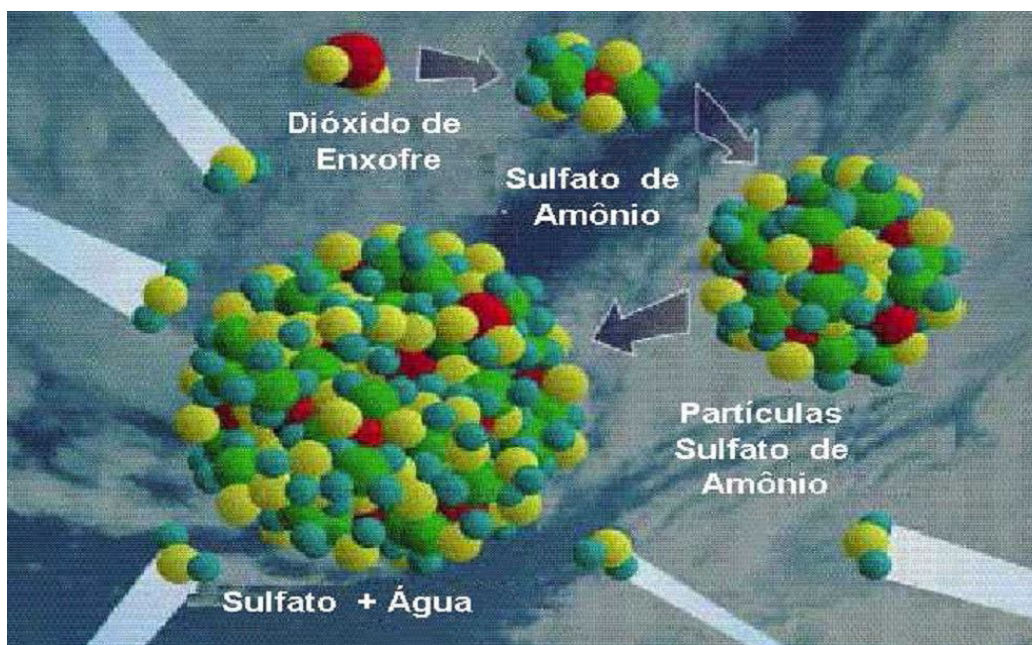


Figura 4: Conversão do gás dióxido de enxofre em partículas de sulfato.
Fonte: MALM, 2000

No modo *coarse* (grosso), as partículas maiores que 2,5 μm são originadas por processos mecânicos de extração de minerais e restos de materiais orgânicos.

Ainda de acordo com as classificações da USEPA (2004), segundo a dosimetria a classificação é baseada em termos do tamanho de partículas que conseguem atravessar os vários canais do sistema respiratório humano. Desse modo, as partículas podem ser classificadas como: inaláveis (IPM), torácicas (TPM) ou respiráveis (RPM).

As partículas inaláveis são aquelas que penetram no trato respiratório em função de seu tamanho. As torácicas atravessam a laringe e podem chegar ao pulmão e as respiráveis

são as que efetivamente atingem esse órgão, na região de troca de ar, os alvéolos (FIGURA 5).

As siglas existentes na legenda da FIG. 5, identificam a classificação e possibilidade de penetração de cada partícula como sendo: menores que 10 μm (PM_{10}), inaláveis (IPM), torácicas (TPM), partículas respiráveis (RPM) e menores que 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). Pode ser observado que entre 2,5 e 10 μm existe uma maior penetração das partículas no trato respiratório, sendo que quanto menor a partícula maior a capacidade de penetração.

O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde. Quanto menores o tamanho das partículas, maiores serão os efeitos provocados (GODOY, 2008). As espécies químicas mais abundantes na menor fração de partículas incluem nitratos, sulfatos, metais, compostos orgânicos e carbono elementar (POOLEY, 1999).

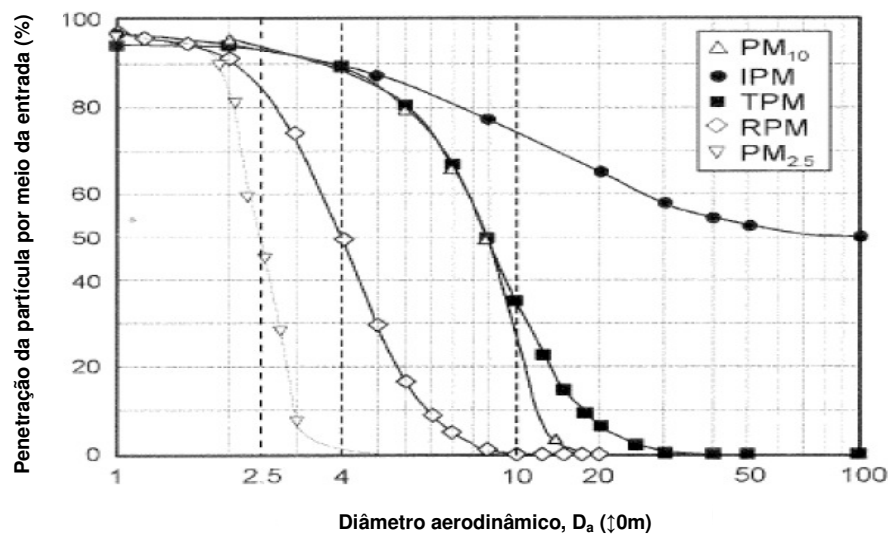


Figura 5: Curva de penetração de partículas no sistema respiratório em função de seu tamanho. Fonte: US EPA, 2004

Outra forma de classificação de partículas é pela eficiência de sua coleta em equipamentos de monitoramento e controle atmosférico. As frações de tamanho são especificadas com um diâmetro de corte de 50%. Assim, as partículas são classificadas em: PTS (partículas totais em suspensão com diâmetro entre 25 e 50 μm), PM_{10} (partículas em suspensão menores que 10 μm) e $\text{PM}_{2,5}$ (partículas em suspensão menores que 2,5 μm) (US EPA, 2004).

A concentração do material particulado pode ser obtida pelos equipamentos de monitoramento da qualidade do ar, nas versões automáticas e manuais.

Segundo Davis (2000), as partículas de MP_{10} advindas de fontes de emissão distintas são 89% das 33574 toneladas de poeira por ano, dentre essas 2,4 % são advindas de tráfego de veículos em estradas pavimentadas e não pavimentadas, 7% são advindas de caldeiras que utilizam queima de carvão e óleo e 1,8% são advindas de fontes de queimadas controladas ou não, nas $MP_{2,5}$ esta estatística se dá em 66% de 8288 toneladas de poeira por ano, onde nas fontes têm-se 7,5%; 19% e 6,8%, respectivamente. Então, a importância da realização do controle da emissão de poluentes agregados às partículas, se faz necessário, haja vista que a presença de fontes de emissão é cada vez mais frequente.

2.1.3 Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre (SO_2) é um poluente primário que pode ser introduzido no ambiente através de fontes naturais ou antropogênicas. As principais fontes de emissão antropogênicas são queima de combustíveis fósseis e atividades industriais como refino de petróleo, indústrias de cimento e metalurgia. A principal emissão natural é a atividade de vulcões (ANDRADE, 2002).

Por meio do processo de combustão do carvão e queima de combustível a base de petróleo pela descarga de veículos automotores, o enxofre (S°) contido nestes materiais pode se oxidar à outras espécies químicas quando em contato com a atmosfera. Além disto, o SO_2 emitido pelos escapamentos de veículos e chaminés podem reagir com oxidantes presentes no ar, como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ozônio (O_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x), formando sulfato (SO_4^{-2}) particulado combinado ao aerossol ou na forma de partículas neutras de sulfato de amônio [$(NH_4)_2SO_4$] (QUADRO 3).

Os sais de sulfato apresentam um longo período de residência na atmosfera, uma vez que são amplamente distribuídos e podem apresentar uma boa correlação entre os locais de amostragem e suas possíveis fontes de emissão (POOLEY, 1999).

Segundo o inventário de emissões de SO_2 , material particulado e elementos tóxicos de fontes industriais em Mumbai na Índia, o conteúdo de enxofre no carvão foi de 0,1% a 0,8% com exceção do carvão de Assam que tinha conteúdo de enxofre maior que 3,9%. O conteúdo de enxofre no combustível de petróleo foi entre 0,02 % a 4%, resultado obtido pela Refinaria de Petróleo da Índia. Neste mesmo estudo, foi estimado que as emissões de SO_2 foram assumidamente 100% do enxofre advindo da queima de combustíveis, ou seja, o

enxofre se apresentou em maior quantidade advindo das indústrias que utilizam caldeira a óleo, usinas de energia ou de indústrias de produtos químicos e petroquímicos, liberando gases para atmosfera. Estas emissões são incontroláveis com exceção das emissões das usinas, as quais, segundo o autor podem ser controladas (BHANARKAR *et al*, 2005).

Quadro 3: Transformação de Espécies de Enxofre na Troposfera.

<i>Estado de oxidação</i>	<i>Espécie</i>
+6	H ₂ SO ₄ , XSO ₄
	↑
+4	SO ₂
	↑
+2	SO
	↑
+1	HSO
	↑
0	S
	↑
-1	SH
	↑
-2	H ₂ S, COS, CS ₂

Fonte: ANDRADE, 2002

O SO₂ pode ser disseminado nos ecossistemas a partir do processo de oxidação do enxofre (IV) na fase gasosa em dias claros e em fase aquosa na presença de nuvens e nevoeiro (ANDRADE, 2002).

Estudos em campo indicam que a importância do processo de conversão homogênea (fase gasosa) e heterogênea (fase líquida) depende de uma variedade de fatores climatológicos, tais como umidade relativa e intensidade da radiação solar incidente (ANDRADE, 2002). O acompanhamento dos processos atmosféricos de conversão do S(IV), por um período de quatro meses, na região de Heidelberg, sugeriu que a metade do sulfato formado no ar atmosférico é proveniente do processo de conversão homogênea, enquanto que

cerca da outra metade é devida à conversão heterogênea, que ocorre em nuvens e nevoeiros (ANDRADE, 2002).

2.1.4 Elementos Químicos na Atmosfera

Para melhor entendimento a cerca das principais fontes de elementos no ar ambiente se faz necessário o estudo da forma química em que estes elementos se fazem presentes.

Os elementos químicos em sua maioria estão presentes na atmosfera e circulam e se transformam através dos ciclos biogeoquímicos. Ciclo biogeoquímico é o movimento ou circulação de um elemento químico através da atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (ZILBERMAN, 2004).

Dos elementos que circulam nos ciclos biogeoquímicos, muitos são necessários à manutenção da vida e podem ser subdivididos em três grupos:

- **Macronutrientes:** São constituintes de compostos orgânicos, são eles carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S).
- **Macronutrientes presentes em grande quantidade nas diversas formas de vida:** fósforo (P), cálcio (Ca), ferro (Fe) e magnésio (Mg).
- **Micronutrientes:** São presentes em pequenas quantidades, ou seja, o boro (B) (plantas verdes), cobre (Cu) (enzimas), molibdênio (Mo) (bactérias que fixam nitrogênio) (ZILBERMAN, 2004).

Alguns elementos não são utilizados pelos organismos e são tóxicos, outros mesmo que necessários, se ingeridos ou inalados em altas concentrações são prejudiciais ao organismo. As intoxicações mais frequentes são por alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), berílio (Be), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e níquel (Ni), estes elementos alteram as estruturas celulares das enzimas e substituem metais co-fatores de atividade enzimática (PASCALICCHIO, 2002).

A composição química do material particulado no ar pode estar agregada em partículas compostas por carbono orgânico elementar e o denominado carbono preto, o qual é advindo de tráfego de veículos e associado aos compostos orgânicos nas partículas de fumaça (POOLEY, 1999).

O carbono elementar é resultado da combustão incompleta dos combustíveis e quando há falta de óleo lubrificante nos veículos, formando parte de uma fração fina do material particulado menor que 10 μm . Esta fração apresenta uma superfície porosa onde há

um aumento no processo de absorção de compostos metálicos. Compostos orgânicos, metais tóxicos e material inorgânico solúvel podem ser transportados pelas partículas de carbono elementar. A preocupação com a saúde é originalmente focada neste fato, mas não é reconhecido que o carbono elementar pode ser perigoso por si só (POOLEY, 1999).

Os elementos podem ser encontrados agregados a diferentes compostos, sendo que eles podem existir nas formas solúvel e insolúvel.

Os compostos inorgânicos solúveis podem ser subdivididos em categorias de diferentes espécies químicas: aerossol ácido, sulfatos, nitratos, cloretos, compostos de amônio e outros cátions (QUADRO 4).

Quadro 4: Categoria dos compostos inorgânicos solúveis.

<i>Categoria</i>	<i>Formação e Características</i>
Aerossol ácido	Neutralização parcial das espécies ácidas aerotransportadas, por falta de espécies básicas no ambiente (exemplo: íon amônio).
Sulfatos	Oxidação do SO ₂ , presença nas frações finas (MP _{2,5}), na forma de sais de CaSO ₄ , Na ₂ SO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₄ .
Nitratos	Oxidação do NO ₂ . Estão contidos nas frações mais finas do MP ₁₀ . Podem estar presentes na forma de NH ₄ NO ₃ e NaNO ₃ .
Cloretos	Aerossol marinho (NaCL) nas partículas mais grossas. NH ₄ CL advindo da reação do HCL com íons amônio (NH ₄ ⁺) de fontes poluentes de indústrias.
Compostos de Amônio	O NH ₄ ⁺ pode ser combinado com sulfatos, nitratos e cloretos na forma de sal. Podem ser encontrados nas MP _{2,5} .
Outros Cátions	Na, Ca, e Mg podem ser associados na forma de cloretos (sal marinho) ou em nitratos e sulfatos. Ca (carbonatos e sulfatos), Mg (carbonatos e cloretos) advindos da formação geológica.

Fonte: POOLEY, 1999

Os compostos inorgânicos insolúveis são tipicamente associados às frações mais grossas no MP₁₀ e são formadas a partir das partículas derivadas do solo. Eles incluem compostos de sílica (SiO₂), calcita (CaCO₃) e epsomita (MgSO₄.7H₂O). Este último pode ser uma fonte significativa de magnésio, pois quando beneficiado pode ser utilizado na agricultura, como componente em fertilizantes, atuando como nutriente para diversas culturas e também nas indústrias de detergentes, papel e celulose, têxtil, curtumes e cerâmicas. Outros compostos inorgânicos podem ser a gipsita (CaSO₄.2H₂O), feldspato (KAlSi₃O₈), cloretos, caulinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄) e montmorilonita [(Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂.nH₂O] (POOLEY, 1999).

Os compostos inorgânicos também podem estar combinados na forma de compostos organometálicos (POOLEY, 1999). A quantificação de elementos nas amostras de material particulado pode ser dificultada por causa da baixas concentração destes elementos, no entanto, estes podem ser detectados (POOLEY, 1999). Sua quantificação e caracterização tem especial interesse por causa dos problemas à saúde que os elementos podem causar.

As partículas finas possuem uma capacidade maior de adsorver através de sua superfície de contato e transportar até o trato respiratório poluentes com efeitos tóxicos e carcinogênicos, tais como elementos tóxicos (POOLEY, 1999), além de moléculas orgânicas de grandes dimensões e baixas pressões de vapor, que podem reagir ou catalisar reações bioquímicas (MAGALHÃES, 2005; DAVIS, 2000).

As fontes dos elementos tóxicos são geralmente antropogênicas, tais como queima de combustíveis fósseis, incineração de resíduos e processos em altas temperaturas (indústrias de fundição de metal). Durante este último processo, os elementos tóxicos são vaporizados e preferencialmente condensados na superfície de partículas pequenas no ambiente devido à maior superfície de contato destas (POOLEY, 1999).

Os elementos podem ser associados a processos de fontes particulares, por exemplo, o chumbo no ambiente pode ser advindo da queima de combustíveis a base de chumbo, como o cádmio é associado a indústrias de metais não ferrosos (POOLEY, 1999).

Segundo Davis (2000) as partículas pequenas, as quais os elementos tóxicos são agregados, podem ser denominadas como poeiras fugitivas, referem-se às partículas de origem geológicas que são ressuspendidas na atmosfera por atividades naturais ou antropogênicas não canalizadas como: influência eólica, cultivo e colheita de silvicultura, estradas não pavimentadas, construção e processos de produção de cimento, escavação, classificação, rapagem, armazenagem de areia, escapamento de veículos a diesel e gasolina,

queimadas florestais e de vegetação controlada. Além da mineração, os processos de fundição e purificação de minerais fazem com que haja um reservatório e disseminação mundial desses elementos tóxicos que são inseridos mecanicamente na atmosfera (PASCALICCHIO, 2002).

Em adição às poeiras fugitivas, existem as poeiras de emissões pontuais, as quais são emitidas por atividades canalizadas, como emissões de caldeiras industriais utilizando queima de carvão e/ou óleo (DAVIS, 2000). Estas, frequentemente emitem uma variedade de elementos diferentes aumentando significativamente a concentração dos mesmos.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu limites máximos para presença de alguns elementos no aerossol atmosférico, limites os quais se forem excedidos podem causar problemas irreversíveis à saúde humana (WHO, 2006a) (QUADRO 5).

Quadro 5: Limites máximos de concentrações de elementos ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e seus respectivos danos à saúde.

<i>Elementos</i>	<i>OMS ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	<i>European Council Direct 1999/30/EC ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)</i>	<i>Danos à saúde</i>
Alumínio (Al)	-	-	Provoca seborréia, envelhecimento precoce, esclerose cerebral (Alzheimer), irritabilidade. Desloca o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) dos ossos, causando osteoporose (PASCALICCHIO, 2002).
Antimônio (Sb)	0,5 ^{*(1)}	-	Alteração pulmonar cardíaca, renal e hepática, náuseas, salivação, secreções brônquicas (PASCALICCHIO, 2002).
Arsênio (As)	0,0015	-	Câncer pulmonar (WHO, 2006a).
Cádmio (Cd)	0,005	-	Câncer pulmonar, problemas renais (WHO, 2006a). Salivação, fadiga, perda de peso, disfunção sexual e renal, anemia, dor nos ossos (PASCALICCHIO, 2002)
Chumbo (Pb)	0,5	0,5	Câncer, deficiência auditiva e cognitiva (WHO, 2006a).
Cromo (Cr)	0,0025	-	Câncer pulmonar (WHO, 2006a).
Estanho (Sn)	5,0 ^{*(1)}	-	Pode causar retardo no crescimento, irritação na pele, problemas no sistema respiratório e gastrointestinais, causa processos degenerativos nos rins e fígado, anemias leves, fraqueza muscular, paralisia, depressão, ataxia e degeneração testicular (PASCALICCHIO, 2002).
Ferro (Fe)	10*	-	-
Manganês (Mn)	0,15	-	Por inalação distúrbio de movimentos, efeitos respiratórios, disfunção reprodutiva, diminuição da libido (WHO, 2006a).
Níquel (Ni)	0,25	0,02	Reações alérgicas na pele, problemas no trato respiratório, câncer de pulmão e nariz (WHO, 2006a). Dermatoses, dermatites, alergias (eczemas, rinite, sinusite, conjutivite) alterações hormonais da tireóide e da supra-renal (PASCALICCHIO, 2002).
Urânio (U)	-	-	Câncer pulmonar, fadiga crônica (PASCALICCHIO, 2002).

(*) valores em $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

(1) Válido somente para ambientes fechados.

Fonte: WHO, 2006 e European Council Direct, 1999.

2.1.5 Fontes Antrópicas de Emissão de Material Particulado

Além das fontes naturais de elementos químicos agregados ao material particulado, podemos destacar também as fontes artificiais ou antropogênicas, tais como siderurgia, combustíveis fósseis e tráfego de veículos.

2.1.5.1 Siderurgia

Na indústria siderúrgica integrada a coque para a produção do aço, o material particulado é emitido para a atmosfera em praticamente todas suas unidades de processo de produção (FIGURA 6).

Na unidade de coqueificação, ocorre o beneficiamento do carvão mineral para a obtenção de coque. O carvão é descarregado nos pátios de estocagem e empilhado através de equipamentos pesados. Normalmente, são estocadas quantidades além da produção para constituir reserva, em caso de interrupção no suprimento. Depois de retirado das pilhas, segue para a unidade de britagem e, após ser reduzido a uma granulometria adequada, é levado para os silos de estocagem. Os silos são dotados de mesas dosadoras que extraem a quantidade exata a ser depositada em correias transportadoras que, por sua vez, alimentam os moinhos de martelos. Novamente, o carvão é reduzido, antes de ser levado aos fornos de combustão. Os fornos de combustão de coque são constituídos de retortas de seção retangular, colocadas lado a lado e intercaladas por câmaras de aquecimento, onde é queimado o gás produzido pela própria coqueria, denominado COG (gás de coqueria). O coque produzido é levado pelo carro de carregamento até a torre de extinção e é resfriado por jatos de água sob pressão. Após resfriamento, o coque é levado à unidade de britagem e peneiramento, onde é reduzido às condições ideais para ser utilizado no alto-forno (FIGUEIREDO, 1985).

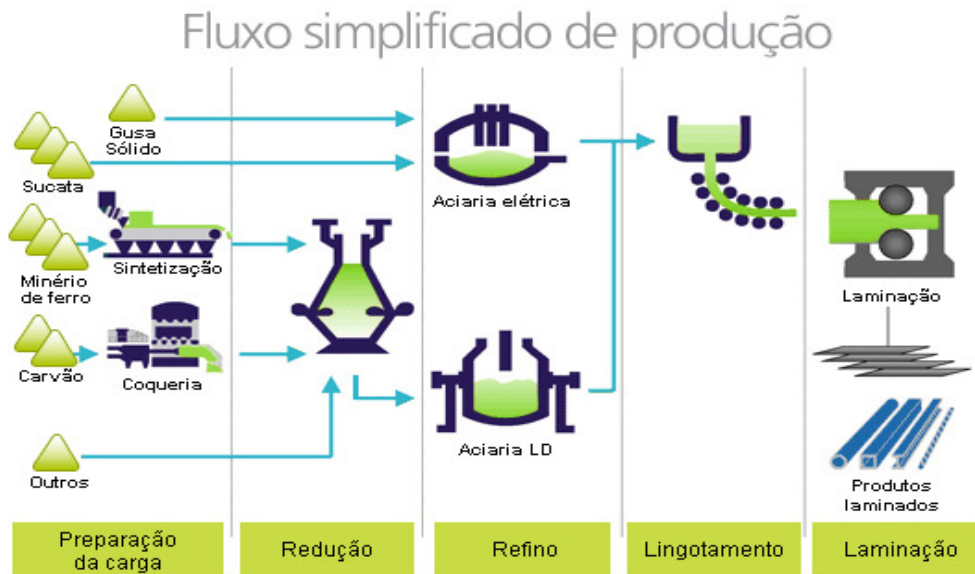


Figura 6: Etapas do processo de produção simplificado do aço.
 Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), 2010.

As emissões de material particulado na coqueria ocorrem em decorrência dessas etapas de manuseio, preparo de insumos e matérias-primas e, também, das etapas de enforamento, desenforamento e extinção de coque.

A composição química do coque é diretamente relacionada à composição do carvão utilizado, esta possibilita a previsão das características químicas do coque e pode ser correlacionada com muitos aspectos do comportamento do carvão durante a coqueificação ou do coque no alto-forno (ULHÔA *et al.*, 1999).

Segundo ULHÔA *et al.* (1999), o carvão (base seca e livre de cinza) consiste essencialmente de carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre. Os carvões coqueificantes apresentam como composição elementar aproximada: carbono: 83 a 90,5%; hidrogênio: 5,5 a 4,0%; oxigênio: 8,0 a 4,0%; nitrogênio: 1,5 a 1,0% e enxofre orgânico: 0,3 a 0,8%. Os elementos químicos presentes originalmente em um carvão submetido à coqueificação em bateria de fornos horizontais carregados por gravidade distribuem-se entre os diversos produtos (coque, gás, alcatrão e amônia), sendo que todos os cinco principais (C, H, O, N e S) são encontrados no coque (QUADRO 6).

Quadro 6: Distribuição dos elementos químicos do carvão durante a coqueificação.

<i>Elemento</i>	<i>Produto da Coqueificação</i>
Carbono	Matéria Volátil (hidrocarbonetos): COG e alcatrão Coque (carbono fixo)
Hidrogênio	Matéria Volátil (hidrocarbonetos): COG e alcatrão Coque (pequena quantidade)
Oxigênio	CO, CO ₂ , SO ₂ e H ₂ O no COG Coque (pequena quantidade)
Nitrogênio	Amônia (NH ₃), N ₂ livre no gás Coque (pequena quantidade)
Enxofre	COG (H ₂ S, SO ₂ , S) Coque (quantidade considerável por ser contaminante do gusa)
Umidade	H ₂ O (vapor no COG)
Material Mineral	Coque Alcatrão (pequena quantidade) COG (pequena quantidade)

Fonte: ULHÔA *et al*, 1999.

Na sinterização, minério de ferro fino, finos de carvão e fundentes são aglomerados de forma adequada para o carregamento no alto-forno. A mistura é depositada em camadas sobre uma esteira formada por grelhas. Após a ignição na superfície da mistura, o ar é aspirado pelo exaustor, fazendo com que a frente de combustão caminhe até a grelha. Com a queima são gerados gases e material particulado. O sinter formado é quebrado e resfriado, sendo transferido por correias transportadoras para a unidade de peneiramento, em que é reduzido e resfriado, sendo depois utilizado no alto-forno, neste o minério é convertido em ferro-gusa. A redução dos óxidos de ferro ocorre à medida que o minério, o coque e os fundentes descem em contra-corrente aos gases gerados no próprio alto-forno e ao ar quente soprado nas ventaneiras (LIMA, 2006).

As emissões de material particulado nas áreas de sinterização e de altos-fornos são também em decorrência das etapas de manuseio, preparo de insumos e matérias-primas.

Nas aciarias ocorre a conversão do ferro-gusa em aço. Essa conversão se faz pelo carregamento da carga sólida, do ferro-gusa líquido e o sopro do oxigênio em um convertedor. Após as reações de oxidação, o aço é formado e é vazado nas lingoteiras, de onde segue para a unidade de resfriamento. Depois este segue para a unidade de escarfigem, processo que consiste na retirada de uma camada superficial das placas de aço, a fim de eliminar os defeitos. As emissões na unidade da aciaria ocorrem pela queima de combustível nos fornos de aquecimento, pelo processo de dessulfuração do ferro-gusa e na etapa de escarfigem. A queima de combustíveis utilizados nos fornos para aquecimento de placas das áreas de laminação a quente e a frio gera também particulados que têm grande facilidade de dispersão devido sua baixa densidade (LIMA, 2006).

2.1.5.2 Queima de Combustíveis Fósseis

Uma importante fonte de poluentes atmosféricos é a queima de combustíveis fósseis. A poluição industrial é a principal preocupação ambiental relacionada a isto, principalmente indústrias de transformação e extração como siderúrgicas e de celulose, devido à emissão de poluentes atmosféricos, tais como NO_x , SO_x , CO , compostos orgânicos voláteis e material particulado.

Nas usinas termelétricas, a principal operação térmica é a queima de combustíveis fósseis, principalmente o carvão mineral, o qual é o combustível mais abundante, mas também o mais poluente.

Algumas características dos combustíveis fósseis e suas potenciais formas de poluição atmosférica serão demonstradas a seguir:

2.1.5.2.1 Carvão Mineral

Borba (2001) traz uma revisão a cerca da formação e uso do carvão mineral. A seguir serão apresentados os principais aspectos abordados pelo autor.

O carvão mineral, ou simplesmente carvão, é um combustível fóssil sólido formado a partir da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares. Por ação de pressão e temperatura em ambiente sem contato com o ar, em decorrência de soterramento e atividade orogênica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio, hidrogênio e se enriquecem em carbono, em um processo denominado carbonificação.

Quanto mais intensa a pressão e a temperatura a que a camada de matéria vegetal for submetida e quanto mais tempo durar o processo, mais alto será o grau de carbonificação atingido, ou *rank*, e maior será a qualidade do carvão. Os diversos estágios de carbonificação, do menor para o maior *rank*, são dados pelo esquema: turfa → sapropelito → linhito → carvão sub-betuminoso → carvão betuminoso → antracito. O estágio mínimo para a utilização industrial do carvão é o do linhito.

Outro índice qualitativo do carvão é o *grade*, que mede de forma inversamente proporcional o percentual em massa de matéria mineral incombustível (cinzas) presente na camada carbonífera. Um baixo *grade* significa que o carvão possui um alto percentual de cinzas misturado à matéria carbonosa, conseqüentemente, empobrecendo sua qualidade.

Quanto menor for a qualidade do carvão maior será a concentração de material particulado emitido pela sua queima. Em outras palavras, quando o carvão é ruim não ocorrerá queima completa do mesmo, o que proporcionará uma abundante emissão de material particulado.

Fundamental para a economia mundial, o carvão é maciçamente empregado em escala planetária na geração de energia e na produção de aço. Na siderurgia é utilizado o carvão coqueificável, um carvão nobre, de altos *rank* e *grade*, com propriedades aglomerantes. No ano de 2000, o mundo produziu 831 Mt (milhões de t) de aço, que requereram 608 Mt de carvão, representando aproximadamente 17,5% da produção global deste bem mineral, que foi de 3.466 Mt.

No uso como energético o carvão admite, a partir do linhito, toda gama possível de qualidade, sendo uma questão de adaptação dos equipamentos ao carvão disponível. Entre os recursos energéticos não renováveis, o carvão ocupa a primeira colocação em abundância e perspectiva de vida útil, sendo a longo prazo a mais importante reserva energética mundial (QUADRO 7).

2.1.5.2.2 Gasolina

De acordo com o College Of Petroleum and Energy Studies – CPS (2001) a gasolina é um produto complexo, cuja composição e características dependem basicamente da natureza do petróleo que o gerou, dos processos de refino e das especificações de desempenho. O desempenho da gasolina é em princípio determinado por sua volatilidade, por sua qualidade de combustão e sua estabilidade. A gasolina contém componentes de

volatilidades diferentes, cobrindo larga faixa de destilação. Essas substâncias são basicamente hidrocarbonetos de 4 a 12 carbonos e sua faixa de destilação costuma variar de 30 a 220° C a pressão atmosférica de 1 atm. Existem também compostos sulfurados e nitrogenados e traços de metais.

Quadro 7: Reserva Mundial e Vida útil Estimada dos Recursos Renováveis.

<i>Recurso</i>	<i>Reservas Mundiais (Mtce)⁽¹⁾</i>	<i>Vida Útil Estimada (anos)</i>
Carvão	726.000	219
Petróleo	202.000	41
Gás Natural	186.000	65

(1) Milhões de toneladas em carvão equivalente

Fonte: DOERELL, 2001

Outra classe de substâncias que tem sido usada nos processos atuais de produção da gasolina é a dos compostos oxigenados, como álcoois e éteres. Seu uso na gasolina foi favorecido pelas qualidades de combustão e volatilidade, e por apresentar pontos de ebulição dentro da faixa da gasolina. Suas propriedades anti-detonantes conferem melhoria na octanagem da gasolina, servindo como substituto de chumbo tetraetila, substância proibida há anos pelas legislações nacionais e internacionais. Além disso, reduz a formação de poluentes dos gases de queima de gasolina nos veículos, tais como monóxido de carbono (CPS, 2001).

A composição da gasolina é variável e depende da faixa de componentes que pode ser usada. As gasolinas automotivas são geralmente misturas de correntes provenientes de processos de destilação direta do petróleo, craqueamento catalítico e/ou térmico, reforma catalítica, alquilação e hidrocraqueamento (craqueamento em presença de hidrogênio). Os tipos de hidrocarbonetos encontrados na gasolina automotiva comercial são parafinas, cicloparafinas (naftênicos), olefinas e aromáticos (SOUZA, 2004).

As parafinas e cicloparafinas são hidrocarbonetos saturados, de cadeia linear e cíclica, respectivamente. Já as olefinas são hidrocarbonetos com dupla ligação carbono-carbono. Altos teores de olefinas são responsáveis pela instabilidade química da gasolina, pois apresentam a tendência de reagirem entre si e com outros hidrocarbonetos na presença de oxigênio, luz ou calor, gerando polímeros (goma). Além disso, altas concentrações de olefinas

contribuem para maior nível de emissão de óxidos de nitrogênio (NOx). Os compostos aromáticos, substâncias que possuem o anel benzênico em sua estrutura molecular, conferem a gasolina uma boa resistência a detonação. Por outro lado, os aromáticos possuem a tendência de gerar mais fumaça e depósitos de carbono durante a queima no motor do que o verificado para compostos saturados e olefínicos (PETROBRAS, 1996).

Na gasolina ainda existem os compostos oxigenados e aditivos. Os compostos oxigenados são adicionados para elevar a octanagem, que é uma característica fundamental para o bom desempenho do motor, e em consequência disto a redução na emissão de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), preservando a qualidade do ar. Os aditivos são utilizados como agentes antidetonantes, antioxidantes, inibidores de corrosão, desativadores metálicos, detergentes e marcadores corantes. Geralmente, sua concentração é inferior a 0,1% m/m (SOUZA, 2004).

2.1.5.2.3 Diesel

O óleo diesel é um combustível de composição complexa derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos e, em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais, oxigênio, entre outros (FERREIRA *et al.*, 2008).

O óleo diesel é formulado por meio da mistura de diversas correntes como gasóleos, afta pesada, diesel leve e diesel pesado, provenientes das diversas etapas de processamento do petróleo bruto (FERREIRA *et al.*, 2008).

O ciclo diesel é regulado apenas pela vazão de combustível, uma vez que a vazão de ar permanece constante com as mudanças de velocidade do motor. Como os motores a diesel geralmente operam com excesso de oxigênio, as emissões de hidrocarbonetos e de monóxido de carbono são minimizadas, porém, entre os principais poluentes emitidos por esses motores destacam-se os materiais particulados que são as maiores causas de poluição em grandes centros urbanos (FERREIRA *et al.*, 2008).

O óleo diesel possui uma série de padrões de especificação, sendo que os que mais afetam a emissão de poluentes são: o número de cetano, teor de enxofre, teor de aromáticos e a densidade (FERREIRA *et al.*, 2008).

Siqueira *et al.* (2009) realizaram um estudo estimando os poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Cuiabá e Várzea Grande – MT, empregando como combustível

diesel, biodiesel ou gás natural. Neste estudo foi constatado que o emprego do biodiesel como combustível em substituição total ou parcial ao diesel está associado a muitos benefícios ambientais, como redução das emissões de gás carbônico e óxidos de nitrogênio; redução das emissões de enxofre; combustão mais completa decorrente da maior porcentagem de oxigênio presente nas moléculas que compõem o biodiesel. Além disto, foram observados benefícios sócio-econômicos, como geração de emprego no setor primário, mantendo os trabalhadores no campo, evitando o êxodo rural e diminuição de importação de petróleo, favorecendo a balança comercial do país. Se comparado o gás natural aos demais combustíveis, este apresenta valores de emissão inferiores ao diesel e biodiesel em 20%, no entanto, o gás natural emite quantidades superiores de poluentes em relação ao biodiesel em 100%, com exceção do óxido de nitrogênio.

2.1.5.3 Tráfego de Veículos

As áreas urbanas são caracterizadas como de baixa qualidade do ar, devido ao crescimento populacional e as atividades econômicas. No passado as principais causas da degradação da qualidade do ar eram atribuídas às atividades industriais. Hoje em dia, com o desenvolvimento econômico e o aumento da mobilidade, uma das principais causas da poluição atmosférica nas áreas urbanas é o tráfego de veículos (BARROS, 2004).

As emissões de poluentes advindos do tráfego de veículos, além de fornecer à atmosfera gases como NO_x, CO, CO₂, SO₂ e compostos orgânicos voláteis, também emitem elementos tóxicos na forma de óxidos, os quais podem reagir com os compostos já encontrados no ar produzindo reagentes que se incorporam ao material particulado (MP) mais fino, apresentando alta toxicidade para o corpo humano.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2010), no Brasil as emissões de material particulado advindas de caminhões pesados entre os anos de 1980 a 2000, anos da revolução industrial, aumentaram em 75% se comparado aos anos anteriores. Logo após, entretanto, apresentou uma queda de 64,3% até os dias de hoje. O mesmo estudo faz uma projeção até 2020 em que as emissões de MP advindos de caminhões pesados representarão 63% do total (FIGURA 7).

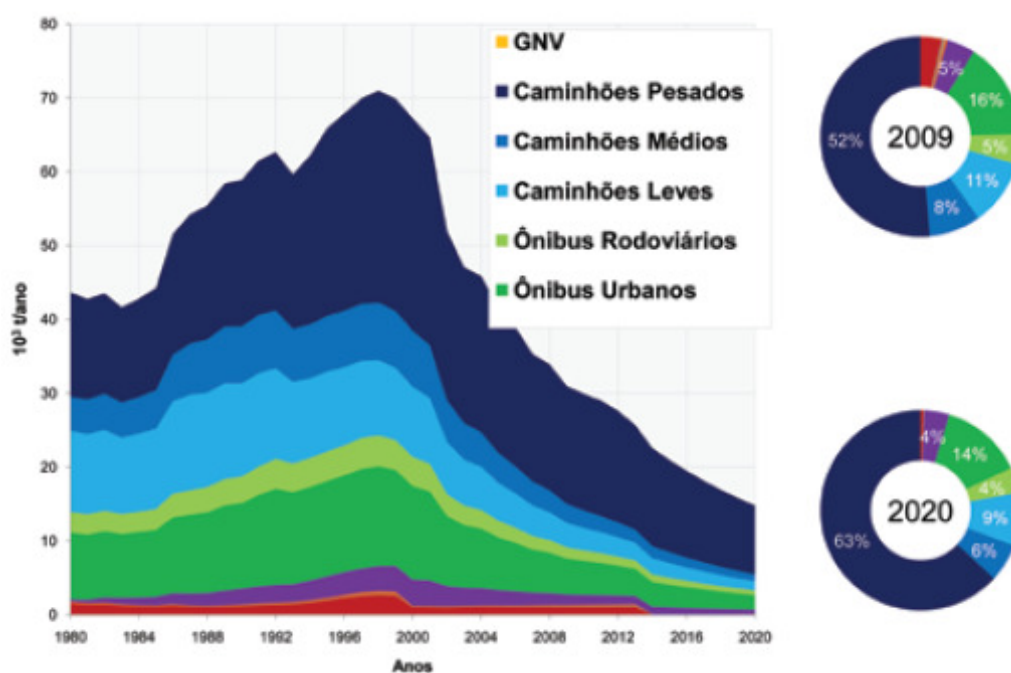


Figura 7: Gráfico da Projeção de Emissões Totais de Material Particulado no Brasil por tonelada/ano para cada tipo de veículo automotor (gás natural veicular (GNV), caminhões pesados, caminhões médios, caminhões leves, ônibus rodoviários, ônibus urbanos, veículos comerciais leves (roxo), veículos de passeio (vermelho)).

Fonte: MMA, 2010

Em contrapartida, em Minas Gerais, a frota de caminhões aumentou 16,6 % entre os anos 1999 a 2005 (QUADRO 8). Segundo a PRODEMGE (2010), a frota de veículos, somando todas as categorias, apresentou um acréscimo de 31% no estado, o que demonstra que mesmo levando em consideração a melhora da tecnologia na fabricação e manutenção dos veículos, ainda assim é um índice elevado, quando observado o aumento na mesma proporção de emissões veiculares.

Na RMVA, segundo IBGE (2010) nos últimos dez anos, a frota de veículos apresentou um acréscimo de 51 %, mais especificamente nos municípios de Ipatinga e Coronel Fabriciano. O aumento foi em média de 3.948 novos veículos por ano. Segundo estes dados, é consolidada a perspectiva de que as emissões de origem antropogênicas de poluentes atmosféricos não são decorrentes apenas das indústrias da região.

De acordo com Amato *et al*, (2009) e Querol *et al* (2007) o tráfego de veículos ocasiona a ressuspensão da poeira do solo, que dependendo das condições meteorológicas e velocidade do vento, permanece tempo suficiente no ar para que haja a incorporação dos poluentes, já emitidos pelos mesmos, formam partículas em suspensão, aumentando assim a

probabilidade de reagirem com outros constituintes atmosféricos e conseqüentemente potencializam a formação de material particulado de tamanho aerodinâmico abaixo de 10 µm.

Quadro 8: Evolução Histórica da Frota de Veículos, por categoria em Minas Gerais 1999/2005.

<i>Categoria</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>	<i>2001</i>	<i>2003</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>
Automóvel	2.012.348	2.108.229	2.206.465	2.315.572	2.435.443	2.550.864	2.668.963
Camioneta	313.831	320.230	99.685	100.939	104.147	108.927	115.052
Caminhonete	-	-	276.265	291.398	306.242	321.321	341.347
Caminhão	165.022	170.130	175.157	180.041	184.353	190.139	197.965
Ônibus	31.790	32.931	34.606	36.073	37.245	38.811	40.741
Moto	417.003	456.723	513.859	581.306	656.361	736.202	830.379
Outros	144.702	150.185	168.196	186.631	204.777	225.600	248.679
Total	3.084.696	3.255.948	3.474.233	3.691.960	3.928.568	4.171.864	4.463.126

Fonte: Modificado de PRODEMGE, 2010

2.1.6 Efeitos do Material Particulado sobre a Sociedade e o Meio Ambiente

Os efeitos da poluição atmosférica sobre o meio ambiente e a saúde humana se manifestam globalmente e em escala local e, em especial nos centros urbanos. Dentre os principais poluentes atmosféricos, o material particulado se caracteriza como a mais evidente e visível forma de poluição do ar (MAGALHÃES, 2005).

O primeiro efeito visível da poluição atmosférica sobre os materiais e a vegetação é a deposição de partículas, principalmente poeira e fumaça. Nas edificações e monumentos, as partículas depositadas provocam descoloração, erosão, corrosão e decomposição de materiais de construção (MAGALHÃES, 2005).

As condições de visibilidade na atmosfera são influenciadas pelas partículas em suspensão, podendo, dessa forma, afetar inclusive o clima, absorvendo as radiações solares e diminuindo sua incidência sobre a superfície terrestre (DAVIS, 2000).

O fenômeno da falta de visibilidade em ambientes densamente urbanizados, tem sido observado no município de Coronel Fabriciano, principalmente nas proximidades das vias de tráfego intenso de veículos.

Atualmente, gases e partículas ultrafinas provenientes da queima parcial de combustíveis fósseis em veículos automotivos, principalmente o diesel, são os fatores responsáveis pela maior prevalência de asma brônquica e outras doenças alérgicas em populações residentes em áreas mais poluídas (PANDYA *et al*, 2002).

Segundo MAGALHÃES (2005), essas partículas inaláveis finas, pelo seu tamanho diminuto (menores que $2,5 \mu\text{m}$) não se sedimentam facilmente como as partículas inaláveis grossas que são filtradas nos pêlos do nariz ou retidas na garganta, ficando mais tempo no ar e vulneráveis à inalação humana. Desta forma, estas chegam aos brônquios e aos alvéolos pulmonares (FIGURA 8).

Nas vias aéreas superiores existem mecanismos naturais de expulsão do particulado cuja eficiência é diferenciada entre pessoas saudáveis e com problemas respiratórios (MAGALHÃES, 2005).

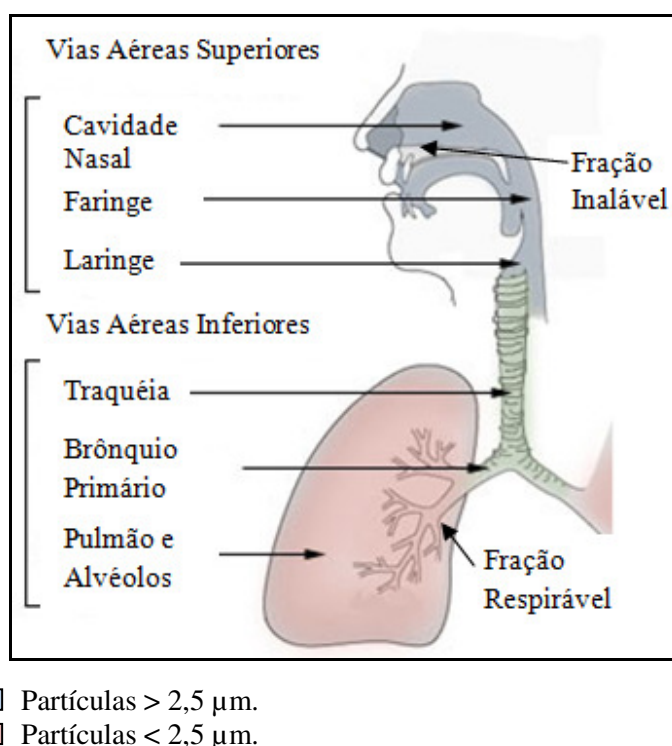


Figura 8: Sistema Respiratório e seus Locais de Deposição de Partículas em Função do Tamanho.
Fonte: O Corpo Humano, 2011 (adaptado)

No Brasil, os combustíveis fósseis empregados pelas usinas siderúrgicas e termoelétricas acarretam a emissão de partículas, as quais são enriquecidas em espécies químicas altamente tóxicas. Essas partículas podem causar sérios problemas ao meio

ambiente e ao ser humano por permanecerem durante um longo período na atmosfera e por apresentarem em sua superfície concentrações elevadas de elementos como níquel (Ni), cromo (Cr), chumbo (Pb), cádmio (Cd), ferro (Fe), manganês (Mn), entre outros (COSTA, 2007).

Os poluentes gasosos e o material particulado inalável gerados a partir da queima de combustíveis fósseis apresentam efeitos diretos sobre o sistema respiratório humano, em especial, de crianças e idosos. Esses efeitos têm sido medidos através de aumentos nos atendimentos de pronto-socorro (BRAGA, 1999), instalações hospitalares (LIN, 1999; PEREIRA, 1998) e mortalidade (SALDIVA, 1995; SCHWARTZ, 1994; TOULOUMI, 1997).

Na RMVA, além do monitoramento realizado pelas indústrias para o cumprimento de exigências ambientais pelos órgãos públicos responsáveis, a poluição atmosférica já foi avaliada por meio do biomonitoramento em epífitas, onde foram detectados elevados níveis de acumulação nestes organismos de elementos inorgânicos, dentre eles Al, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Cr, Zn, V e Th (VEADO *et al*, 2009). Neste mesmo estudo foi recomendado o estudo do teor de elementos tóxicos nas partículas totais em suspensão (PTS) conforme resolução CONAMA n°03/1990, bem como um estudo epidemiológico, principalmente por doenças respiratórias na RMVA. Tais avaliações são as mesmas realizadas pelo presente projeto, haja vista que até então não é conhecido nenhum estudo que relacione a poluição atmosférica na RMVA e as doenças respiratórias que ocorrem na população.

No município de Ipatinga foi realizado também um estudo que estimou a concentração de material particulado em suspensão na atmosfera por meio da modelagem de redes neurais artificiais. Neste estudo foi constatado que os valores estimados foram próximos aos valores reais nas estações de monitoramento Bom Retiro, Bairro das Águas e Cariru do que nas estações do Novo Cruzeiro, Castelo e Escritório Central. Em termos da análise de erro percentual, os resultados obtidos na estação do bairro Novo Cruzeiro foram os mais discrepantes enquanto que no Bairro das Águas, os desejáveis (LIMA, 2006). O estudo de Lima (2006) recomendou a implantação de uma rede de monitoramento contínuo de material particulado da qualidade do ar associada a uma estação meteorológica também contínua, a qual foi instalada no ano de 2009.

Foi estimado pela OMS que em cada ano dois milhões de pessoas morrem devido à poluição atmosférica, sobretudo a de origem antropogênica. Indústria, transportes, queimadas e incêndios florestais, bem como alguns processos naturais, lançam para o ar que será inalado pela população, partículas finas, dióxido de enxofre, monóxido de carbono,

ozônio, entre muitos outros poluentes. Mesmo em baixas concentrações, esta mistura provoca doenças cardiorrespiratórias. Como já descrito e salientado por Ferreira (2009), as partículas muito finas são as mais perigosas por se alojarem diretamente nos pulmões.

Segundo Turn *et al.* (1997), as queimadas emitem poluentes que atuam não só localmente como também podem afetar regiões distantes de onde foram originadas, através do transporte a longas distâncias, o que aumenta as proporções do impacto sobre os indivíduos.

As doenças respiratórias de vias aéreas inferiores, tanto as infecciosas quanto as inflamatórias como a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), têm sido alvo de investigação. Entretanto, as infecções de vias aéreas superiores (IVAS) têm merecido pouca atenção, apesar de serem doenças agudas (SCHWARTZ, 1996).

Segundo Dutra *et al.* (2010) foi possível observar que a RMVA apresentou taxas piores de morbidade, mortalidade e letalidade por doenças do aparelho respiratório em idosos, quando comparadas às mesmas da Macrorregião Leste de Saúde. Além disso, observou-se aumento expressivo destas taxas nos últimos dois anos do estudo, especialmente no ano de 2006. Dutra sugere que os fatores envolvidos no aumento do número de internações e óbitos devem ser investigados.

Em Itabira/MG foi realizado um estudo por Braga *et al.* (2007) sobre a associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares. A Serra do Espinhaço, onde se localiza este município, é uma região onde existem grandes jazidas de minério de ferro que são extraídas em lavra mecanizada a céu aberto, o que provoca grande emissão de material particulado para atmosfera através de escavação, explosão, ressuspensão do material pela movimentação de escavadeiras, tratores e caminhões. Segundo os autores, esta região é formada por uma sucessão de colinas e vales, o que potencializa a piora da qualidade do ar na região, aumentando assim os atendimentos de pronto-socorro por doenças respiratórias entre crianças e adolescentes e por doenças cardiovasculares entre adultos.

Assim, como a vegetação, os seres humanos precisam de alguns poucos elementos e em doses muito pequenas, tão pequenas que chamamos de micronutrientes, como é o caso do zinco (Zn), magnésio (Mg), cobalto (Co) e ferro (Fe). Estes elementos tornam-se tóxicos e perigosos à saúde humana quando ultrapassadas algumas concentrações limite. Ao contrário de outros elementos, o chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e o arsênio (As), não existem naturalmente em nenhum organismo, tão pouco desempenham funções nutricionais ou bioquímicas nos seres humanos, ou seja, a presença desses elementos no organismo é prejudicial em qualquer concentração (GREENPEACE, 2007 apud COSTA, 2007).

Martins *et al.* (2002) investigou a relação entre poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. Os resultados obtidos apresentaram uma associação entre SO₂ e O₃ e essas enfermidades, porém na análise conjunta verificou-se que seu efeito não é independente. No estudo, SO₂ foi o único poluente atmosférico que nunca ultrapassou os limites aceitáveis de qualidade do ar. Mesmo assim, ele esteve associado aos atendimentos por pneumonia ou gripe em idosos. O SO₂ é um conhecido irritante respiratório, que causa decréscimo da função pulmonar e afeta principalmente pessoas com doenças respiratórias prévias. Atualmente, as emissões industriais de SO₂ estão controladas na cidade de São Paulo.

A poluição atmosférica, além de ambiental, é um problema social, que pode ser resolvido através da implantação de tecnologias limpas avançadas em indústrias, projetos para diminuição do tráfego de veículos e uma contínua e efetiva educação ambiental para a comunidade da região.

Na RMVA, principalmente no município de Ipatinga, recentemente a questão da poluição atmosférica, mais precisamente em termos da visibilidade da deposição do material particulado, tem causado discussão entre atores da sociedade como representantes de associações de bairros, vereadores, organizações não governamentais, siderúrgica e ministério público do meio ambiente. Tais ações podem ser visualizadas em publicações de circulação diária (e.g. EZEQUIEL, 2011; FERREIRA 2011; OLIVEIRA, 2011). Em favor da diminuição das emissões, a indústria siderúrgica do município de Ipatinga (USIMINAS) tem até o ano de 2013 para reformar a coqueria II e construir a coqueria III dentro das normas ambientais estabelecidas pelo Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) firmado junto ao Ministério Público de Meio Ambiente do município (MPMG, 2009).

Com relação ao tráfego de veículos, em curto prazo, tanto no município de Ipatinga quanto em Coronel Fabriciano, não se tem informação à cerca de projetos para a minimização das emissões.

Em ambos os municípios estudados, até o presente momento, não foram apresentados estudos a cerca dos efeitos das emissões atmosféricas nos municípios, relacionando com a quantidade de entradas nos hospitais por doenças respiratórias.

3 OBJETIVOS

O projeto teve como objetivo principal:

- Monitorar a qualidade do ar na Região Metropolitana do Vale do Aço, mais especificamente nos municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga.

Objetivos Específicos:

- Mensurar a quantidade de material particulado, em termos de partículas totais em suspensão (PTS) partículas inaláveis menores que 10 μm (MP_{10}) e dióxido de enxofre (SO_2), presentes no aerossol atmosférico dos municípios de Ipatinga e Coronel Fabriciano;
- Classificar a qualidade do ar dos municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga de acordo com a Resolução CONAMA nº03 de 1990 com base no Índice de Qualidade do Ar (IQAR).
- Caracterizar e quantificar os diferentes tipos de elementos químicos nas partículas totais em suspensão (PTS) e inaláveis (MP_{10}) dos municípios de Ipatinga e Coronel Fabriciano;
- Avaliar a relação entre a quantidade de PTS, MP_{10} e SO_2 com o número de atendimentos por doenças respiratórias num hospital do município de Coronel Fabriciano.

4 JUSTIFICATIVA

A poluição atmosférica ocasionada pelo material particulado em termos de partículas totais em suspensão (PTS) é procedente principalmente da indústria siderúrgica integrada a coque, proveniente das operações de manuseio, estocagem e transporte de matérias-primas, bem como da queima de combustíveis fósseis utilizados nas etapas do processo produtivo, tendo como um dos gases de efeito estufa o SO₂. O material particulado gerado e SO₂ se caracterizam como poluentes primários que em contato com substâncias existentes naturalmente do ambiente, provocam reações formando outros compostos químicos chamados poluentes secundários, os quais podem ocasionar a degradação do solo, poluição das águas, alteração das cadeias alimentares, destruição de florestas e lavouras, bem como o ataque à estruturas metálicas, monumentos históricos e edificações. Vale lembrar que na composição do material particulado gerado pelas indústrias siderúrgicas e de transformação, queimadas e tráfego de veículos, existem além dos gases de efeito estufa como CO e CO₂, elementos na forma de óxidos e elementos traço, os quais também podem ser prejudiciais ao meio ambiente e saúde humana (QUEROL *et al*, 1999).

O material particulado, em termos de partículas inaláveis, gera um risco crescente à saúde humana, pois estas podem ser respiradas e alojadas na laringe e alvéolos pulmonares. Logo, a inspiração de tais partículas pode provocar doenças respiratórias em idosos e crianças, doenças cardiovasculares em adultos, bem como o desenvolvimento de alergias e câncer. Desta forma, é de grande importância monitorar a qualidade do ar e identificar as possíveis fontes geradoras de poluição atmosférica, para a compreensão e obtenção de dados bases para planos de ação na prevenção de tais doenças.

O atendimento da população por doenças respiratórias gera um gasto financeiro para o município. Coronel Fabriciano, em particular, não possui como fonte de arrecadação em seu produto interno bruto (PIB) grandes siderúrgicas da RMVA, embora as mesmas sejam possíveis fontes de poluição atmosférica deste município. Logo, parte dos gastos de Coronel Fabriciano com a saúde pública pode ser em decorrência de atividades industriais que não geram receita para o mesmo. Desta forma, a escolha de realizar o monitoramento da qualidade do ar no município de Coronel Fabriciano, torna-se importante não apenas para a compreensão das relações entre poluição atmosférica e saúde pública, mas também para dimensionarem-se os custos que este município apresenta sem uma arrecadação equivalente.

Assim como Coronel Fabriciano, o município de Ipatinga apresenta grande importância na avaliação da qualidade do ar, pois além da presença de uma siderúrgica na

cidade, existe uma porção significativa de micro e pequenas empresas que atuam em áreas relacionadas à siderurgia, cimento, colchões, tecidos, cosméticos, construção civil, peças mecânicas entre outras. As mesmas compõem sua área urbana e podem apresentar um potencial para ocasionar a piora da qualidade do ar em Ipatinga e municípios vizinhos, além do crescente tráfego de veículos.

Apesar da extensa área urbana de Ipatinga em 1998, foi criada a Área de Preservação Ambiental (APA) Ipanema como forma de conservação das nascentes do Ribeirão Ipanema por meio da preservação da vegetação no município (BRASIL, 1997). De acordo com o artigo 5º da lei nº 1.535 de 26 de agosto de 1997 que sancionou a APA Ipanema, as atividades industriais potencialmente poluidoras, capazes de afetar o sistema fluvial e a qualidade do ar serão restringidas ou não permitidas na mesma (BRASIL, 1997).

A APA-Ipanema ocupa 55% do território de Ipatinga, abrangendo toda a área rural do município e toda a extensão do ribeirão. Nesse local, apesar da intensa degradação ambiental, ainda existem porções de Mata Atlântica que abrigam exemplares de fauna e flora típicas deste bioma. Portanto, o monitoramento atmosférico em Ipatinga se torna cada vez mais necessário, uma vez que o material particulado advindo de fontes naturais e antropogênicas, tais como queima da biomassa e combustíveis fósseis através de veículos automotores e indústria siderúrgica, podem se deslocar através do ar, em direção à área rural de Ipatinga, de modo a causar danos à vegetação e contaminação do solo da APA.

Normalmente, grandes centros urbanos não oferecem condições favoráveis para a qualidade de vida ideal, pois o contexto geral vivido em seu cotidiano é bastante perturbado com problemas de trânsito intenso; rios, solos e ar poluídos; escassez de água potável e tantos outros problemas que vem sendo enfrentados (COSTA, 2007).

A cidade de Ipatinga, apesar de ter uma fonte de arrecadação de seu produto interno bruto (PIB) através da USIMINAS, deve ter a qualidade do ar condizente às suas características enquanto cidade habitável, ou seja, concentração em termos de material particulado e dióxido de enxofre dentro das normas estabelecidas para tal, de forma a não causar efeitos deletérios à saúde humana, vegetal e animal. Ipatinga apresenta um potencial enorme de crescimento populacional, industrial e prestação de serviços, o que pode ser prejudicial à qualidade atmosférica do município se não forem tomadas medidas adequadas cabíveis à preservação da qualidade do ar.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

A área estudada está localizada nos núcleos urbanos dos municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga. Ambos os municípios, junto com o município de Timóteo, compõem a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA). A RMVA é uma região de potencial crescimento econômico, social e ambiental, por existir importantes indústrias e universidades. O desenvolvimento tecnológico, a construção e ampliação de indústrias na região beneficiam o crescimento econômico gerando emprego e renda, entretanto percebe-se a ocorrência da superpopulação, que quando não controlada, pode ser prejudicial à sociedade e ao meio ambiente, principalmente por estar associada a elevada emissão de poluentes atmosféricos por meio das indústrias (fontes estacionárias) e elevado tráfego de veículos (fontes móveis). Vale lembrar que com o crescimento das três cidades que compõem a região, as fontes de emissões tanto estacionárias quanto móveis tendem a aumentar, pois cresce a demanda da construção civil e produção em diversos setores da indústria local.

A RMVA no leste de Minas Gerais está numa posição geográfica estratégica, interligando-se com os demais municípios na mesorregião do Vale do Aço e com os principais centros do país, como Belo Horizonte, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia através das rodovias BR-381 e BR-458 e da estrada de Ferro Vitória-Minas, além de rotas aéreas (MURTA, 2004).

O município de Coronel Fabriciano localiza-se a 202 km de Belo Horizonte, a capital do Estado, e a 1.424 km de Brasília, a capital federal. Possui cerca de 103.797 habitantes, e sua extensão territorial é de 221 km² o que corresponde a uma densidade populacional de 469,67 habitantes.km² (IBGE, 2010). O produto interno bruto (PIB) per capita de Cel. Fabriciano é de 6.339,61 reais (IBGE, 2010), sendo que a base econômica é o comércio e o município tem o PIB mais baixo dentro os que compõem a RMVA.

O município de Ipatinga localiza-se na região em que o Rio Piracicaba deságua no Rio Doce, a 217 km de Belo Horizonte. Possui 241.720 habitantes, sua extensão territorial é de 165 km² o que corresponde a 1465 habitantes.km² (IBGE, 2010). O produto interno bruto per capita de Ipatinga é de 25.577,18 reais (IBGE, 2010), quatro vezes maior do que de Cel. Fabriciano, pois Ipatinga possui uma indústria siderúrgica de grande porte o que eleva seu PIB.

É interessante salientar que os dois municípios são próximos e coexistem entre si, haja vista que muitos cidadãos moradores de Coronel Fabriciano trabalham em Ipatinga e vice versa.

5.1.1 Aspectos Geográficos e Geológicos

A qualidade do ar da cidade não depende somente da quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrá-los ou dispersá-los. Por entender-se que o controle dos processos climáticos organiza-se dos níveis escalares superiores para os inferiores, assume-se que os fenômenos de dispersão e remoção dos poluentes sejam comandados pelas feições regionais da atmosfera (estado, velocidade e direção dos ventos e precipitação), pelos aspectos locais do clima urbano (ilhas de calor e circulação de ar) em consonância com as características da superfície urbana (topografia natural e edificada interferindo no campo de vento; ruas e prédios, usos do solo) (TORRES, 2005). Desta forma, para a compreensão da poluição atmosférica de um local é necessário considerar as suas características climáticas, topográficas, vegetação e solo, ou seja, suas características geográficas e geológicas.

A RMVA está localizada no domínio dos Mares de Morros, sua topografia é de 55% da área plana, ondulado 30% e serras 15%, sendo que 80 % do relevo de serra se encontra no município de Coronel Fabriciano. As cotas altimétricas variam de 220 m e as drenagens que recortam o relevo são alongadas e encaixadas em forma de “V” (MURTA, 2004). Por ser uma região de relevo ondulado em processo de urbanização é possível a ocorrência do fenômeno da Ilha de Calor Urbana.

A Ilha de Calor Urbana (ICU) é formada devido à intensificação da temperatura nas zonas urbanizadas, onde estas sofrem bastantes modificações antropogênicas, em comparação com as zonas periféricas ou rurais, conduzindo a formação de um gradiente horizontal de temperatura (TAYT-SOHN *et al*, 2008). Portanto, essa condição dificulta a evaporação e reduz o poder de dispersão dos poluentes atmosféricos gerados (TEZA *et al*, 2005).

Na atmosfera das zonas centrais da cidade é muito maior a concentração de gases e materiais particulados, lançados pelos automóveis e pelas indústrias, responsável por um efeito estufa localizado, que colabora para aumentar a retenção de calor. A produção de calor

advindo dos veículos automotores, somada ao calor irradiado pelos edifícios, acentua o fenômeno da ilha de calor (LOMBARDO, 1985).

A elevação da temperatura nessas áreas centrais da mancha urbana facilita ascensão do ar, quando não há inversão térmica, formando uma zona de baixa pressão. Isso faz com que, os ventos soprem, pelo menos durante o dia, para essa região central, levando muitas vezes, maiores quantidades de poluentes. Assim, sobre a zona central da mancha urbana forma-se uma "cúpula" de ar pesadamente poluído (LOMBARDO, 1985).

Dentre os principais fatores que controlam o mecanismo de formação e desintensificação da ICU, destacam-se: a caracterização da cidade (corpos d'água, vegetação, uso do solo, arquitetura e fontes antropogênicas), a localização geográfica, a topografia, a climatologia urbana, a sazonalidade e as condições sinóticas da atmosfera (OKE, 1981; TEZA *et al*, 2005).

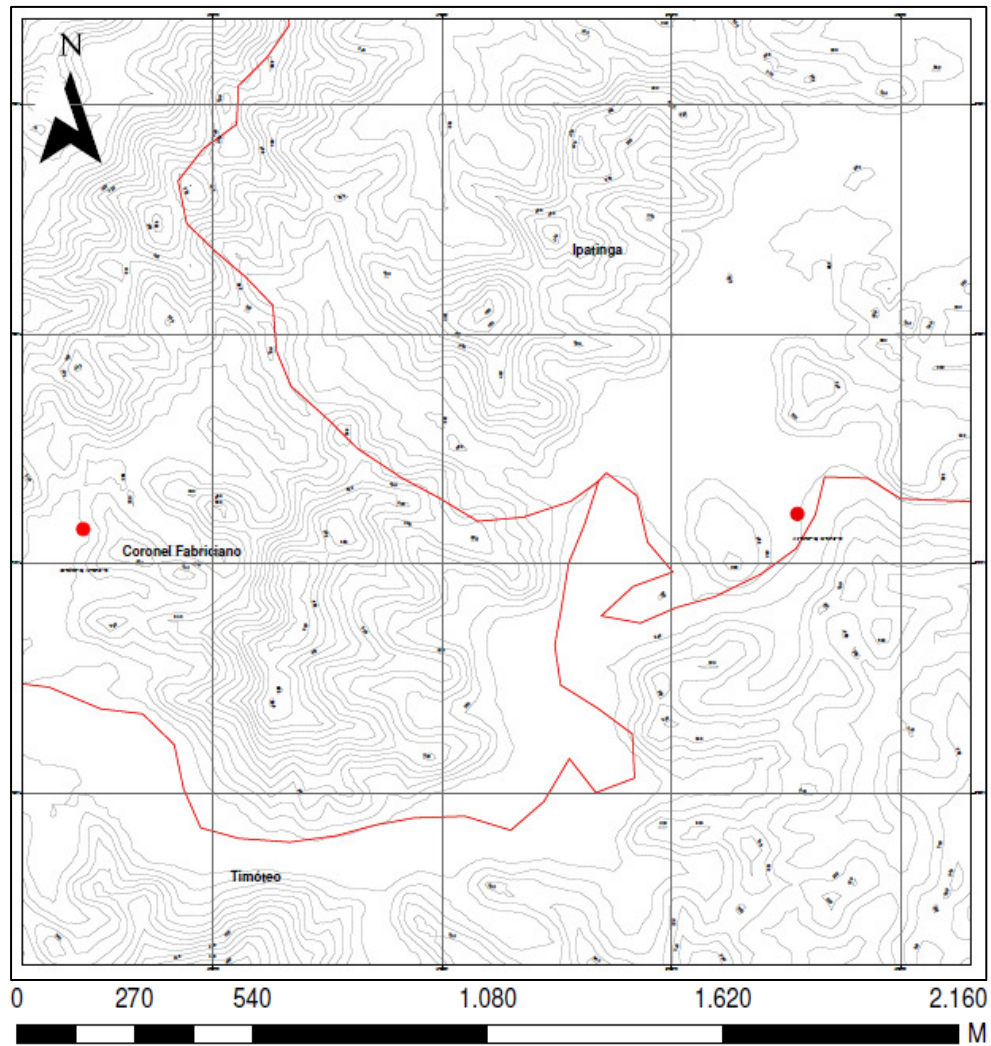
O fenômeno ICU não ocorre apenas em metrópoles brasileiras, ocorre necessariamente em áreas urbanas. Esse problema ambiental é consequência de um planejamento urbano deficiente ou inexistente, que se desenvolve a partir de pressupostos que poderiam ser mitigados com ações tomadas previamente ao assentamento da população (PINHEIRO, 2008).

Na área de estudo, este fenômeno deve ocorrer principalmente no município de Coronel Fabriciano, pois o mesmo além de possuir uma topografia favorável, com maior frequência de mares de morros em relação a Ipatinga (FIG. 9 e 10), apresenta uma ocupação urbana desordenada, pois não possuía no princípio de sua fundação um plano diretor coerente com seus desníveis topográficos, dificultando assim a dispersão dos poluentes.

O solo da região é caracterizado por formações rochosas de origem granítica havendo a presença de latossolos (MURTA, 2004).

O clima registrado na área da RMVA está inserido na zona tropical quente e úmida que se submete a forte radiação solar. A precipitação máxima atinge 1000 a 1300 mm no trimestre de novembro a janeiro. O período mais seco compreende os meses de junho a agosto com uma precipitação total de 200 mm. O clima é caracterizado por ser um clima tropical subquente e subseco, apresentando uma temperatura média anual em torno de 23°C (MURTA, 2004). Mais especificamente em Coronel Fabriciano o clima é caracterizado por um inverno ameno e seco e um verão quente e chuvoso. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2009), os meses com a maior e menor precipitação média são julho (14 mm) e dezembro (257,1mm), respectivamente. A média anual é de 1254,9 mm. Quanto à temperatura do ar, as médias mínimas são de 15,9 °C e máximas de 27,2 °C. No

município de Ipatinga, os índices de umidade ficam entre 78,2% no inverno a 84% no verão. A média anual de precipitações é de 1260 mm (MURTA, 2004).



Legenda:

- Limite de municípios
- Curvas de Nível
- Pontos de amostragem

Figura 9: Carta topográfica com curvas de nível da localização da área de estudo na RMVA
Fonte: IBGE, 2011

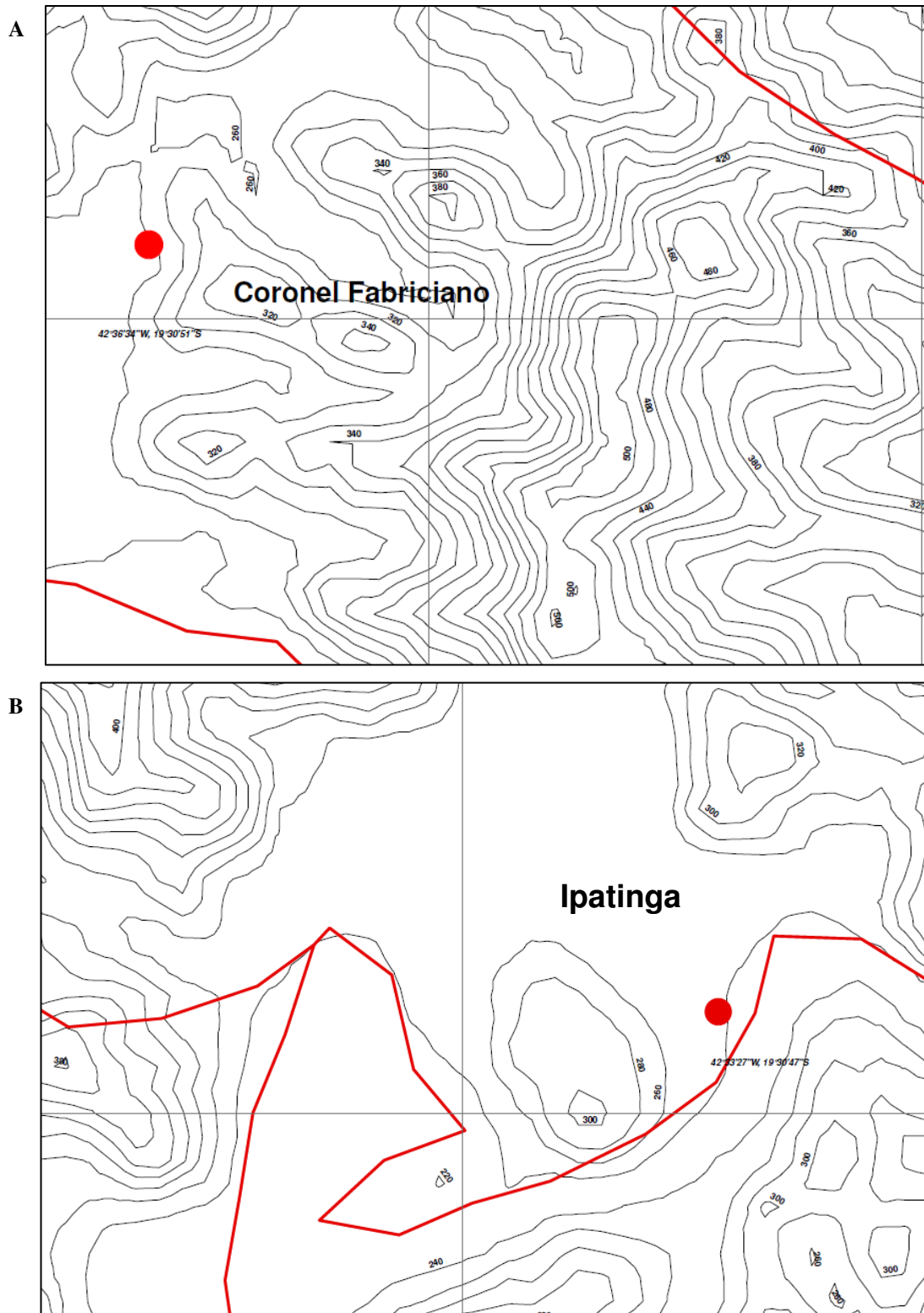


Figura 10: Carta topográfica com curvas de nível aumentada nos pontos de amostragem dos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B), visualizando altura dos topos de morro.
Fonte: IBGE, 2011.

A direção do vento na Região Metropolitana do Vale do Aço tem predominância entre as coordenadas sul-sudeste, sudeste e leste-sudeste, portanto o ar advindo da RMVA tem a tendência de se deslocar em direção ao município circunvizinho de Caratinga (MURTA, 2004).

A vegetação presente na RMVA, pertence ao domínio florestal de Mata Atlântica, sendo caracterizada pela floresta estacional semidecidual, que se desenvolvem em áreas onde dominam dois períodos bem distintos, ou seja, um chuvoso e outro seco. A vegetação anteriormente formada por tipos arbóreos de médio e grande porte, atualmente encontra-se descaracterizada sendo substituída por pastagens e capoeiras. Alguns vestígios desta vegetação natural são encontrados em áreas de difícil acesso, principalmente nos topos dos morros (MURTA, 2004).

5.1.2 Fontes Potencialmente Poluidoras

O município de Coronel Fabriciano é o maior em extensão territorial entre os outros dois que compõem a RMVA, mas isto não o torna o maior poluidor. Apesar de possuir várias empresas de pequeno porte, não existem no mesmo, indústrias de grande porte como ocorre nos municípios de Timóteo (APERAM) e Ipatinga (Usiminas). Tais indústrias apresentam maior potencial de impacto poluidor da atmosfera na RMVA.

As principais fontes de poluição estacionárias deste município são de caráter pontual, ou seja, os impactos causados são próximos às fontes de emissão. As principais fontes de emissão estacionárias no município de Coronel Fabriciano são marmorarias, madeireiras, fábrica de móveis, indústrias de artigos de borracha e plástico, de alimentos e bebidas, depósitos de material de construção, oficinas de lanternagem e pintura de veículos, ferros velho, indústrias de produtos de minerais não-metálicos, produtos químicos (cosméticos) indústrias de manilhas e materiais em aço, fabricação de produtos de metal para máquinas e equipamentos, além de borracharias, armazéns e empresas de transportes rodoviários.

A principal fonte de emissão de poluente móvel neste município é o intenso tráfego de veículos. Em Coronel Fabriciano existe a Avenida Presidente Tancredo de Almeida Neves que corta o município desde a sua entrada, limítrofe com o município de Timóteo, até a sua saída no limite com o município de Ipatinga. Esta avenida fazia parte da BR-381, mas vem se descaracterizando como rodovia, por ser margeada por comércio e escolas. Esta

descharacterização se deve também pela implantação, no ano de 2004, do anel rodoviário, desvio que teve como intuito facilitar o acesso de veículos ao município de Ipatinga e minimizar o fluxo dos mesmos em Coronel Fabriciano, possibilitando assim a otimização de todo o fluxo de carros na BR-381 neste perímetro. O fluxo na Avenida Presidente Tancredo de Almeida Neves gerou ao longo do tempo alguns transtornos devido a sua capacidade de trânsito (VAZ, 2008).

A BR-381, a principal rodovia do leste mineiro é de grande impacto econômico, liga duas das mais importantes cidades do Brasil: Belo Horizonte a São Paulo, percorrendo um traçado diagonal numa extensão de 563,2 quilômetros neste trecho, assim como o trecho que liga Ipatinga a Governador Valadares e Bahia. Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG) (2010), 43% da economia mineira, 20% de toda a produção do parque industrial de Minas Gerais e de São Paulo, cerca de 60% da produção nacional de ferro-gusa e aproximadamente três milhões de toneladas da produção agrícola mineira passam pela BR-381, representando uma circulação média de mais de quinze mil veículos entre ônibus, caminhões e automóveis por dia. Além disso, 25% da população mineira vivem e trabalham em sua área de influência (VAZ, 2008).

Portanto, o município de Coronel Fabriciano, mesmo com o anel rodoviário, pode sofrer um impacto significativo em decorrência da existência da BR-381, mesmo porque a Avenida Presidente Tancredo de Almeida Neves é a principal via que liga a cidade de Timóteo ao município de Ipatinga. Ressalta-se que as três cidades são muito próximas e o deslocamento de veículos entre elas é intenso, seja a trabalho, transporte de cargas ou lazer, e se faz principalmente por esta avenida.

A frota de veículos nos três principais municípios da RMVA é de aproximadamente a 29.320, 30.073 e 93.723 veículos para Timóteo, Coronel Fabriciano e Ipatinga respectivamente, distribuídos entre carros de passeio, caminhões, tratores, caminhonetes, micro-ônibus, motos, motonetas e ônibus (IBGE, 2009). Boa parte destes e de veículos de outros municípios circulam pela Avenida Presidente Tancredo de Almeida Neves o que proporciona uma média de circulação de 7.133 veículos por hora em horários de maior deslocamento (Esta pesquisa, 2010). Enquanto que em Ipatinga o tráfego de veículos além de ser intenso na BR-381 que corta a cidade, é também constante dentro dos bairros. Somente dentro do bairro Bom Retiro em Ipatinga, numa de suas rotatórias circulam em média 4.845 veículos por hora em horário de maior deslocamento. Este intenso tráfego de veículos pode contaminar a atmosfera de forma a causar problemas respiratórios crônicos à população local entre outros impactos.

5.2 Pontos de Amostragem

A caracterização da poluição atmosférica em termos de partículas totais em suspensão (PTS), material particulado inalável (MP₁₀), concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e concentração de elementos, foi realizada em um ponto específico em cada município de Coronel Fabriciano (FAB) e Ipatinga (IPA) – MG, bem como suas possíveis fontes de emissão.

O monitoramento foi realizado através da instalação temporária de dois kits de amostradores ativos, amostrador de grande volume (AGV – HI-VOL), durante o período de maio a novembro de 2010.

Um dos kits foi instalado em FAB e outro em IPA, dentro da área do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais - UnilesteMG, no campus do bairro Universitário e no campus do bairro Bom Retiro, respectivamente. A escolha destes pontos de amostragem, foi devido a presença dos mesmos dentro da esfera de influência das possíveis fontes de emissão, tais como as indústrias e tráfego de veículos. Além disso os locais escolhidos contam com segurança vinte e quatro horas e acesso facilitado.

O ponto de amostragem no campus Universitário (FAB) está localizado entre o Bloco V e um dos estacionamentos de veículos do UnilesteMG. O mesmo se localiza a noroeste do centro comercial do município, a norte-nordeste da Siderúrgica APERAM e a oeste do ponto de amostragem no campus Bom Retiro (IPA) e da USIMINAS (FIGURA 11).

O ponto IPA e a estação da Rede Automática de Monitoramento contínuo da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM) Bom Retiro estão a sudoeste do centro comercial do município, a sul-sudeste da siderúrgica USIMINAS e a leste do ponto de amostragem FAB, estando sujeito a uma menor influência de emissões antropogênicas em relação ao ponto FAB, pois a sul do ponto IPA e da RAMQAM está localizado o Rio Piracicaba e uma grande porção da zona de amortecimento do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) (FIGURA 11).

Os pontos de amostragem FAB e IPA distam entre si em 5,42 Km.

O Rio Piracicaba deságua no Rio Doce a cinco quilômetros do ponto de amostragem IPA.

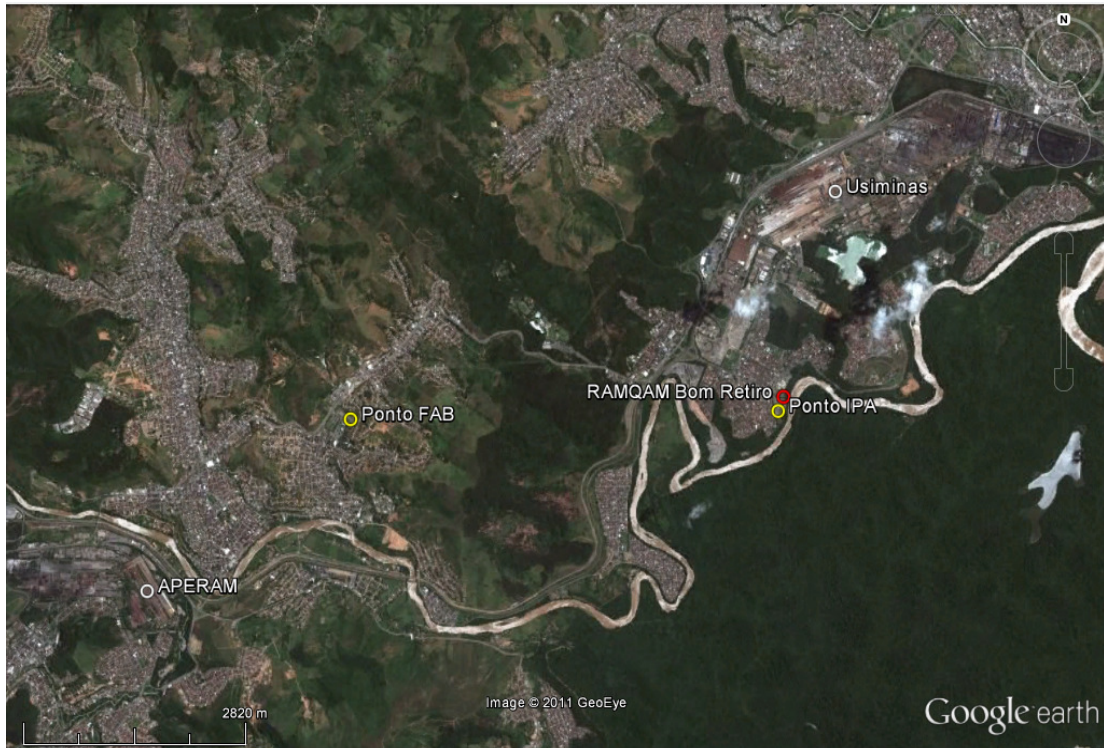


Figura 11: Identificação das siderúrgicas, pontos de amostragens e RAMQARM envolvidos no projeto. A oeste se localiza a indústria Siderúrgica APERAM – Timóteo. A leste a Siderúrgica USIMINAS-Ipatinga.

Fonte: Google Earth, 2010

As coordenadas para localização dos amostradores no ponto de amostragem em FAB (FIG. 12) são latitude de $19^{\circ}30'51.27''S$ e longitude de $42^{\circ}36'34.08''O$ e elevação de altitude de 258 m acima do nível do mar. A avenida Presidente Tancredo de Almeida Neves está a 262,8 metros de distância do ponto de amostragem.

A localização do ponto de amostragem em IPA (FIG. 13) no bairro Bom Retiro era latitude de $19^{\circ}30'37,9''S$, longitude de $42^{\circ}33'35.9''O$ e elevação de 252 m de altitude acima do nível do mar. A Estação da RAMQARM se localiza numa latitude de $19^{\circ}30'41.79''S$ e longitude de $42^{\circ}33'25.33''O$ dentro das instalações da Unidade II do Hospital Márcio Cunha. Os resultados obtidos no ponto Ipatinga foram comparados e validados com os dados obtidos na RAMQAM, na estação telemétrica do bairro Bom Retiro, os quais foram disponibilizados pela Promotoria Pública de Meio Ambiente – MG (PPMAMG).

O ponto de amostragem Ipatinga está localizado a 183 metros da estação telemétrica da RAMQAM Bom Retiro.



Figura 12: Localização do ponto de amostragem FAB no UnilesteMG campus Universitário e a Av. Tancredo de Almeida Neves.
Fonte: Google Earth, 2010



Figura 13: Localização do ponto de amostragem Ipatinga no UnilesteMG campus Bom Retiro e estação da RAMQAM dentro das instalações da Unidade II do Hospital Márcio Cunha.
Fonte: Google Earth, 2010

5.3 Metodologia de Amostragem e Análises

A coleta das amostras para análise do material particulado e gás no aerossol atmosférico nos pontos de coleta nos *campi* do UnilesteMG foi realizada no período de maio a novembro de 2010 para PTS e MP₁₀ e no período de junho a novembro do mesmo ano para concentração de SO₂.

As coletas consistiram numa média de três amostras semanais de cada parâmetro nos meses de maio, junho, julho e agosto. Nos meses de setembro, outubro e novembro, as amostras foram coletadas uma vez em cada semana, ambas as modalidades obtiveram 24 horas de exposição (QUADRO 9). A coleta das amostras foi realizada nos dois pontos de amostragem simultaneamente.

Nas semanas em que não houve amostragens, nos meses de maio a agosto, foi devido a problemas técnicos no motor dos aparelhos, sendo esta a justificativa para a mudança na periodicidade das amostragens a partir do mês de setembro, pois quanto mais frequentes foram as amostragens maior foi a necessidade de manutenção nos motores.

A qualidade do ar dos municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga foi classificada de acordo com a Resolução CONAMA nº 03 de 1990, através do Índice de Qualidade do Ar (IQAR) em BOA, REGULAR e INADEQUADA, através dos dados de material particulado e SO₂ obtidos pelos métodos HI-VOL e RAMQAM. Em Ipatinga a qualidade do ar foi classificada utilizando os dois métodos. Estes dados foram selecionados para os mesmos dias amostrados pelo método manual, durante os meses entre maio a novembro.

Nesta pesquisa foram avaliados e relacionados o número de atendimentos por doenças respiratórias no município de Coronel Fabriciano em relação às concentrações de material particulado e SO₂ obtidas. Os dados do número de atendimentos foram cedidos pelo Hospital Siderúrgica. Estes foram cedidos por cada tipo de doença distribuídos nos meses de amostragem de julho, agosto e setembro (APÊNDICE 1, TABELA 10). Não foi possível o fornecimento dos dados de entrada dos outros meses compreendidos nesta pesquisa por problemas de administração no Hospital Siderúrgica.

Quadro 9: Quantidade de amostras e distribuição das amostragens por semana nos meses de período de amostragem.

Meses Semanas	Coronel Fabriciano												Ipatinga											
	<i>PTS</i>				<i>MP₁₀</i>				<i>SO₂</i>				<i>PTS</i>				<i>MP₁₀</i>				<i>SO₂</i>			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Maio	1	4		1												1								
Junho		3	1	3			1		1	3	3	3			1	3	3				1	3	3	3
Julho	3			3	3			3	3			3	3			3				3	3			3
Agosto		3		1		3		1		3		1		3		1		1		1		3		1
Setembro		1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1	1
Outubro	1		1	1	1		1	1			1	1	1		1	1	1		1	1	1		1	1
Novembro	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total de Amostras	33				21				28				25				18				30			

5.3.1 Amostradores do Material Particulado (PTS e MP₁₀) e SO₂

Para realização da quantificação das concentrações do material particulado em suspensão nas cidades de Coronel Fabriciano e Ipatinga, foram utilizados amostradores ativos, ou seja, equipamentos que necessitam de troca manual de aparatos de amostragem, instalação fixa em determinado período e manutenção periódica.

Foram utilizados dois kits de Amostradores de Grande Volume (AGV), comumente designados HI-VOL, do *inglês high volume sampler*, da marca ENERGÉTICA Qualidade do ar. Podem ser considerados amostradores ativos de MP os amostradores de grande volume (*high-vol*), médio volume (*médium-vol*) e pequeno volume (*low-vol*), os quais variam basicamente em termos de volume de ar amostrado e não em tamanho de partículas (JUNIOR, LACAVA e FERNANDES, 2002).

Cada kit de amostradores é composto por: 1) um amostrador (AGV) para a determinação da concentração em $\mu\text{g.m}^{-3}$ de PTS no ar ambiente, com registro contínuo da vazão; 2) um amostrador (AGV) para a determinação da concentração de MP₁₀ no ar ambiente, com cabeça de separação ANDERSEN e controlador de vazão volumétrica (CVV), ambos amostradores possuíam materiais de amostragem que inclui filtros de fibra de vidro para PTS e quartzo com malha de até 10 μm para MP₁₀ e 3) um amostrador de pequeno volume (APV) modelo TRIGÁS, com capacidade para a coleta simultânea de até três gases poluentes (SO₂, NO₂, H₂S, Amônia) no ar ambiente. Todos os equipamentos atendem à resolução n° 3 do CONAMA de 1990 (BRASIL, 1990), à NBR 9546 (SO₂ pela pararrosanilina), (ABNT, 1986) à NBR 13412 (ABNT, 1995) e US EPA 40 CFR, parte 50, Apêndice J (US EPA, 1990).

Os amostradores ativos mais utilizados são para medir SO₂ e MP, embora existam muitos métodos para medir NO₂, O₃ e Pb.

5.3.1.1 Instalação dos Amostradores aos pontos de Amostragem

A Instalação dos dois kits de amostradores, tanto no campus do UnilesteMG Coronel Fabriciano quanto no campus Ipatinga foram instalados de acordo com as normas de instalação da US EPA (1990) e do fabricante.

Para que houvesse uma amostragem significativamente confiável os amostradores AGV – PTS foram instalados a 20 metros de árvores, edifícios ou outros obstáculos. A

entrada do amostrador se situava a 2 metros do solo e a 2 metros da entrada de qualquer outro amostrador, o fluxo de ar no entorno do mesmo estava livre pelo menos 270° de qualquer obstrução (FIG. 14). Todos os amostradores foram instalados acima de um suporte de concreto para proporcionar uma maior segurança ao equipamento, evitando assim risco de tombamento em decorrência de ventanias fortes. Os mesmos também não foram instalados próximos a chaminés e exaustores, para não haver risco de contaminação das amostras por partículas de uma única fonte de emissão (ENERGÉTICA, 2009).

De acordo com ENERGÉTICA (2005) os mesmos requisitos utilizados para instalação dos AGVs – PTS foram utilizados para os AGVs – MP₁₀ e para o APV – TRIGÁS, com uma única exceção deste último, o TRIGÁS não se fez necessário a instalação do mesmo a 2 metros do chão, haja vista que o equipamento possui um dispositivo de tubo regulável que funciona como suporte para o funil de captação do ar atmosférico, desta forma foi realizada a regulagem do mesmo numa altura a 2 metros do chão (ENERGÉTICA, 1999) (FIGURA 15).

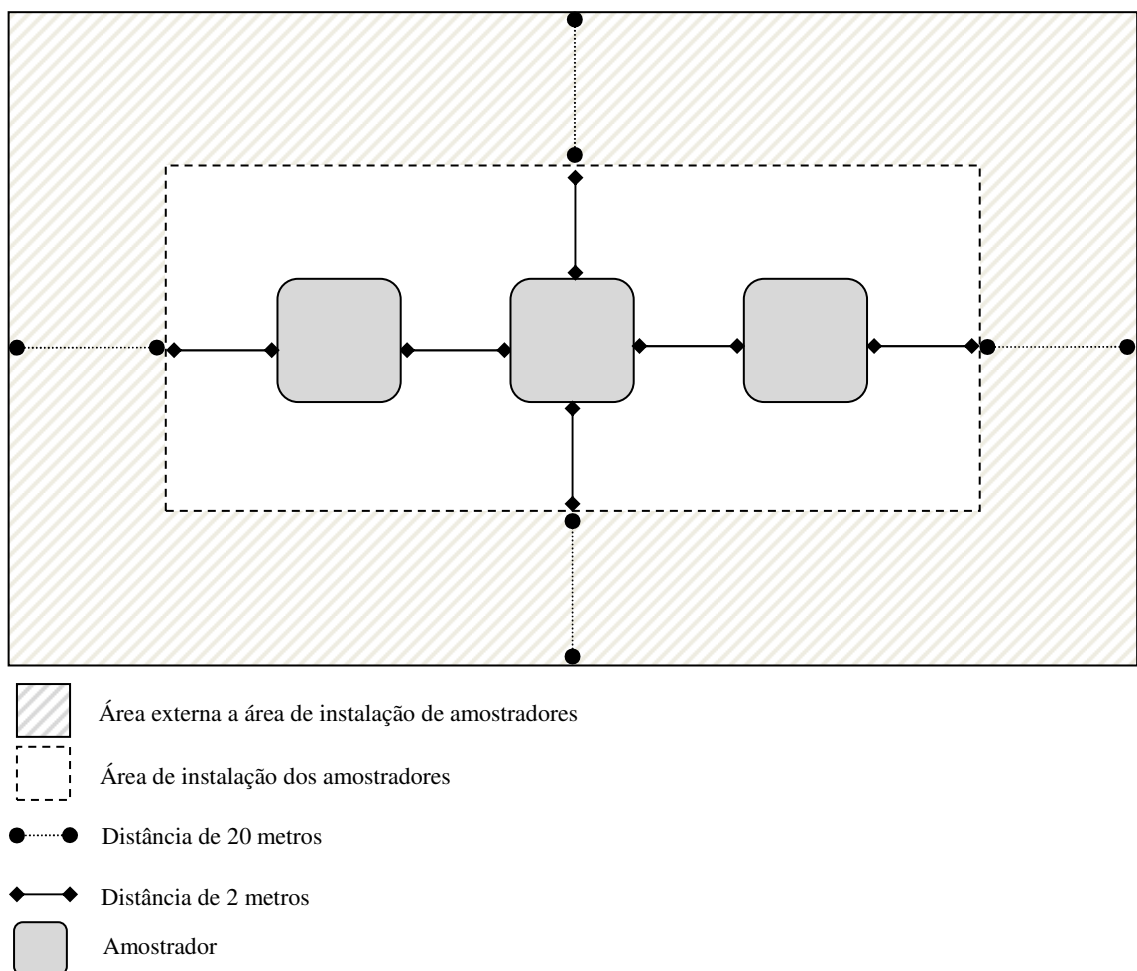


Figura 14: Desenho esquemático das normas de instalação de amostradores para poluentes atmosféricos.

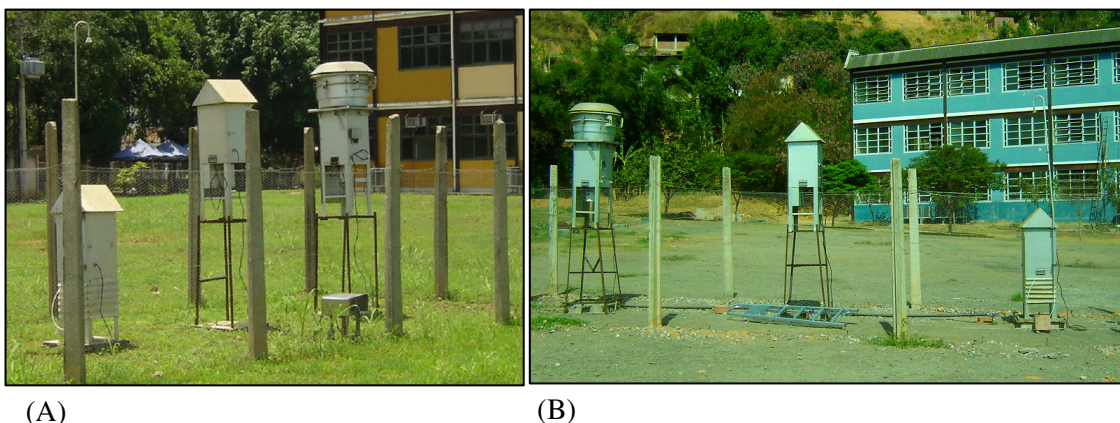


Figura 15: Amostradores para monitoramento da qualidade do ar devidamente instalados no ponto de amostragem Ipatinga (A) e Coronel Fabriciano (B), com vista à distância de obstáculos dentro das instalações do UnilesteMG e dos suportes para distanciamento do chão.

Fonte: Esta pesquisa, 2010.

5.3.2 Determinação da Concentração das Partículas Totais em Suspensão (PTS)

O AGV utilizado para determinação da concentração de PTS no ar ambiente (FIG. 16) é constituído de três partes principais: conjunto moto/aspirador e porta filtro, casinhola de abrigo e os dispositivos auxiliares de indicação de vazão, programação do tempo, regulagem de tensão e medida do tempo de amostragem.

Para a determinação da concentração de PTS no ar ambiente o equipamento aspirou um fluxo entre $1,13 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ e $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ de ar controlado através de um filtro de fibra de vidro FIBRA DE VIDRO E55, da marca ENERGÉTICA, de dimensões $20,3 \text{ cm} \times 25,4 \text{ cm}$ e área de coleta de $406,45 \text{ cm}^2$. Os mesmos apresentam uma eficiência de coleta 99,9% de retenção de partículas com diâmetros aerodinâmicos iguais ou superiores a $0,3 \mu\text{m}$, são resistentes a altas temperaturas (até aproximadamente 540°C), de baixa higroscopia e relativamente resistentes à tração (US EPA, 1990).

Os filtros foram acondicionados dentro da casinhola de abrigo (FIG. 16), por um período de 24 horas em cada amostragem. As partículas com diâmetro aerodinâmico maiores que $0,3 \mu\text{m}$ e menores que $100 \mu\text{m}$ ficaram retidas na superfície dos filtros.

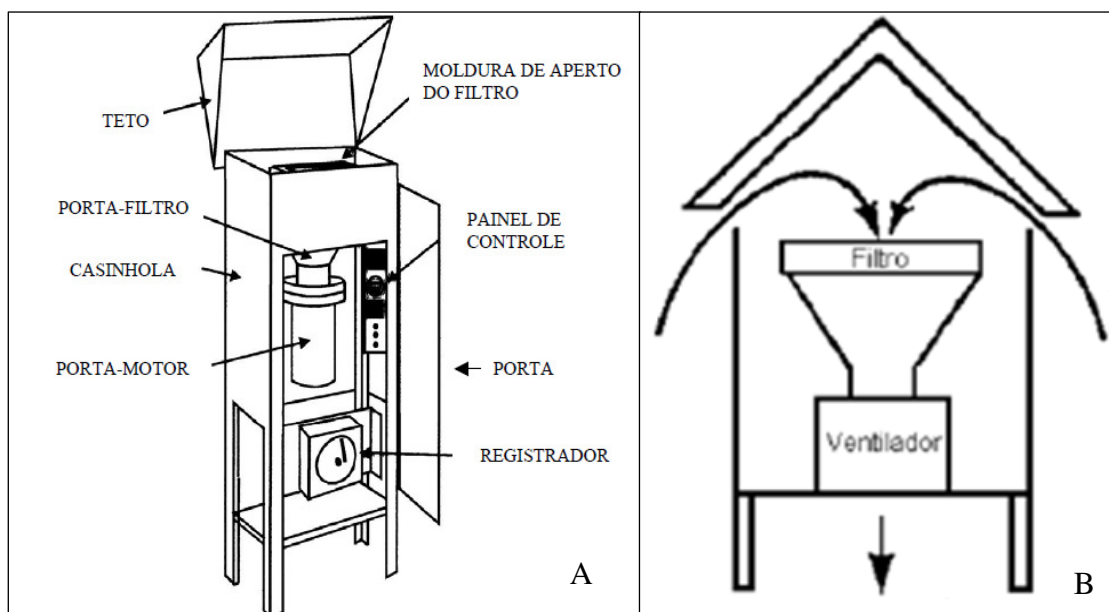


Figura 16: Desenhos esquemáticos do amostrador de grandes volumes para PTS com teto e portas abertos (A) e direção do fluxo de ar dentro da casinhola de abrigo (B).

Fonte: MAGALHÃES, 2005 (A) e LISBOA *et al*, 2007 (B)

Antes das amostragens os filtros limpos, foram tratados em dessecador para evitar umidade, posteriormente foram realizadas as devidas amostragens nos dois pontos de coleta. Após 24h de exposição os filtros foram coletados, dobrados ao meio, para impedir a perda de material, e acondicionados em sacos plásticos até a chegada ao Laboratório de Pesquisa Ambiental (LPA) no UnilesteMG. No LPA, os filtros foram imediatamente dispostos em dessecador por mais 24 h e devidamente pesados em balança apropriada da marca SARTORIUS com precisão de quatro casas decimais. Pelo método gravimétrico, ou seja, pela diferença entre as pesagens do filtro limpo e o filtro contendo a amostra, foi obtida a massa do material particulado em termos de PTS no filtro, expressa em micrograma (μg) (US EPA, 1990).

Procedimento semelhante para obtenção da concentração de PTS foi utilizado em estudos no Brasil sobre material particulado e elementos associados ao PTS no município de Ouro Preto (MAGALHÃES, 2005), análise das concentrações de PTS e MP_{10} em Ipatinga (PULINO, 2006) e qualidade do ar (PTS, MP_{10} e NO_2) na favela de Paraisópolis em São Paulo (SILVA *et al*, 2006).

O volume de ar amostrado, expresso em metros cúbicos (m^3), foi calculado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem, sendo ainda corrigido para as condições de temperatura e pressão, 25°C e 760 mmHg, respectivamente (US EPA, 1990).

A concentração das partículas totais em suspensão, expressa em micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), foi determinada pelas equações 1 a 3:

$$M = P_f - P_i$$

onde :

Equação 1

M = massa do material particulado em gramas (g)

P_f = peso final do filtro em g

P_i = peso inicial do filtro em g

$$Var = Q_p \times T$$

onde :

Equação 2

Var = volume total de ar amostrado em m^3

Q_p = vazão média do amostrador em $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

T = tempo total de amostragem em min

$$C_{PTS} = 10^6 \times \frac{M}{Var}$$

onde :

Equação 3

C_{PTS} = concentração de partículas totais em suspensão em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

10^6 = fator de conversão de g para μg

M = massa do material particulado em g

Var = volume total de ar amostrado em m^3

5.3.3 Determinação da Concentração das Partículas Inaláveis (MP_{10})

O AGV utilizado para determinação da concentração de MP_{10} no ar ambiente (FIG. 17) era constituído de quatro partes principais: 1) o conjunto moto/aspirador e porta filtro, 2) a casinhola de abrigo, 3) a cabeça do tipo “impactação inercial” G1200 THERMO Andersen para separação das partículas acima de $10 \mu\text{m}$ e 4) os dispositivos auxiliares de indicação de vazão, programação do tempo, regulagem de tensão e de medida do tempo de amostragem. O equipamento também aspirava um fluxo conhecido e controlado de ar através de um filtro de quartzo, por um período de 24h em cada amostragem.

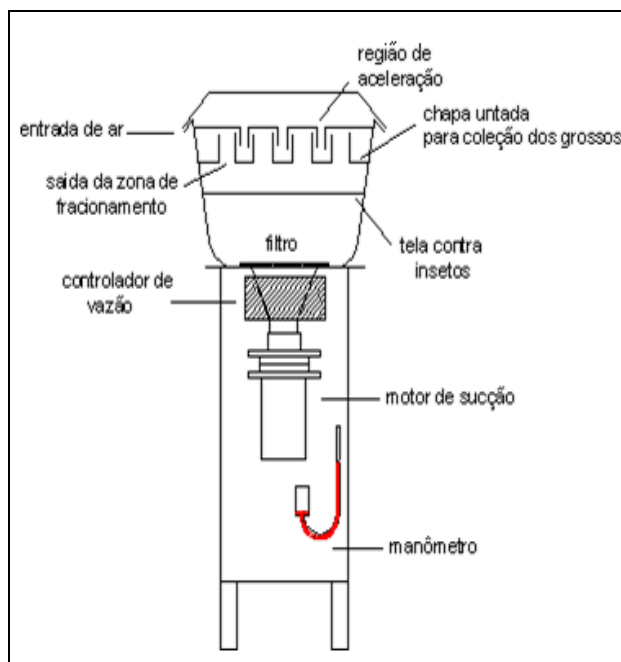


Figura 17: Desenho esquemático do amostrador de grandes volumes para MP₁₀
 Fonte: ENERÉTICA, 2005

O procedimento para determinação da concentração de MP₁₀ foi realizado da mesma forma que o procedimento para PTS, o que diferencia os dois procedimentos são os equipamentos distintos.

No AGV MP₁₀ as partículas com diâmetro aerodinâmico maiores que 10 µm foram retidas na cabeça de impactação inercial, através de uma chapa untada com óleo, enquanto as partículas inaláveis, ou seja, menores que 10 µm, passaram pela saída da zona de fracionamento e foram retidas no filtro de MICROQUARTZO da marca WHATMAN EQTZ, com medidas de 203 x 254 mm, que foram devidamente acomodados no porta filtro. Foi utilizada a cabeça de impactação inercial projetada para proporcionar a vazão de 1,13 m³.min⁻¹ e eficiência de 50 %.

Em geral, os filtros de quartzo guardam as mesmas características dos filtros de fibra de vidro, atendendo aos mesmos métodos. Os filtros de quartzo são fabricados de sílica pura (fibras de microquartzo) em condições limpas, são pré-tratados termicamente, reduzindo assim a traços seu teor de orgânicos e aumentando a resistência à tensão. Entretanto, são considerados filtros superiores e são geralmente neutros, sendo particularmente aplicáveis em casos onde se queira evitar a influência de formação de sulfato. Após os filtros de fibra de vidro, os de quartzo são os mais utilizados em amostragem de partículas, tanto no ar ambiente, quanto em emissões em chaminés (US EPA, 1990).

Após as 24h de amostragem os filtros foram coletados, dobrados ao meio, para impedir a perda de material, e acondicionados em sacos plásticos até a chegada ao Laboratório de Pesquisa Ambiental (LPA) no UnilesteMG. Em seguida, foram dispostos em dessecador por mais 24 horas e devidamente pesados em balança apropriada da marca SARTORIUS com precisão de quatro casas decimais. Pelo método gravimétrico, ou seja, pela diferença entre as pesagens do filtro limpo e o filtro contendo a amostra, foi obtida a massa de partículas de tamanho aerodinâmico menor que 10 μm no filtro, expressa em micrograma (μg) (US EPA, 1990).

Procedimento semelhante para obtenção da concentração de MP_{10} foi utilizado na determinação da concentração e elementos associados ao MP_{10} em Roma, Itália (AVINO *et al.*, 2008).

A concentração de MP_{10} foi obtida, a partir da equação 4, sendo que as variáveis M e Var foram obtidas pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$C_{MP_{10}} = 10^6 \times \frac{M}{Var} \quad \text{Equação 4}$$

onde :

$C_{MP_{10}}$ = concentração de partículas inaláveis em suspensão em $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

10^6 = fator de conversão de g para μg

M = massa do material particulado em g

Var = volume total de ar amostrado em m^3

Os filtros utilizados neste projeto, bem como equipamentos e balança específica para pesagem dos mesmos e todo o material e equipamento necessários para quantificação de material particulado foram emprestados ou doados pela empresa Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA S.A.).

5.3.4 Determinação das concentrações de SO_2

O APV – TRIGÁS utilizado para determinação da concentração de SO_2 no ar ambiente (FIG. 18) é constituído de cinco partes principais: 1) o conjunto de canos com funil de vidro para captação do ar, 2) conjunto de bomba de vácuo, 3) refrigerador para manter temperatura baixa, para acondicionamento dos borbulhadores que compõem os impinges de amostragem, 4) casinhola de abrigo e 5) dispositivos auxiliares de indicação de vazão, programação do tempo, regulagem de tensão e de medida do tempo de amostragem.

Este equipamento pode coletar até três gases distintos dependendo da solução absorvente utilizada (US EPA, 1990). Para esta pesquisa amostrou-se apenas o gás SO_2 .

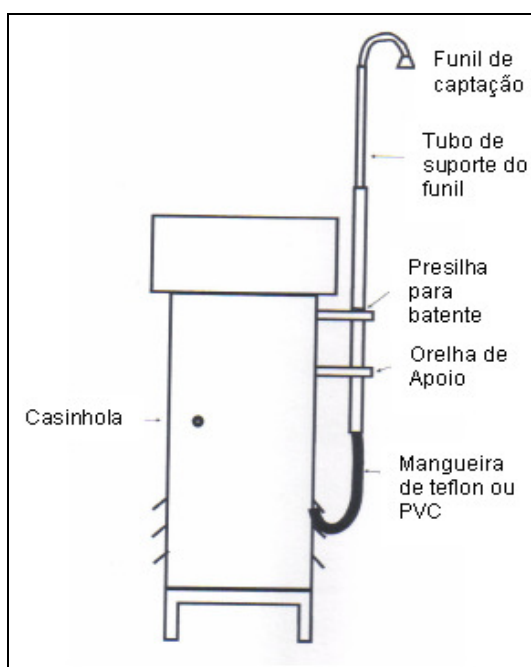


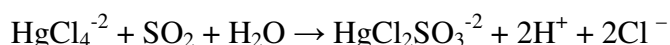
Figura 18: Desenho esquemático do amostrador de pequenos volumes (APV – TRIGÁS).
Fonte: ENERÉTICA, 1999

Para a realização da amostragem do gás SO_2 no APV-TRIGÁS foi necessária a utilização do kit de impinge de amostragem contendo um frasco borbulhador, mangueiras de PVC ou TEFLON para passagem do ar e agulhas hipodérmicas utilizadas como orifícios críticos para controle da vazão de ar, adaptadas a um sistema de filtros para retenção de bolhas e detritos que por ventura possam ser aspirados. Nesta pesquisa foram utilizados três kits de impinges em sistema de revezamento. Foi feita a devida calibração dos orifícios críticos das agulhas de passagem do ar dos mesmos, antes da realização das amostragens, através de um dispositivo de bolhômetro, ou seja, um tubo de vidro com volume de 0,5 L, por

meio do qual foram succionadas bolhas de sabão detergente que percorreram o volume do tubo de vidro em um determinado tempo mensurado em minutos. A faixa de vazão de ar de cada orifício crítico da agulha deve estar entre 0,18 e 0,22 L.min⁻¹ (US EPA, 1990). Com a calibração realizada em cada orifício crítico, cada impinge através das suas respectivas agulhas obtiveram um valor de vazão do ar distinto, os quais foram utilizados nos cálculos para determinação da concentração em µg.m⁻³ de SO₂.

As vazões de ar das agulhas em cada impinge já instalados nos equipamento aspiraram um fluxo entre 0,18 e 0,22 L.min⁻¹ de ar através do cano a dois metros do chão, por um período de 24h em cada amostragem (US EPA, 1990).

As amostras do ar para análise da concentração de SO₂ nos pontos de amostragem foram capturadas, mediante o uso da bomba de vácuo e borbulhamento do ar atmosférico no frasco coletor de gás, contendo uma solução de tetracloromercurato de potássio (TCM) numa concentração de 0,04 mol.L⁻¹ e pH aproximadamente 4. Esta solução tem a propriedade de absorver o gás SO₂, através da seguinte equação química:



Formou-se o complexo diclorossulfitomercurato (HgCl₂SO₃⁻²), que resiste à oxidação pelo oxigênio do ar. Uma vez formado, este complexo é estável frente a oxidantes fortes como ozônio (O₃) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (ABNT, 1986).

As amostras foram adequadamente transferidas para balões volumétricos de 50 mililitros e encaminhadas para análise posterior no Departamento de Meio Ambiente e Qualidade (DEMAQ), laboratório da empresa CENIBRA, onde foram devidamente analisadas através do método pararrosanilina (PRA) (ABNT, 1986) (APÊNDICE 2; 2.1). O método PRA consiste na utilização de uma solução de pararrosanilina, para detecção da concentração de SO₂ por espectrofotometria colorimétrica, através da reação da PRA com o complexo diclorossulfitomercurato de potássio e solução de formaldeído 0,2%, formando o ácido metil pararrosanilina sulfônico, intensamente colorido (ABNT, 1986).

Foram obtidas as concentrações de SO₂ nas amostras em µg.m⁻³ a partir das equações 5 e 6:

$$Var = \frac{Q_{agulha} \times 1440 \times PA \times 2,94}{t(^{\circ}C) + 273}$$

Equação 5

onde :

Var = volume de ar corrigido na CNTP (L)

Qagulha = vazão da agulha (L) (orifício crítico)

1440 = tempo de amostragem em minutos correspondente a 24 h.

PA = pressão atmosférica em Kpa.

2,94 = fator de conversão unidade de pressão

t(°C) + 273 = temperatura média do dia em Kelvin.

$$C_{SO_2} = \frac{(A - A^{\circ}) \times 10^3 \times (Bs) \times D}{Var}$$

Equação 6

Onde :

C_{SO_2} = concentração de SO_2 ($\mu g.m^{-3}$).

A = absorbância da amostra.

A° = absorbância da prova em branco.

10^3 = conversão de L para m^3 .

Var = volume de ar corrigido na CNTP em litros (L).

Bs = fator de calibração, μg /unidade de absorbância.

D = fator de diluição.

5.3.5 Determinação das concentrações de elementos

Depois de obtidas as concentrações de PTS e MP_{10} , os filtros de fibra de vidro e quartzo contendo o material particulado foram fracionados e então as subamostras foram armazenadas novamente em sacos plásticos e encaminhadas para posterior quantificação de elementos através de três técnicas de análises, são elas Ativação Neutrônica (EWING, 1972), Absorção Atômica e Fotometria de Emissão de Chama (Na e K) (EWING, 1972). A primeira técnica foi realizada no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN) em Belo Horizonte/MG, a segunda e terceira técnicas no Departamento de Meio Ambiente e Qualidade (DEMAQ) na empresa CENIBRA S.A em Belo Oriente/MG.

5.3.5.1 Método por Ativação Neutrônica

A técnica de Análise por Ativação Neutrônica Instrumental (AANI) do inglês Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) é utilizada para determinar pequenas concentrações de elementos em uma variedade de matrizes. Uma amostra é submetida a um fluxo de nêutrons e são produzidos núcleos radioativos para cada elemento amostrado dentro de um sistema de reator nuclear. Com o decaimento dos núcleos radioativos há emissão de raios gama, cujas energias são características de cada núcleo. A comparação da intensidade destes raios gama com as intensidades existentes no padrão, permite quantificar as concentrações dos diferentes elementos em uma determinada amostra.

As partículas e radiações de diferentes núcleos radioativos variam bastante em conteúdo de energia e frequência com que são produzidas (EWING, 1972).

O isótopo de urânio ^{235}U , com uma abundância isotópica de 0,72%, é usado frequentemente como combustível em reatores nucleares. Pode-se também usar uma mistura natural de isótopos de urânio ou uma mistura enriquecida com ^{235}U (MILOSLAV, 1970 apud BOUÇAS, 2009).

Dentro de um reator nuclear existem canais de irradiação por onde são colocadas as amostras a serem irradiadas pelos nêutrons para sua subsequente ativação. Estes canais podem ser localizados no núcleo do reator, na coluna térmica ou refletor, tanto em posições horizontais quanto verticais (MILOSLAV, 1970 apud BOUÇAS, 2009).

O termo Ativação Neutrônica vem do seguinte sistema: dentro do reator os nêutrons em movimento, a certa distância do núcleo atômico, pode ser desviado de sua trajetória. Mas se algum nêutron se aproxima suficientemente do núcleo, esta força pode capturá-lo e formar-se um núcleo composto. Dizemos então que ocorreu uma reação nuclear de captura neutrônica. O núcleo composto assim formado é um isótopo do mesmo elemento químico que o núcleo alvo.

As reações para AANI são transformações do tipo (n, γ) , onde o núcleo composto libera uma energia passando a uma configuração de menor energia emitindo um ou mais raios gama (*fótons gama*). Na maioria dos casos, essa nova configuração do núcleo composto é ainda instável e buscará liberar (ou decair) emitindo uma ou mais partículas e raios gama secundários (GLASCOK, 2008 apud BOUÇAS, 2009). Esse fenômeno é comumente denominado radioatividade (ou decaimento radioativo) e o isótopo instável denomina-se núcleo radioativo (ou radioisótopo) (FIGURA 19).

O processo de decaimento ocorre em um tempo que é característico de cada radioisótopo que pode levar desde frações de segundo até vários anos, a também chamada de meia-vida ($t_{1/2}$) do elemento. A taxa a que decai uma população de radioisótopos, ou seja, o número de decaimentos por unidade de tempo, é chamada atividade (BOUÇAS, 2009).

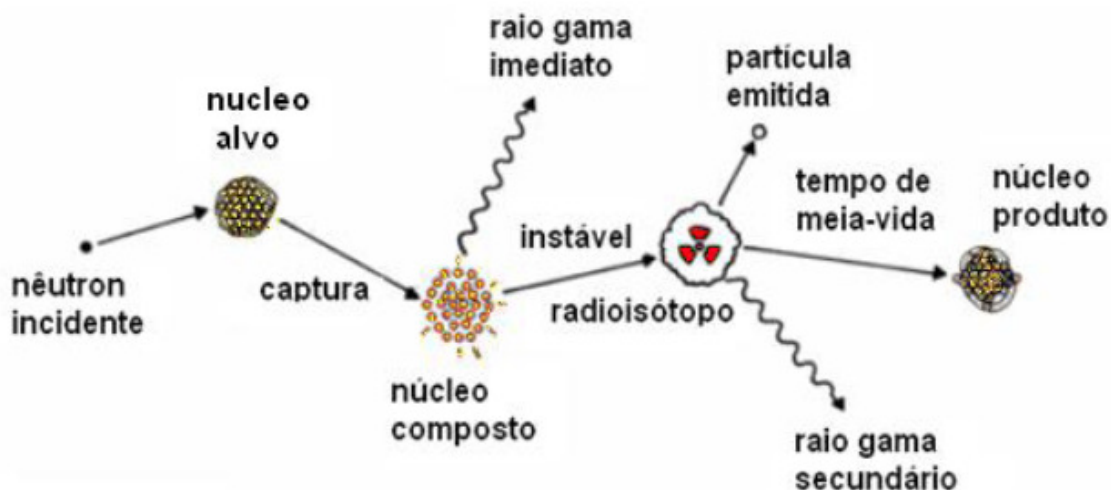


Figura 19: Desenho esquemático do processo geral da Ativação Neutrônica.
Fonte: BOUÇAS, 2009.

A opção de utilizar INAA, que é uma técnica nuclear não-destrutiva, foi devido a sua característica bem conhecida de referência técnica analítica, porque todas as etapas experimentais são totalmente rastreáveis e não há manipulação das amostras físico-químicas reduzindo a formação de resultados negativos (AVINO *et al.*, 2008 apud MAURO *et al.*, 1991). Além disso, por causa de sua alta sensibilidade e seu caráter multi-elementar que permite a determinação de muitos elementos, com um limite de detecção (LD) e precisão (QUADRO 10). A INAA é a técnica mais adequada para elemento traço/metal ultra-traço e análise de terras raras do que outros métodos instrumentais como por indução espectrofotométrica de emissão atômica por plasma ou fluorescência de raios-X (AVINO *et al.*, 2008).

Quadro 10: Limites de detecção utilizados na determinação dos elementos pelo método de Ativação Neutrônica para as amostras em estudo nesta pesquisa.

<i>Elemento</i>	<i>Limite de Detecção (mg.kg⁻¹)</i>
Ag	0,4
As	0,3
Au	0,003
Ba	15
Br	0,3
Ca	1152
Cd	3
Ce	0,5
Co	0,1
Cr	0,9
Cs	0,1
Cu	15
Eu	0,01
Fe	65
Ga	6
Hf	0,07
Hg	0,3
K	1100
La	0,06
Mo	2
Na	4
Nd	1
Rb	3
Sb	0,04
Sc	0,003
Se	0,5
Sm	0,01
Sr	41
Ta	0,03
Tb	0,04
Th	0,06
U	0,08
W	0,6
Yb	0,05
Zn	5
Zr	60

Nesta pesquisa foram detectados 26 elementos, são eles: Antimônio (Sb), Arsênio (As), Bário (Ba), Bromo (Br), Cério (Ce), Césio (Cs), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Escândio (Sc), Európio (Eu), Ferro (Fe), Háfênio (Hf), Itérbio (Yb), Lantânio (La), Mercúrio (Hg), Neodímio (Nd), Ouro (Au), Potássio (K), Samário (Sm), Selênio (Se), Sódio (Na), Tântalo (Ta), Térbio (Tb), Tório (Th), Urânio (U), Zinco (Zn).

5.3.5.1.1 Instrumentação – AANI

A análise por ativação neutrônica foi realizada no CDTN/CNEN em Belo Horizonte – MG por meio do método k_0 .

O método para padronização k_0 é um método semi-absoluto, no qual ao invés de serem usados padrões dos elementos de interesse, são usados comparadores ou monitores de fluxo de nêutrons. Os dados nucleares desconhecidos dos isótopos são substituídos por constantes nucleares que caracterizam os nuclídeos, chamados de fatores k_0 (QUEIROZ, 2006).

Os monitores/padrões utilizados consistem em um disco de 0,1 mm de espessura e 0,6 cm de diâmetro, sendo de uma liga contendo alumínio em ouro Al-Au (1,0%) obtido pelo Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM-530R).

Para determinação de elementos no material particulado em termos de PTS e MP_{10} pela técnica de ativação neutrônica, cada filtro a ser analisado foi levado ao dessecador por 24 horas no LPA, depois os mesmos foram cortados em duas frações com tesoura de aço inoxidável, uma fração de cada filtro foi acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e levadas ao CDTN/CNEN. Lá foram retiradas de cada parte dos filtros uma fração de 9,0 cm² (1,4 pol²) de área, onde continha material particulado, correspondente a 2,27% da área total de coleta nos filtros.

O peso seco de cada fração dos filtros foi obtido a partir do peso no preparo para análise por absorção atômica.

Para o corte da fração do filtro, foi utilizado um estilete de aço inoxidável, com auxílio de uma pinça também de aço. Em seguida as frações dos filtros foram colocadas em tubos de irradiação limpos com o auxílio de uma espátula de polietileno, o tubo de irradiação então foi devidamente lacrado (APÊNDICE 02; FIGURA 35). Logo após as amostras foram colocadas em outro recipiente de polietileno para irradiação no reator TRIGA MARK-I IPR-RI com um fluxo de nêutrons térmicos de $6,6 \times 10^{11}$ nêutrons.cm⁻².s⁻¹, com 100 kW de potência.

Além das amostras, foram irradiados quatro frações (9 cm²) de filtros limpos, os denominados brancos da análise (APÊNDICE 02; TABELA 11), além de tubos de irradiação vazios. Seus resultados alimentam o programa KAYWIN que desconta a interferência destes nas análises.

No interior do reator foram utilizados dois canais de irradiação, o canal de irradiação 7, onde as amostras foram irradiadas por um período de 8 horas e ativação de radioisótopos com períodos de decaimento radioativo $T_{1/2} \geq 10h$ e canal de irradiação 40, onde as amostras foram irradiadas por 15 minutos e ativação de radioisótopos com período de decaimento radioativo $T_{1/2} \leq 10h$.

A contagem (ou medição) das amostras foi realizada para os núclídeos de meia-vida curta (< 3 horas), os de meia-vida média (4 a 12 dias) e para os de meia-vida longa (> 30 dias) por espectrometria gama, onde foram utilizados detectores do tipo semicondutor de cristal de Germânio Hiper-puro (HPGe) da marca CANBERRA. Cada detector foi conectado a um pré-amplificador, a um conversor analógico digital, a um módulo de contagem livre de perdas, um analisador multi-canal e a um computador.

Os programas computacionais utilizados para aquisição, análise dos espectros e cálculo de concentração foram o GENIEtm 2000 Basic Spectroscopy Software, HYPERLAB[®] 2005.2b e KAYZERO/SOLCOI[®] v.2,13^a, respectivamente.

Nesta pesquisa foram irradiadas 39 amostras de filtro de quartzo com partículas inaláveis (MP₁₀) e 56 amostras de filtros de fibra de vidro contendo partículas totais em suspensão (PTS), somando um total de 95 amostras irradiadas.

A concentração do metal foi calculada para $mg.kg^{-1}$ através dos programas computacionais utilizados no CDTN, a partir daí foram realizados os cálculos para transformação desta unidade para $\mu g.m^{-3}$, conforme equação 7.

$$C_{final} = \frac{C_{elemento} \times peso_{MP}}{vazão_{ar}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

C_{final} = concentração do elemento no material particulado amostrado em $\mu g.m^{-3}$.

$C_{elemento}$ = concentração do elemento obtido em $mg.kg^{-1}$.

$peso_{MP}$ = peso do material particulado em todo o filtro em g.

$vazão_{ar}$ = vazão em metros cúbicos (m^3) de ar durante o período de amostragem.

Na determinação por INAA no reator nuclear de pesquisa do CDTN/CNEN, as amostras são irradiadas na mesa giratória, onde o maior percentual de nêutrons que compõem o fluxo total de nêutrons é o de térmicos, o que é desejado, uma vez que 80 % dos elementos químicos existentes na natureza são, em geral, passíveis de serem ativados por nêutrons térmicos. Essa ativação, entretanto, depende de vários fatores como, concentração do elemento de interesse e interferentes presentes na amostra, secção de choque a nêutrons térmicos adequada do elemento em estudo, intensidade da emissão gama característica e limites de detecção do método com relação ao elemento (BOUÇAS, 2009).

Portanto, nesta pesquisa não foi possível determinar por INAA alguns elementos químicos de interesse ambiental, tais como chumbo, níquel, silício, cádmio, cálcio, alumínio, molibdênio, cobre, estanho, manganês, titânio, magnésio. Os motivos são descritos abaixo:

- O Pb por reação (n, γ) produz um radionuclídeo que não é emissor gama.
- O Ni também apresenta baixa seção de choque a nêutrons térmicos. Só é detectado em amostras que apresentam concentrações elevadas.
- O Si não tem seção de choque adequada para ser ativado por nêutrons térmicos.
- O Ca, Cd, Mo e Sn possuem um limite de detecção muito alto (QUADRO 10), portanto só pode ser obtido por ativação neutrônica se a concentração existente no material particulado for elevada.
- O Mo também apresenta baixa seção de choque a nêutrons térmicos.
- O Sn possui limite de detecção alto (QUADRO 10).
- O Al, Cu, Mn, Ti e Mg possuem meia-vida curta e durante o período da pesquisa, não pôde ser realizada a medição dos mesmos, devido á motivos técnicos.

5.3.5.2 Método por Espectrometria de Absorção Atômica

A técnica de análise por Espectrometria de Absorção Atômica, do inglês Atomic Absorption Spectrometry (AAS), consiste na medida da absorção da intensidade da radiação eletromagnética no momento em que os átomos do metal ou elemento traço são excitados e retornam ao seu estado fundamental. Os átomos de cada elemento emitem certa energia própria a qual é detectada pela sua respectiva lâmpada de cátodo oco, esta quantidade de energia é transportada para o leitor numa fração de segundos (EWING, 1972).

A energia emitida de cada elemento produz um característico comprimento de onda, o qual se faz possível ser visualizado através de um sistema computacional (QUADRO 11).

No método de AAS é comumente utilizado dois atomizadores o de chama e forno de grafite, nesta pesquisa foi utilizado o AAS de chama para quantificação de quinze elementos no material particulado retido nos filtros, são eles: Cu, Fe, Cd, Mn, Zn, Ni, Mo, Ca, Mg, Cr, Pb, Sn, Ti, Al, Co.

Quadro 11: Absorbâncias utilizadas na determinação dos elementos pelo método de Absorção Atômica e seus respectivos limites de detecção.

<i>Elemento</i>	<i>Absorbância</i>	<i>Limite de Detecção ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)</i>
Al	396,1	0,1
Ca	422,7	0,005
Cd	228,8	0,0006
Co	240,7	0,007
Cr	357,9	0,005
Cu	324,7	0,003
Fe	248,3	0,005
Mg	285,2	0,0003
Mn	279,5	0,003
Mo	313,3	0,04
Ni	232	0,008
Pb	217	0,02
Sn	224,6	0,03
Ti	364,3	0,1
Zn	364,3	0,002

5.3.5.3 Método por Fotometria de Emissão de Chama

No material particulado contido nos filtros de amostragem também foram determinados os elementos Na e K pelo método de fotometria de emissão. Para estes elementos foi utilizada esta técnica, pois os metais alcalinos são facilmente excitados e podem ser detectados e medidos em concentrações mais baixas por fotômetros de emissão de chama do que por espectrômetros de absorção atômica.

Nesta técnica ocorre uma combinação exotérmica de dois gases, tais como o hidrogênio e oxigênio transferindo o excesso de energia de uma espécie à outra. Este excesso de energia eleva o átomo do metal analisado a um nível excitado, este processo é

imediatamente seguido pela emissão de radiação característica do metal. A resposta ao comprimento de onda da radiação do metal, corrigido da luminosidade de fundo, é comparada com uma curva de calibração preparada a partir de padrões (EWING, 1972).

O equipamento utilizado nesta pesquisa foi o Fotômetro de Chama da marca DIGIMED modelo DM 62 e após a obtenção dos resultados, os valores obtidos foram selecionados de acordo com o limite de detecção para os correspondentes elementos (QUADRO 12).

Quadro 12: Limites de detecção do método de Fotometria de Emissão de Chama para os elementos Na e K.

<i>Elemento</i>	<i>Limite de Detecção ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$)</i>
Na	0,01
K	0,01

5.3.5.4 Preparação do Filtro para Digestão

Para determinação de elementos no material particulado em termos de PTS e MP_{10} pela técnica de absorção atômica e por emissão de chama, foi retirada de cada filtro uma fração de $103,5 \text{ cm}^2$ ($16,05 \text{ pol}^2$) de área, onde continha material particulado, correspondente a 25% da área total de coleta nos filtros. Numa certa quantidade do total de filtros amostrados para MP_{10} foram retiradas uma fração de 75 cm^2 ($11,63 \text{ pol}^2$). Isto ocorreu, pois estes foram mandados primeiramente para análise por ativação neutrônica no CDTN, onde foi utilizada uma fração de cada filtro, sobrando um pedaço menor para análise em absorção atômica. Esta última área cortada no filtro de MP_{10} representou 18,2 % da área amostrada no filtro.

Para o corte da fração do filtro, foi utilizada uma tesoura de aço inoxidável. Os filtros foram dispostos numa bancada previamente limpa com detergente neutro e álcool etílico a 95%, a manipulação dos mesmos foi feita com as mãos lavadas com detergente neutro e álcool 95 % vestidas com luvas de látex anteriormente lavadas, para a retirada do talco contido na luva evitando assim a contaminação da amostra (APÊNDICE 02; FIGURA 36A). Também foram utilizadas pinças de aço inoxidável.

Procedimento parecido para o corte do filtro foi utilizado no estudo dos padrões espaciais e químicos na poeira depositada na estrada em ambiente urbano de Barcelona, Espanha (AMATO *et al*, 2009).

Depois de cortadas, cada fração dos filtros foi dobrada e disposta em béquer de 100 ml, logo após foram levadas à estufa da marca VISOMES, modelo V110-1 a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ durante uma hora para a desidratação. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em dessecador por mais uma hora para o resfriamento e depois pesadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais da marca METTLER, modelo AE200. A estufa e a balança de precisão utilizadas no preparo das amostras são periodicamente calibradas sendo que as análises foram realizadas dentro do período entre calibrações. Este procedimento foi necessário para se obter o peso seco da fração de cada filtro amostrado, para a devida efetivação dos cálculos finais.

As frações dos filtros já pesadas foram transferidas para béqueres de 250 mL, umidificadas e maceradas para o ataque ácido, obtendo assim uma maior superfície de contato entre o ácido e a amostra (APÊNDICE 02; FIGURA 36C).

As amostras foram digeridas com 15 mL de ácido nítrico (HNO_3) para análise (P.A) da marca MERCK em 50 mL de água, disposto em chapa elétrica a $200 \pm 5^\circ\text{C}$, até a redução do volume à 10 ± 20 mL. Após quarenta minutos de digestão, as amostras foram resfriadas e filtradas em papel de filtração rápida com 125 mm de malha da marca WHATMAN, através de funil de vidro raiado, recebendo o sobrenadante em balão volumétrico de 250 mL. No momento da filtração o béquer contendo a amostra atacada foi lavado diversas vezes com água quente e jatos de solução de ácido clorídrico (HCl) a 20 % (LENORE *et al*, 1998) (POOLEY, 1999).

Logo após a digestão ácida foram realizadas as leituras no Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo SpectraAA-200 da marca VARIAN, utilizando para cada elemento sua respectivas lâmpadas de catodo oco e dependendo do mesmo utilizou-se chama de óxido nítrico ou ar acetileno (APÊNDICE 02; FIGURA 36F). Esta técnica de análise também foi utilizada no estudo da caracterização de espécies metálicas no material particulado atmosférico em Las Palmas de Gran Canaria, Espanha (CANCIO *et al*, 2008).

Na medida em que as análises foram efetivadas, percebeu-se que a concentração de alguns elementos em uma dada amostra apresentavam valores acima da curva prevista no equipamento, mediante isto foram realizadas as devidas diluições.

Para mensurar uma possível contaminação ou presença de elementos nos filtros e ácidos, foram realizadas cinco provas em branco (PB) (LENORE *et al*, 1998).

Os resultados das concentrações de elementos nos filtros, tanto pelo método de absorção atômica, quanto por ativação neutrônica (PB) se encontram no APÊNDICE 2 na TAB. 11, bem como valores fornecidos pelo fabricante dos filtros.

A partir das concentrações dos elementos em miligrama por litro (mg.L^{-1}) obtidas através das suas respectivas absorvâncias, foram realizados os cálculos da quantificação dos mesmos no material particulado retido nos filtros, em micrograma por metro cúbico de ar amostrado ($\mu\text{g.m}^{-3}$), conforme equações 8 e 9:

$$C_{\text{metal}} = \left(\frac{\text{Leitura} \times 250}{PS} \right) - PB \quad \text{Equação 8}$$

Onde :

C_{metal} = concentração do metal obtido em mg.kg^{-1} .

Leitura = valor obtido no ato da leitura em mg.L^{-1} .

250 = volume em mL do sobrenadante da amostra analisada.

PS = peso seco da fração do filtro digerida no ácido.

PB = média das concentrações de metal no filtro sem amostra

(MP) em mg.kg^{-1} ou provável presença de metais no ácido e/ou contaminação.

$$C_{\text{final}} = \frac{C_{\text{metal}} \times \text{peso}_{MP}}{\text{vazão}_{ar}} \quad \text{Equação 9}$$

Onde :

C_{final} = concentração de metal no material particulado amostrado em $\mu\text{g.m}^{-3}$.

C_{metal} = concentração do metal obtido em mg.kg^{-1} .

peso_{MP} = peso do material particulado em todo o filtro em g.

vazão_{ar} = vazão em metros cúbicos (m^3) de ar durante o período de amostragem.

As concentrações dos elementos Na e K obtidos por Fotometria de Emissão de Chama, também foram obtidas através dos cálculos acima, depois de efetuadas as devidas correções da curva de calibração do método.

5.4 Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia (RAMQAM)

A RAMQAM no município de Ipatinga, cuja instalação foi definida por meio de Termo de Ajustamento de Conduta firmado entre a Promotoria Pública de Meio Ambiente (PPMA) de Ipatinga e a Usina Siderúrgica de Minas Gerais (USIMINAS), possui quatro estações telemétricas de última geração com transmissão de dados *on line* para a Promotoria Pública (MPMG, 2009).

O sistema possibilita configurar, analisar e controlar a distância os dados medidos nas estações. As informações mais recentes relativas às medições automáticas realizadas são exibidas continuamente, podendo indicar o atendimento aos padrões estabelecidos e emitir alarmes sonoros para situações críticas (MPMG, 2009).

Os equipamentos automáticos para monitoramento da qualidade do ar operam através de sistemas eletro-ópticos, ou seja, uma reação química ocorre produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente (QUADRO 13). Um detector de luz produz um sinal elétrico que é proporcional à concentração do poluente que está sendo medido (JUNIOR *et al.*, 2002). Medidas deste tipo possuem alto grau de precisão e fornecem grande quantidade de dados (LISBOA e KAWANO, 2007).

Quadro13: Princípio utilizado para monitoramento da qualidade do ar em equipamentos automáticos.

<i>Princípio eletro-óptico</i>	<i>Poluente</i>
Fluorescência ao ultravioleta	SO ₂
Quimiluminescência	NO _x , NO e NO ₂
Absorção de raios infra-vermelho	CO
Cromatografia Gasosa/ionização de chama ou espectrômetro de massa	Hidrocarbonetos (HC) BTX
Absorção de raios ultravioleta	O ₃
Atenuação de raios β e microbalança oscilante	Partículas em Suspensão

Fonte: JUNIOR *et al.*, 2002.

A rede automática de monitoramento contínuo da qualidade do ar de Ipatinga realiza as análises dos seguintes parâmetros: PTS (partículas totais em suspensão), PM₁₀ (partículas inaláveis), CO (monóxido de carbono), SO₂ (dióxido de enxofre), Óxidos de Nitrogênio (NO, NO₂, NO_x), O₃ (ozônio), BTEX (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno), meta e para-xileno, ortoxileno, metano, hidrocarbonetos não metanos, hidrocarbonetos totais, VOC (hidrocarbonetos voláteis), radiação solar, direção e velocidade dos ventos, temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e índice pluviométrico (MPMG, 2009).

Os pontos de instalação das estações foram definidos pelas equipes da USIMINAS, da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que acompanha o processo de instalação da coqueria 3 na siderúrgica, na condição de assistentes técnicos do Ministério Público Estadual. Foram levados em consideração critérios científicos e técnicos, bem como estudo de dispersão atmosférica das emissões geradas pela empresa (MPMG, 2009).

Dentro da rede de monitoramento existem em funcionamento desde setembro de 2009 quatro estações espacialmente distribuídas no município, localizadas nos bairros Cariru, Cidade Nobre, Bom Retiro e Veneza (FIGURA 20).

Os equipamentos utilizados para as medições na RAMQAM em Ipatinga encontram-se em sistema de containeres com amostragem contínua dos parâmetros, instalados nas estações da marca ECOSOFT (FIGURA 21).

Foram utilizados os dados de meteorologia da RAMQAM para caracterizar o ambiente de amostragem durante o período amostrado pelo método manual HI-VOL. Os dados dos parâmetros de PTS, MP₁₀ e SO₂ obtidos através da RAMQAM foram classificados por esta pesquisa de acordo com o índice de qualidade do ar (BRASIL, 1990).

5.4.1 Determinação de Partículas Totais em Suspensão e Partículas Inaláveis na RAMQAM de Ipatinga

Para a determinação de PTS e MP₁₀ foi utilizado o sistema de monitor contínuo que mede o poluente por absorção de raios β , ou seja, uma amostra de ar contendo PTS é forçada a passar por um determinado período através de um filtro limpo a uma vazão controlada. A leitura de absorção de raios β foi feita no início e no fim de cada ciclo de medição, sendo a diferença de leitura proporcional à massa de partículas retidas no material filtrante (SANTOLIM *et al*, 2008). Outro sistema utilizado para medição foi o dispositivo de microbalança, esse método baseia-se na avaliação contínua da frequência de vibração do

conjunto filtrante, o que está diretamente relacionado à massa de partículas depositada sobre o elemento filtrante intercambiável. A leitura de massa do filtro é feita continuamente pela variação da frequência de vibração do conjunto filtrante, sendo que quanto maior for a massa de poeira coletada no filtro, menor será a frequência do conjunto (SANTOLIM *et al*, 2008).

A única diferença entre os instrumentos para medição de PTS e MP₁₀ é que, para a medição de partículas inaláveis foi necessária a instalação de uma sonda com cabeça fracionada capaz de permitir chegar à unidade de leitura apenas a fração fina (<10 µm) das partículas existentes no ar ambiente (SANTOLIM *et al*, 2008).

Os equipamentos também contam com um sistema de sonda amostradora protegida contra condensação de umidade e padrões para calibração dos monitores, tanto para PTS quanto para MP10 (SANTOLIM *et al*, 2008).



Figura 20: Pontos de localização da Rede Automática de Monitoramento Contínuo da Qualidade do Ar e Meteorologia nos bairros do município de Ipatinga – MG.

Fonte: Google Earth, 2010



Figura 21: Container da Rede Automática de Monitoramento Contínuo da Qualidade do Ar e Meteorologia no bairro Cariru, Ipatinga – MG.

Fonte: EZEQUIEL, 2010

5.4.2 Determinação de Dióxido de Enxofre na Rede

A determinação da concentração de SO_2 no ar ambiente, através do container de monitoramento atmosférico de Ipatinga foi realizada por um monitor contínuo, através do princípio da fluorescência aos raios ultravioleta. Este método baseia-se no fato que as moléculas do gás presentes em uma amostra de ar, quando bombardeadas com radiação luminosa ultravioleta, são excitadas e apresentam fluorescência característica ao retornar ao estado fundamental (SO_2) pela liberação de energia. A concentração do gás na amostra é então medida através das mudanças de fluorescência captadas por sensores (SANTOLIM *et al*, 2008).

5.5 Meteorologia e Direção do Vento

Quanto à precipitação pluviométrica mensal para o período de estudo, foi observado que o período entre os meses de junho a setembro de 2010 foi responsável por 10,1% da precipitação total no período amostrado. Este período corresponde à estação de inverno, onde há uma tendência aos índices de precipitação pluviométricos mais baixos. O mês de novembro registrou 0,40 mm de chuva, o maior índice de precipitação pluviométrica para o período (FIGURA 22).

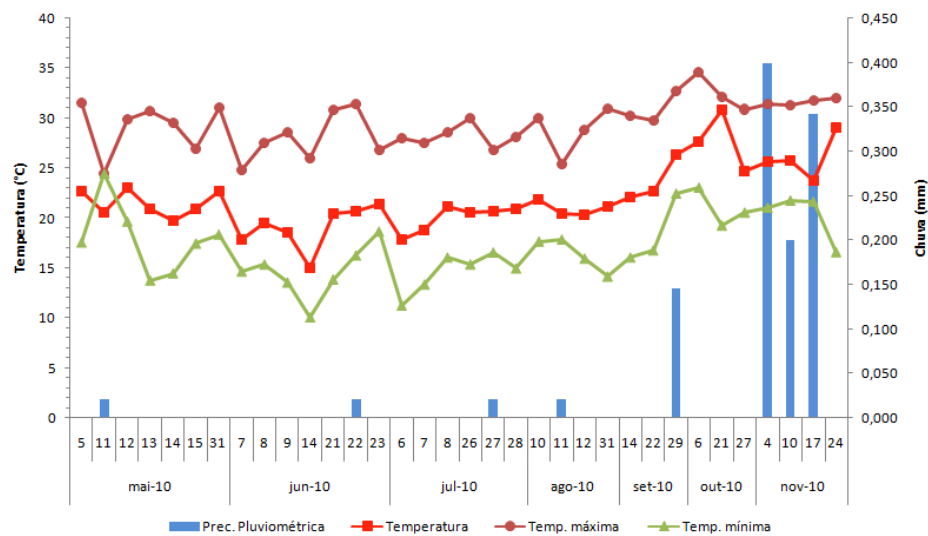


Figura 22: Temperaturas médias, máximas e mínimas e precipitação pluviométrica durante o período amostrado na estação RAMQAM Bom Retiro em Ipatinga-MG.

De acordo com a figura 23, as temperaturas mais altas ocorreram nos meses de setembro, outubro e novembro.

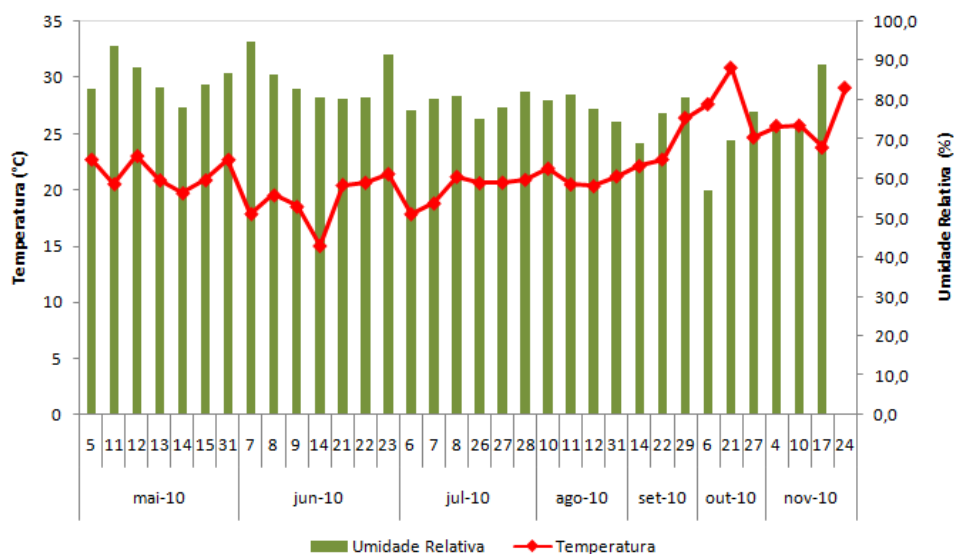


Figura 23: Médias aritméticas diárias da umidade relativa do ar e temperatura no período de amostragem.

A direção do vento para os dias amostrados foram analisadas através de gráficos produzidos por planilha do excel, utilizando os dados fornecidos pela promotoria pública de Meio Ambiente de Ipatinga obtidos pela estação da RAMQAM Bom Retiro (FIGURAS 24 e 25).

Foi observado que a direção do vento nos dias compreendidos entre as estações de outono e inverno (31 de maio a 12 de agosto) no ano de amostragem foi predominante no sentido sul-sudeste (SSE), variando em alguns dias no sentido leste-sudeste (ESE) (FIG. 24). As velocidades médias do vento variaram entre 0,5 e 1,8 m.s⁻¹ no período de amostragem de maio a novembro, sendo que nos meses referentes às estações de outono e inverno apresentaram uma média de 0,6 m.s⁻¹ e 1,2 m.s⁻¹ nos meses da estação de primavera.

O comportamento da direção do vento nos meses em que compreenderam a estação da primavera (14 de setembro a 17 de novembro) foi de calmaria, direção sudeste até leste-nordeste (FIG. 24), o que não é muito favorável à qualidade do ar.

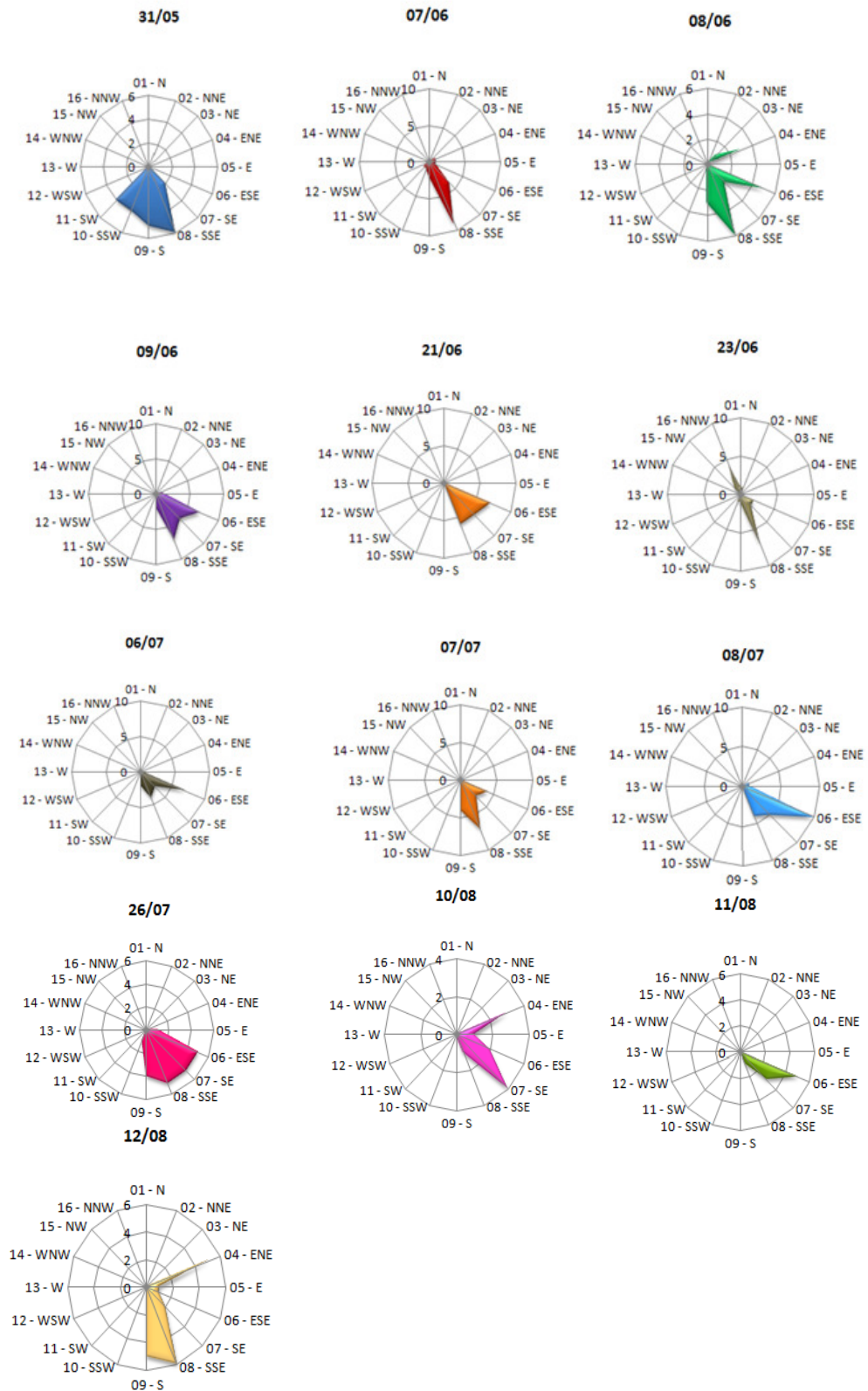


Figura 24: Direção e velocidade do vento (km.h^{-1}) nos dias de amostragem compreendidos entre os meses referentes às estações de seca.

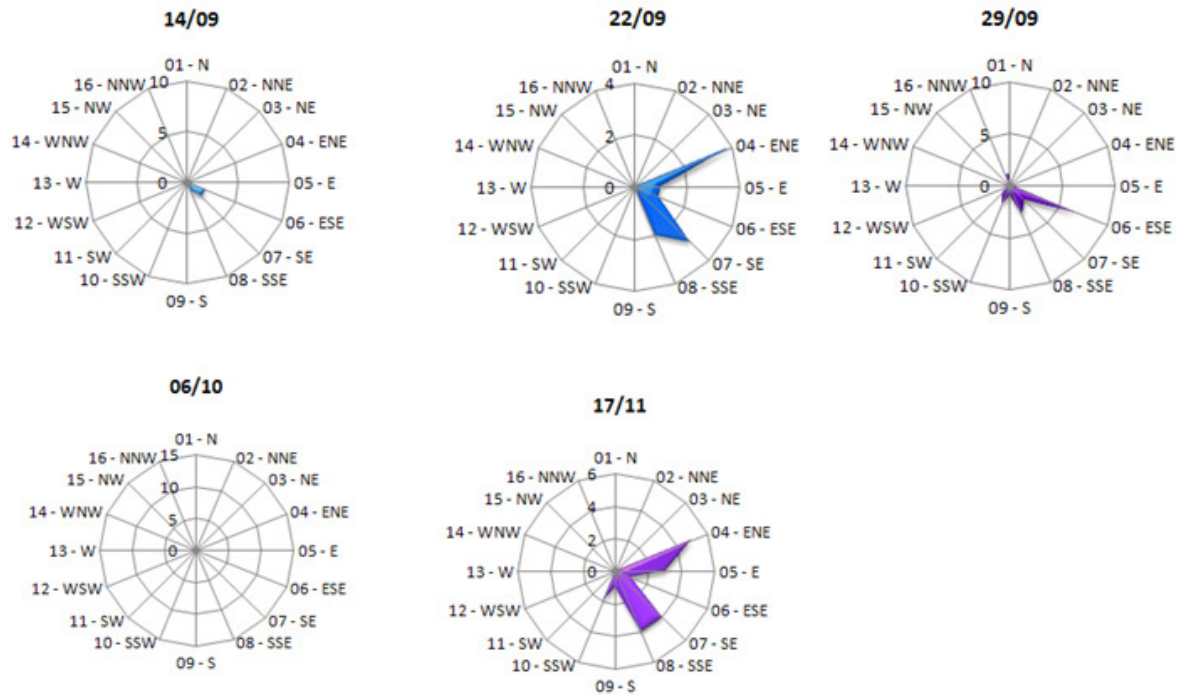


Figura 25: Direção e velocidade do vento (km.h^{-1}) nos dias de amostragem compreendidos entre os meses referentes à estação de transição entre seca e chuva.

5.6 Análises Estatísticas

As técnicas analíticas utilizadas para o tratamento estatístico dos dados de PTS, MP₁₀ e SO₂ foram média aritmética e desvio padrão a partir do conjunto de amostras dos valores diários das concentrações. As diferenças estatísticas entre a estação seca (maio a agosto) e estação de transição entre seca e chuva (setembro a novembro) e entre os pontos de amostragem (FAB e IPA) foram avaliadas utilizando TESTE-T ou Teste de Wilcoxon, quando não encontrada normalidade e/ou homogeneidade dos dados (AMATO *et al*, 2009).

Para análise dos dados à cerca da classificação da qualidade do ar foram utilizados os dados diários tanto pelo método HI-VOL quanto pelo método RAMQAM, foram utilizados todos os valores do período amostrado, ou seja, não foi utilizada média diária ou mensal, haja vista que as amostragens pelo método HI-VOL foram realizadas diariamente e pelo método RAMQAM a cada hora.

A comparação das concentrações dos elementos em ambos os municípios foi realizada por teste não paramétrico de Wilcoxon, pois não foi encontrada normalidade dos dados. A relação entre as concentrações dos elementos bem como entre estes e as concentrações de PTS e MP₁₀ foram avaliadas por correlação de Pearson (AVINO *et al*, 2008).

6 RESULTADOS

Os resultados das concentrações de PTS, MP₁₀ e SO₂ foram apresentados e discutidos para cada ponto de amostragem.

Os dados obtidos também foram relacionados com as condições meteorológicas, precipitação, temperatura, umidade relativa e direção do vento observados durante o período de amostragem nos dois municípios em questão.

A quantificação das concentrações elementos nos filtros amostrados foram discutidos e comparados nos dois pontos de amostragem, cujos resultados brutos obtidos pela técnica de AAS e FEC (K e Na) foram apresentados nas TABELAS 13, 14, 15 e 16 do apêndice 02 e as concentrações dos elementos obtidas por AANI estão apresentadas nas TABELAS 17, 18, 19 e 20, também do apêndice 02. Nestas tabelas foram apresentados todos os resultados de relevância dos elementos analisados, a partir disso foram selecionados os resultados de determinada técnica que apresentou melhor relevância com a realidade local para o tratamento estatístico, haja vista que alguns elementos foram analisados por duas técnicas distintas.

6.1 Partículas Totais em Suspensão

A concentração de PTS se manteve abaixo do padrão secundário de 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ da resolução CONAMA 03/1990 em ambos os pontos amostrados e durante todo o período de amostragem, com exceção do dia 09 de junho em FAB, que apresentou um valor máximo de 167 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (FIG. 26A). Neste mesmo dia, foi observado um valor de 110 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ em Ipatinga (FIGURA 26B).

Esta concentração mais elevada no dia 9 de junho em FAB, pode ter ocorrido por influência de um incêndio florestal numa área de preservação próxima aos pontos amostrados que ocorreu neste mesmo dia. Tal relação corrobora com o afirmado por Silva (2010) que incêndios florestais se enquadram em fontes naturais de material particulado.

Além do dia 9 de junho, também houve incêndio florestal no dia 26 de julho, o que colaborou no aumento de PTS neste dia num valor de 140 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ em Ipatinga. Nestes dias o tempo estava seco (inverno), com poucas rajadas de vento, dificultando a dispersão dos poluentes (FIG. 22 e 24). A presença de ventos determina a distância e a direção que as partículas percorrerão para posterior deposição (GOYAL, 2002). Segundo Bilos *et al* (2001) e

Moreno-Grau *et al.* (2000), nos períodos de outono e inverno no hemisfério sul, as concentrações dos poluentes tendem a se apresentar mais elevadas.

Em FAB as médias das concentrações de PTS se apresentaram com maior variação e média mais elevada nos meses entre maio e agosto (estação seca) se comparado com o período de transição entre as estações seca e chuvosa (setembro a novembro) (Teste-T, N= 21; DF=1; T= 2,825; p=0,0108). Já em IPA, apesar da ligeira variação, as médias das concentrações não mostraram diferenças significativas entre os períodos de seca e transição seca e chuva (Teste-T, N= 18; DF=1; T= 1,931; p=0,0714), ou seja, neste ponto os valores das concentrações foram mais homogêneos do que FAB durante os dois períodos. Isto também pode ser comprovado pelo resumo estatístico das concentrações na TAB. 1, onde o desvio padrão das concentrações em FAB se apresentou ligeiramente maior do que em IPA.

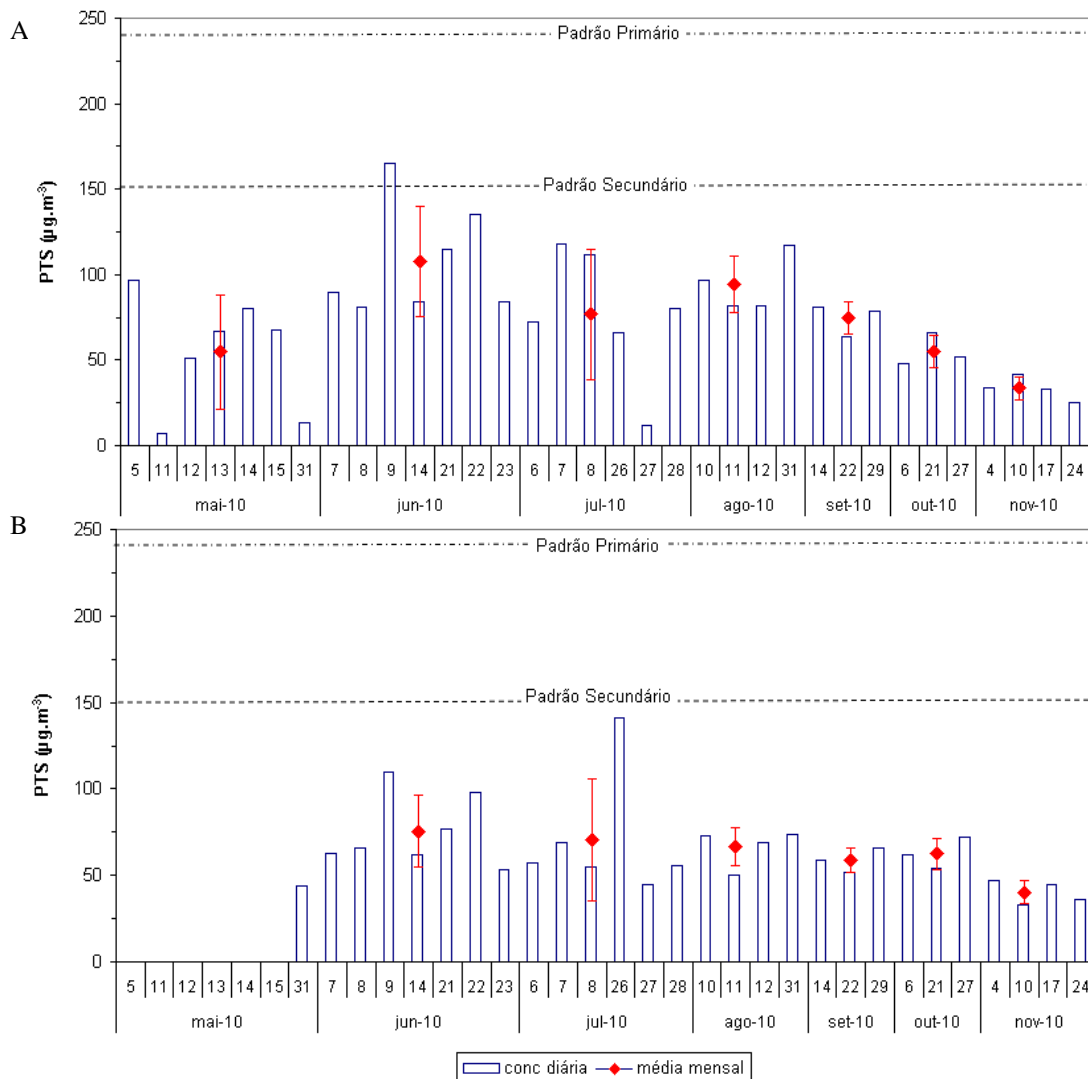


Figura 26: Concentrações diárias de PTS ($\mu\text{g.m}^{-3}$) nos pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B) e suas respectivas médias aritméticas mensais e desvio padrão no período de maio a novembro de 2010. As linhas Tracejadas indicam os padrões de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA n° 03/1990.

Estas variações nas concentrações de PTS podem, contudo, terem sido em decorrência da instabilidade das condições meteorológicas ocorrida no período de amostragem, especialmente como observado nos resultados dos dias 11 de maio, 22 e 23 de junho e 27 de julho em ambos os municípios amostrados, onde houve ocorrência de sutil precipitação (FIG. 22). Conforme proposto por Magalhães (2005), as condições meteorológicas estão diretamente relacionadas à quantidade de partículas totais em suspensão na atmosfera.

Tabela 1: Resumo estatístico das concentrações de PTS, expressas em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, para os pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (FAB) e Ipatinga (IPA).

Estação	CORONEL FABRICIANO		IPATINGA	
	Mean (SD)	Min-Max	Mean (SD)	Min-Max
Seca	82,29 (37,16)	7 - 165	70,11 (24,51)	44 - 141
Transição	52,40 (19,55)	25 - 81	52,60 (12,63)	33 - 72
Total	73,5 (35,5)	7 - 165	63,4 (22,5)	33 - 141

Pode-se observar que nos meses entre agosto a novembro os desvios padrão para as médias aritméticas mensais de ambos os pontos, foram menores comparados aos meses anteriores (FIG. 26). Isto pode ter sido devido ao aumento da precipitação pluviométrica nesses meses (FIG. 22), diminuindo assim os índices de concentração de material particulado. As precipitações favorecem a depuração atmosférica, promovendo a remoção de partículas suspensas por deposição úmida (QUEROL *et al*, 1999, RAGOSTA *et al*, 2002).

Por outro lado, as maiores concentrações de PTS foram obtidas entre os meses de junho a setembro (FIG. 26). Isto provavelmente se deve a estiagem, onde se observou alta porcentagem de calmaria, ou seja, quando a velocidade do vento é menor que $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (FIGURA 22).

Mais especificamente nos dias 31/05, 26/07 e 12/08, a direção do vento variou entre sudoeste a leste-sudeste, o que pode ter influenciado nos valores mais altos de PTS em IPA e MP_{10} em FAB, principalmente no dia 26/07. Considerando como referência a USIMINAS, pode-se prever que a pluma de material particulado advindo da mesma se dispersou em maior ângulo, afetando os pontos de amostragem. Com relação à APERAM (Arcelor Mital), para este dia em particular, pode-se dizer que não houve influência desta siderúrgica, levando em consideração que os pontos de amostragem em Coronel Fabriciano e

Ipatinga se encontravam à nordeste e leste-nordeste da mesma, respectivamente, conforme apresentado na FIG. 24.

Esta tendência sazonal também foi observada na cidade de Ouro Preto no Brasil (MAGALHÃES, 2005), na cidade de La Plata na Argentina (BILOS *et al*, 2001), em cidades do hemisfério norte nos meses de outono e inverno, como Cartagena na Espanha e Copenhagem na Dinamarca (MORENO-GRAU *et al*, 2000).

Nos municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga o padrão primário legal de $240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de concentração de PTS, para períodos curtos de 24 horas, não foi excedido durante o período amostrado de sete meses, estando em conformidade com a legislação.

Apesar de não apresentar diferença significativa entre os valores médios de PTS entre FAB e IPA (Teste-T, $N=39$; $DF=1$; $T= 0,705$; $p=0,4852$), FAB foi o único ponto onde o padrão secundário do CONAMA 03/1990 foi excedido. Esta concentração mais elevada pode ter sido devida à influência do tráfego de veículos próximo ao local de amostragem no município de Coronel Fabriciano. A menos de 200 m deste ponto de amostragem há uma rodovia de grande importância no transporte da região, onde pode haver significativa ressuspensão de poeira, através de caminhões pesados, escapamentos de gases nos canos dos veículos, os quais são caracterizados como uma forma de fonte móvel de emissão atmosférica (AMATO *et al*, 2009). O estudo realizado por Querol *et al* (2007) em áreas urbanas e industriais na Espanha, também apresentou resultados onde o tráfego de veículos contribuiu para os altos níveis de material particulado. (QUEROL *et al*, 2007).

A tendência a maior concentração de PTS em FAB decorrente do tráfego de veículos é reforçada pelo fato que o ponto de amostragem no município de Ipatinga, localizado no bairro Bom Retiro, apresenta um volume de tráfego de veículos 1,47 vezes menor em relação ao ponto de amostragem no município de Coronel Fabriciano. A média aritmética da quantidade de veículos que trafegam nos horários de pico na rotatória do bairro Bom Retiro próximo ao ponto de amostragem foi de 4.845 veículos/hora em três dias de contagem, enquanto que no bairro Caladinho (Coronel Fabriciano) foi de 7.134 veículos/hora, também em três dias de contagem e nos horários de pico.

Além disto, o ponto de amostragem em Coronel Fabriciano apresenta uma maior variação de fontes de emissão em relação ao ponto de amostragem em Ipatinga. Existem ao redor de FAB empresas que são caracterizadas como fontes fixas de emissão atmosférica: indústrias de cimento, manilhas, madeireiras, fábrica de carrocerias, loja de materiais de construção, marmorarias, lanternagens, oficinas, ferro velho, empresa de polimento de veículos, empresa de transportes rodoviários; o que propicia a tendência de valores mais

elevados da concentração de PTS neste ponto. O resultado do inventário de fontes de emissão realizado nessa pesquisa é encontrado no APÊNDICE 1; QUADROS 14 e 15.

É importante salientar que Coronel Fabriciano apresenta uma maior quantidade de mares de morros, no entorno e no interior do município, se comparado ao município de Ipatinga, conforme já mencionado nesta pesquisa, o que favorece a estagnação dos poluentes nas partes mais baixas do município. A topografia local exerce influência no comportamento dos poluentes atmosféricos, especialmente das partículas em suspensão (MAGALHÃES, 2005). Fundos de vales e regiões mais baixas são locais que dificultam a dispersão dos poluentes e favorecem a concentração de material particulado. O vento tende a descer as encostas, principalmente à noite, e se direcionar para fundos de vales (BRAGA *et al*, 2002).

Portanto, observa-se também que o município de Coronel Fabriciano está situado entre duas importantes cidades, onde existem indústrias siderúrgicas e outras fontes de emissão, através das quais o material particulado pode ser transportado com a ajuda do vento (TURN *et al*, 1997) para o município em questão.

6.2 Partículas Inaláveis em Suspensão – MP₁₀

As concentrações de partículas inaláveis em FAB variaram entre 12 a 167 $\mu\text{g.m}^{-3}$, apresentando média de concentração maior do que IPA, 43,95 e 25,11 $\mu\text{g.m}^{-3}$, respectivamente (TAB. 2) (Teste de Wilcoxon, N=39; DF=1; Z= -2,38; p=0,0171) durante todo o período amostrado (FIGURA 27).

Também em FAB a concentração de partículas inaláveis apresentou valores maiores no período de estação seca (julho e agosto) se comparado com o período de transição entre seca e chuva (setembro a novembro) (Teste-T, N= 21; DF=1; T= 4,517; p=0,0002). Isto pode ser explicado pelas variações nas condições meteorológicas no período amostrado conforme já discutido no item anterior.

Em IPA os padrões primários e secundários (150 $\mu\text{g.m}^{-3}$) da resolução CONAMA, não foram excedidos durante o período de amostragem (Fig. 27B). Além disso, os valores de concentração foram relativamente baixos e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as estações de seca e transição (Teste-T, N= 18; DF=1; T= -1,372; p=0,1891). Isto indica uma maior estabilidade nas concentrações de MP₁₀ em IPA, que apresentou valores que variaram entre 7 a 38 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e desvio padrão de 7,05 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (TAB. 2). Esta maior estabilidade pode ser devido à menor quantidade de fontes de emissão neste ponto.

Sobretudo, o tráfego de veículos próximo à este ponto de amostragem foi relativamente menor se comparado à FAB, conforme mencionado no item anterior.

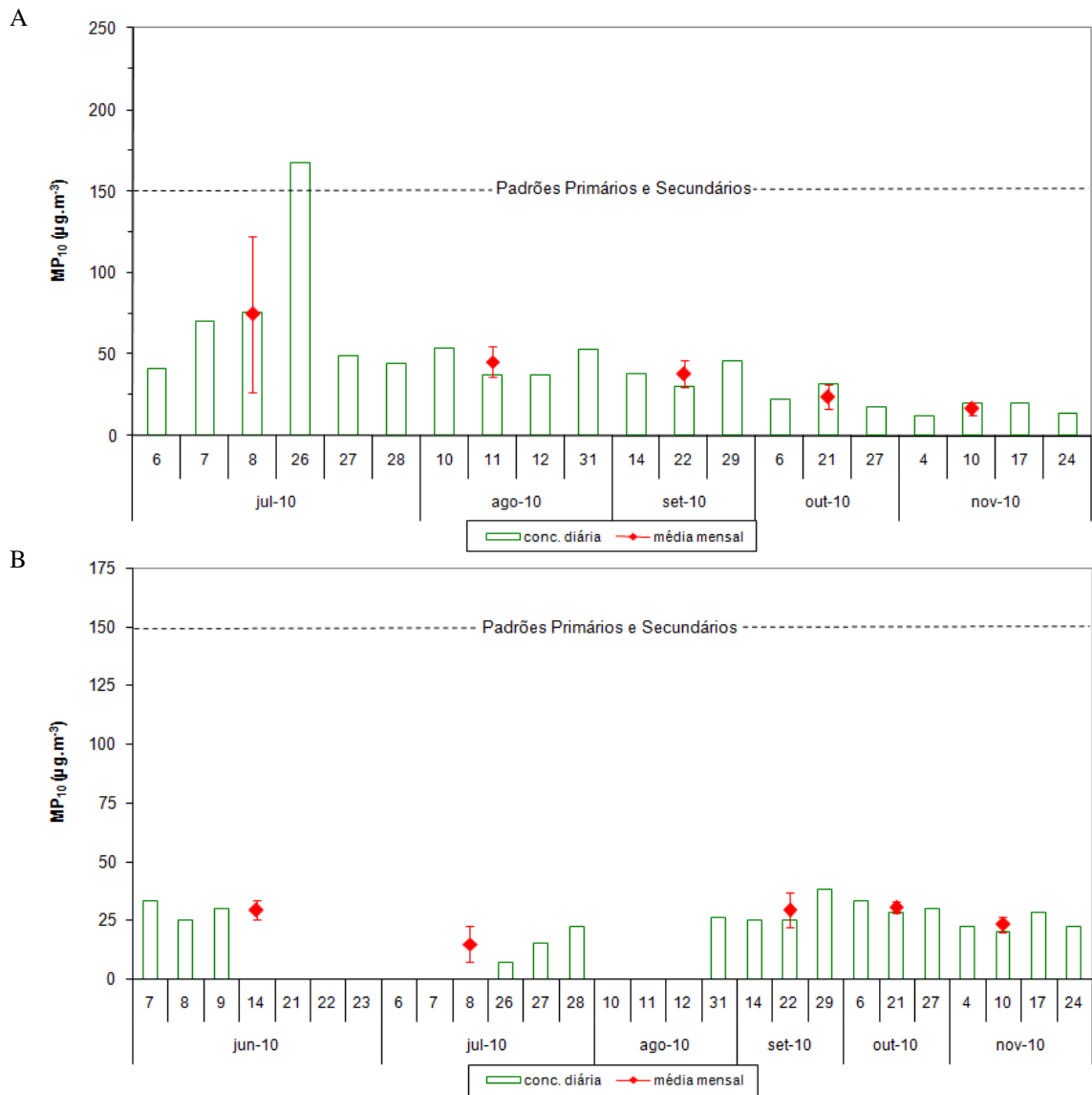


Figura 27: Concentrações diárias de MP_{10} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) nos pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B), no período de junho a novembro de 2010, comparadas aos padrões de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA n^o 03/1990 e suas respectivas médias aritméticas mensais e desvio padrão.

Tabela 2: Resumo estatístico das concentrações de MP_{10} , expressas em $\mu\text{g.m}^{-3}$, para os municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga.

Estação	CORONEL FABRICIANO		IPATINGA	
	Mean (SD)	Min-Max	Mean (SD)	Min-Max
Seca	61,00 (37,37)	37 - 167	22,63 (8,3)	7 - 33
Transição	25,20 (10,96)	12 - 46	27,10 (5,53)	20 - 38
Total	43,95 (32,98)	12- 167	25,11 (7,05)	7 - 38

Os padrões primários e secundários ($150 \mu\text{g.m}^{-3}$) foram excedidos apenas no dia 26 de julho ($167 \mu\text{g.m}^{-3}$) durante o período de amostragem no município de Coronel Fabriciano, o que pode ser explicado, como demonstrado no item anterior, por um incêndio florestal (FIG. 27A). Vale destacar que o incêndio florestal não afetou as concentrações de MP_{10} em Ipatinga. Os valores de concentração nos dias de ocorrência de incêndio, neste local, foram de 7, 15 e $22 \mu\text{g.m}^{-3}$ nos dias 26, 27 e 28 de julho, respectivamente. Portanto, pode-se afirmar que o material particulado emitido através dos gases do incêndio, produziu maior efeito em Coronel Fabriciano do que em Ipatinga, devido provavelmente a fumaça ter se direcionado para Coronel Fabriciano e permanecido estagnada nesse local em decorrência de sua topografia. Segundo Braga *et al* (2002), os poluentes de tamanhos aerodinâmicos maiores podem permanecer estagnados entre vales, durante tempo suficiente para se transformarem em partículas menores.

O processo de combustão sob temperaturas elevadas formam partículas que em seu interior podem ocorrer reações químicas e favorecer os processos de condensação e coagulação das partículas fazendo com que as mesmas permaneçam durante dias a semanas no ar ambiente (CETESB, 2008; US EPA, 2009). Entretanto, havendo uma queimada, o material particulado formado pela mesma (poluente primário) se caracteriza como partículas maiores, mas com o passar do tempo se não há dispersão destas partículas, em decorrência da falta de vento, as mesmas podem permanecer no ambiente tempo suficiente para sofrer transformações na atmosférica e o produto (poluente secundário) dessas transformações são partículas menores, as quais se caracterizam como MP_{10} . Além disso, o tráfego de veículos pode também ter contribuído para o aumento da concentração de MP_{10} nos meses supracitados em FAB.

Em Ipatinga, nos dias entre 14 de junho e 08 de julho e 10 a 12 de agosto não foram realizadas amostragens devido a problemas no motor do AGV – MP_{10} para este município.

6.3 Dióxido de Enxofre – SO₂

O padrão secundário (100 µg.m⁻³) para concentração de SO₂ não foi excedido em nenhum dia do período amostrado em ambos os municípios, estando de acordo com a legislação (FIG. 28). Comportamento semelhante foi observado no estudo sobre poluição atmosférica e atendimento por gripe e pneumonia em São Paulo, Brasil (MARTINS *et al*, 2002). Os valores variaram entre 13,2 a 31,1 µg.m⁻³ em FAB e 9,54 a 48,26 µg.m⁻³ em IPA (TABELA 3).

Não foi observada diferença significativa para as concentrações de SO₂ entre os dois municípios (Teste de Wilcoxon, N=54, DF=1, U=1,059, p=0,3033). Portanto, pode-se supor que as mesmas fontes que influenciam a qualidade do ar em Ipatinga, em termos de SO₂, também influenciam o município de Coronel Fabriciano.

Em contrapartida aos resultados das concentrações de partículas totais em suspensão e partículas inaláveis, as concentrações de SO₂ apresentaram médias menores nos meses de estação seca do que no período de transição entre a estação seca e chuvosa (TAB. 3) nos municípios de Coronel Fabriciano (Teste de Wilcoxon, N=54, DF=1, U=12, p=0,0004) e Ipatinga (Teste -T, N=54, DF=1, F=19, p<0,0001), sendo o período de transição aquele que apresentou temperaturas maiores (FIGURA 28).

Tabela 3: Resumo estatístico das concentrações de SO₂, expressas em µg.m⁻³, para os municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga.

Estação	CORONEL FABRICIANO		IPATINGA	
	Mean (SD)	Min-Max	Mean (SD)	Min-Max
Seca	19,47 (4,53)	14 – 29	21,65 (8,77)	10 – 39
Transição	26,38 (5,66)	13 – 31	29,30 (11,26)	13 – 48
Total	21,41 (5,54)	13 – 31	24,28 (9,99)	10 – 48

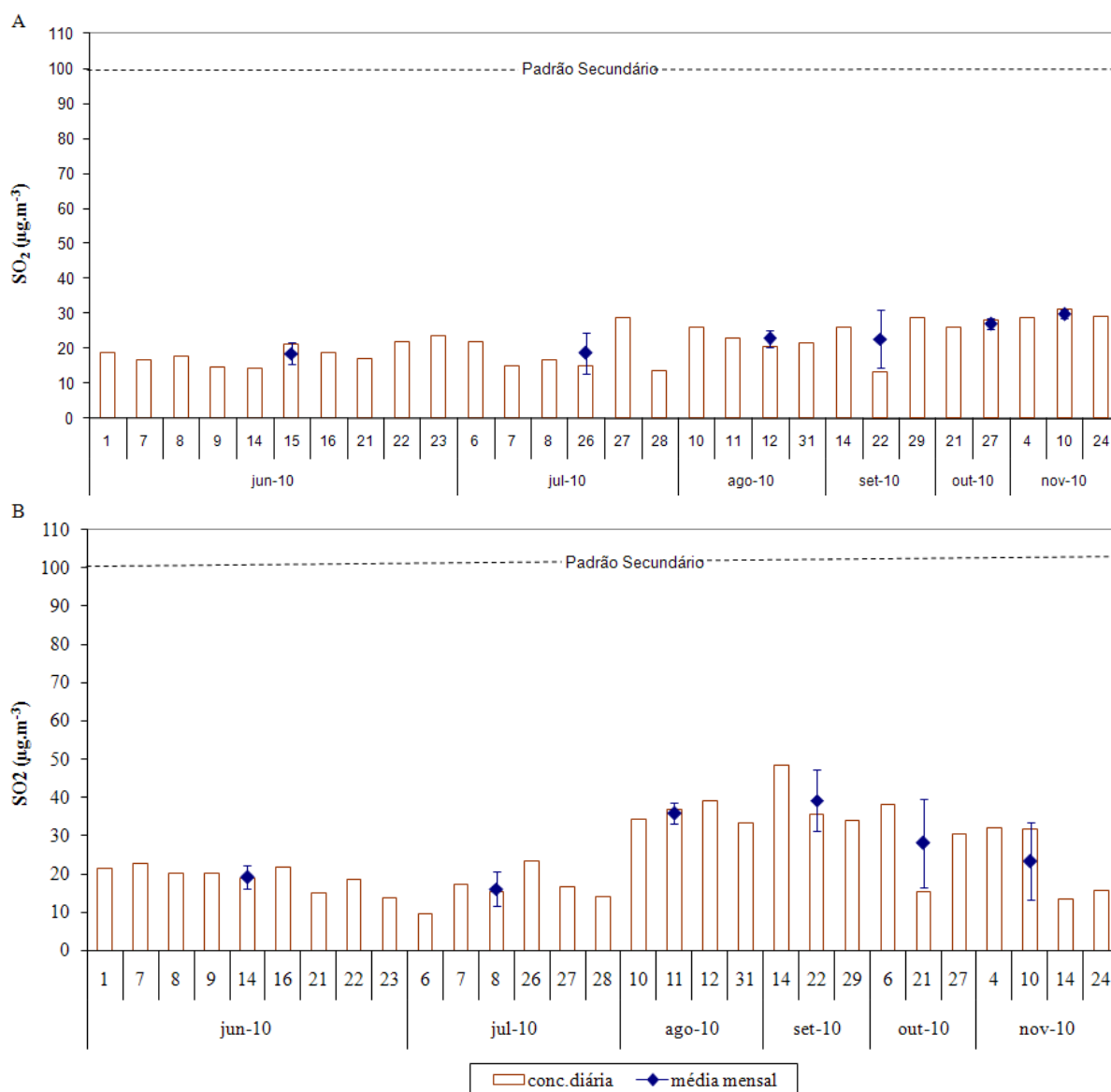


Figura 28: Concentrações diárias de SO₂ (µg.m⁻³) nos pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano (A) e Ipatinga (B) e suas respectivas médias aritméticas mensais e desvio padrão no período de junho a novembro de 2010. As linhas tracejadas indicam o padrão de qualidade do ar previstos na Resolução CONAMA n° 03/1990 para SO₂.

As maiores concentrações de SO₂ na estação de transição entre seca e chuva (setembro a novembro), pode ser devido à associação do dióxido de enxofre com a umidade relativa do ar e presença de chuva, ou seja, ele pode se apresentar em maior quantidade na fase aquosa através da conversão heterogênea, quando há maior presença de nuvens e neblina (PANDIS *et al.*, 1992). Vale lembrar que estes meses estão compreendidos entre o final da estação de inverno e início da primavera, nas quais as condições climáticas tendem a ser

favoráveis à formação de nuvens. Isto não ocorreu nos dias do final do mês de setembro e início do mês de outubro, onde a umidade relativa do ar apresentou um leve declínio (FIG. 23), juntamente com a concentração de SO_2 , mais especificamente em IPA. Por outro lado, a quantidade de chuva aumentou neste mesmo período (FIG. 22) o que pode ter contribuído para a rápida formação de sulfato, através do processo de nucleação e condensação, nos quais se faz necessário determinada quantidade de água para ocorrência (VIANA *et al*, 2008). Além disso, os locais de amostragem tanto em FAB quanto em IPA encontram-se dentro da área urbana, onde a emissão de SO_2 tende a ser mais elevada do que em áreas rurais (AMATO *et al*, 2009; VIANA *et al*, 2008).

Cabe ressaltar, que em condições mais úmidas do ar, o valor da concentração de SO_2 é estimado pela quantidade de formação de sulfato (SO_4^{2-}), o qual tem como consequência a ocorrência da chuva ácida, decorrente da associação da umidade do ar ao ânion supracitado (ANDRADE, 2002). Além disso, a ocorrência de SO_2 também pode contribuir para formação de ozônio fotoquímico (O_3) por meio do processo de oxidação nas condições atmosféricas favoráveis, frequentemente associadas a ocorrência de névoa e redução da visibilidade (PANDIS *et al.*, 1992). O SO_2 em conjunto com o íon hidróxido (OH^-) formam o trióxido de enxofre (SO_3) e o radical hidropéroxido (HO_2). O SO_3 reage com vapores de água no ar, formando o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o radical hidropéroxido (HO_2) também formado reage com óxido de nitrogênio (NO), já presente na atmosfera, formando dióxido de nitrogênio (NO_2), que em presença de foto-radiação produz ozônio fotoquímico (PANDIS *et al.*, 1992).

Após um episódio de formação de neblina, em Los Angeles, altas concentrações de sulfatos foram observadas no aerossol (ANDRADE, 2002). A simulação do episódio envolvendo reação em fase gasosa e fase líquida indica que cerca de 40% da concentração de sulfato deve ser proveniente do processo homogêneo (fase gasosa), enquanto que as diversas reações possíveis de ocorrerem em fase aquosa devem ser responsáveis por 60% do sulfato produzido a partir do SO_2 emitido (PANDIS, 1992 apud ANDRADE, 2002).

Em decorrência das temperaturas mais altas nos meses de setembro, outubro e novembro (FIG. 23) justificam-se também valores mais altos de SO_2 nos meses de estação de transição entre seca e chuva (setembro a novembro) e valores mais baixos na estação seca (maio a agosto) confirmando de acordo com a literatura que o processo de oxidação do enxofre (S°) na atmosfera está diretamente relacionado às condições meteorológicas e climáticas, obtendo maiores concentrações de SO_2 em temperaturas mais altas e menores em temperaturas mais baixas (QUEROL *et al*, 1999).

6.4 Doenças no Trato Respiratório no Município de Coronel Fabriciano

O percentual de atendimentos por doenças no trato respiratório no município de Coronel Fabriciano se apresentou em maior quantidade no mês de setembro de 2010, representando mais da metade (50,5%) dos atendimentos na unidade hospitalar. Em agosto, este também representou uma parcela significativa dos atendimentos (42,3%), enquanto em julho eles foram inferiores a 10% (FIGURA 29).

No mês de agosto, foi observado um evidente acréscimo no número de doenças respiratórias nas vias superiores, o que pode ser devido ao aumento de PTS neste mês (FIG. 26) . As partículas de PTS são maiores, portanto se alojam nas vias superiores do trato respiratório, causando sinusites, amidalites e faringites (doenças do trato respiratório superior) como observado na TAB. 10 do APÊNDICE 01.

Apesar de no mês de setembro a concentração de poluentes não tenha sido mais elevada do que em agosto, o alto índice de doenças no trato respiratório, pode ter sido devido ao leve aumento de temperatura em conjunto com a baixa umidade do ar relativa (Fig. 23) associado a níveis de poluentes relativamente elevados. Neste período foi observada, mesmo com uma diminuição das concentrações de poluentes, maiores índices de sinusite, bronquite crônica, pneumonia e infecções, possivelmente decorrente da sistêmica exposição aos poluentes no mês anterior, o que levou o agravamento do quadro das doenças no trato respiratório das vias aéreas superiores para as vias inferiores.

Entretanto, segundo Moura *et al* (2008), o número de atendimentos pediátricos por doenças das vias aéreas inferiores, apresentou um evidente crescimento no início dos meses de clima mais frio, o que não ocorreu nesta pesquisa. Apesar disto, ainda no estudo de Moura foi observado um aumento dos atendimentos totais e dos atendimentos por sintomas nessas vias no início de outubro, o que corrobora o aumento dessas no mês de setembro, como apresentado neste estudo.

Dutra *et al.* (2010) enfatizaram que a pneumonia constitui uma importante causa de internação na Macrorregião Leste e no Vale do Aço, uma vez que a taxa de internação é elevada e vem apresentando oscilações ao longo dos anos, assim como as doenças obstrutivas crônicas são as principais causas de morte em idosos por doenças do aparelho respiratório. Essas doenças acontecem especialmente nos meses de maio, junho, julho e agosto em ambas as regiões. Pelos resultados desta pesquisa, esta enfermidade parece estar associada às condições de poluição atmosférica e condições climáticas (temperatura e umidade do ar).

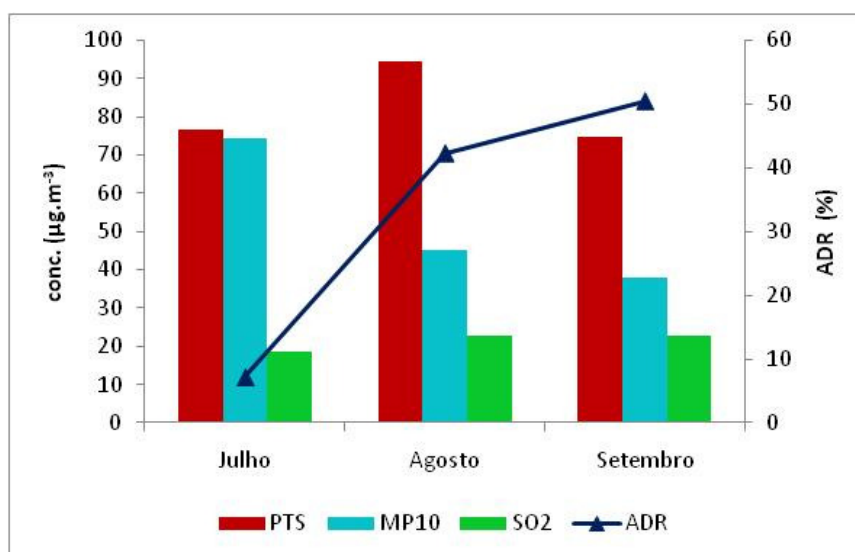


Figura 29: Relação entre PTS, MP₁₀ e SO₂, em µg.m⁻³ e os Atendimentos por Doenças Respiratórias (ADR) no município de Coronel Fabriciano nos meses de julho, agosto e setembro de 2010.

6.5 Concentrações de Elementos

Os elementos nos filtros de PTS e MP₁₀ nos pontos em Coronel Fabriciano e Ipatinga foram obtidos pelos métodos de Absorção Atômica (AAS) Al, Ca, Cu, Cd, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Ti, Zn, Ativação Neutrônica (AANI) As, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, La, Sb, Sc, Sr, Th, K, Zn, Zr, K e Fotometria de Emissão de Chama (FEC) o elemento Na.

Foram observadas concentrações importantes dos elementos Sn e Fe, em ambos os tamanhos aerodinâmicos de partículas amostrados (PTS e MP₁₀) em FAB e IPA. As FIGURAS 30 e 31 demonstram o percentual das concentrações médias dos elementos nos pontos de amostragem nas frações de PTS e MP₁₀.

O Sn foi o elemento que apresentou maior valor de concentração nas PTS e o Fe se apresentou em maior concentração nas MP₁₀ (FIGURAS 30 e 31).

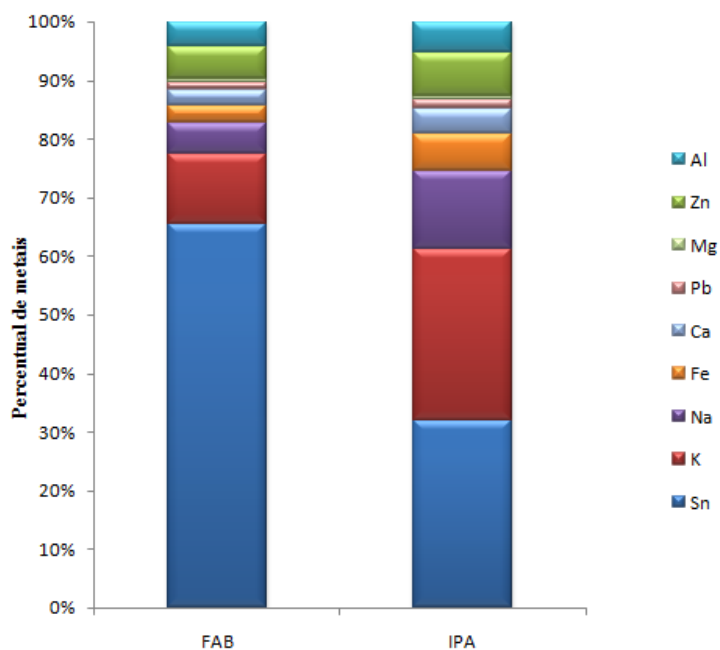


Figura 30: Concentrações médias relativa aos elementos (ng.m^{-3}) encontrados nas PTS em FAB e IPA.

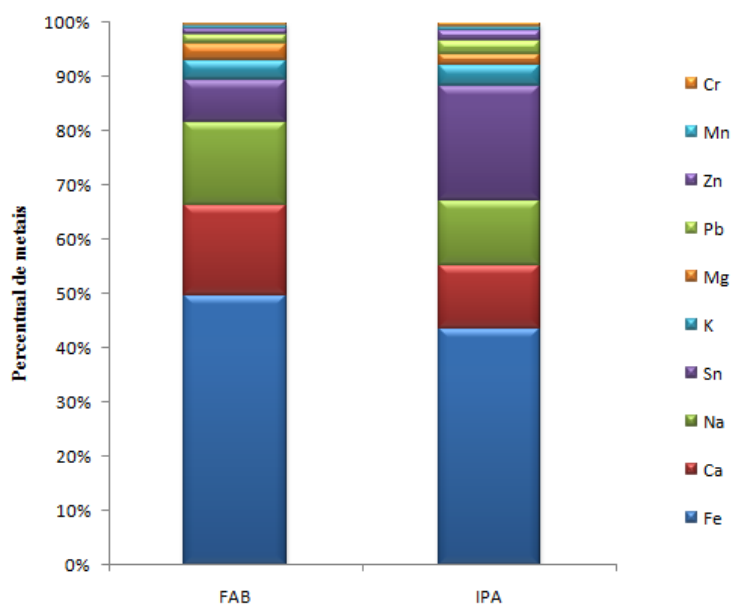


Figura 31: Concentrações médias relativa aos elementos (ng.m^{-3}) encontrados nas MP_{10} em FAB e IPA.

Os valores médios de Sn em FAB foram de 5572 ng.m⁻³ e 12,1 ng.m⁻³ e os de Fe foram de 246 ng.m⁻³ e 77,3 ng.m⁻³ para PTS e MP₁₀, respectivamente. Em Ipatinga os valores médios de Sn foram de 1820 ng.m⁻³ no PTS e 17,19 ng.m⁻³ no MP₁₀; e para o Fe estes foram no PTS igual a 360 ng.m⁻³ e 35,7 ng.m⁻³ no MP₁₀ (TAB. 4 e 5). Não foram detectadas diferenças nas concentrações médias de Fe (Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=2,79, p=0,0943; Teste T, N=45, DF=1, F=1,963, p=0,1684) e Sn (Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=0,0623, p=0,8030; Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=0,4813, p=0,4879) entre os dois pontos de coleta para MP₁₀ e PTS, respectivamente.

Em consequência das elevadas concentração desses elementos, foi observado que em ambos os pontos de amostragem e tamanho de partículas, o limite máximo permissível, de acordo com a OMS (2008), para valores de concentração de Sn ($\leq 5,0$ ng.m⁻³) e Fe (≤ 10 ng.m⁻³) foram excedidos. Ressalta-se que de acordo com a OMS o limite de 5,0 ng.m⁻³ de Sn é válido para ambientes fechados. Entretanto, é preocupante a ocorrência de episódios de elevadas concentrações desse metal na atmosfera agregado às PTS, pois estas que podem vir a contaminar o ar no interior das instalações. Como enfatizado por Cancio *et al* (2008), vários estudos indicaram que 70% das PTS são compostas por partículas menores que 10 μm (MP₁₀), o que pode trazer a longo prazo prejuízos irreversíveis à saúde pública (WHO, 2008).

As elevadas concentrações de Sn e Fe seriam esperadas, visto que a região é um pólo industrial da siderurgia que usa como matéria-prima o minério de ferro. Este, desde o transporte e armazenagem à produção do aço, emite além do Fe, o Sn. O Sn pode estar agregado ao minério de ferro (AMATO *et al*, 2009; QUEROL *et al*, 2007), o qual se precipita na rodovia e logo é também ressuspensionado pelo tráfego de veículos. O metal Fe, além da possibilidade de ser advindo das indústrias siderúrgicas da região e processos de chapeamento e galvanização (ORAVISJÄRVI *et al*, 2003), também é proveniente da crosta terrestre, ou seja, se faz presente no solo das estradas (CANCIO *et al*, 2008).

Entre as boas correlações evidenciadas neste estudo com valores de “r” de PEARSON entre 0,70 e 1,0, (AVINO *et al*, 2008) foram observadas nas PTS em FAB tais correlações entre Sn e Al (r=0,70) (TAB. 6). O mesmo é proveniente de fonte natural (material geológico) e pode ter sido ressuspensionado agregado ao Sn, além de também ser advindo com abundância de caldeiras a queima de carvão (DAVIS, 2000). Foram observados valores de concentração de Al nas PTS de 360 ng.m⁻³ e 300 ng.m⁻³ em FAB e IPA, respectivamente, sendo este um dos elementos majoritários na composição das partículas em suspensão (TABELA 4). Nas PTS em IPA, o Sn não apresentou correlação significativa com elemento algum (TABELA 7).

Tabela 4: Resumo estatístico das concentrações em ng.m^{-3} dos elementos associados ao PTS no município de Coronel Fabriciano e Ipatinga. Média aritmética, desvio padrão (DP), valores mínimos e máximos.

	CORONEL FABRICIANO		IPATINGA	
	Média (DP)	Min-Max	Média (DP)	Min-Max
Al ⁽¹⁾	360 (250)	0,00 – 1020	300 (160)	0,0 – 920
As ⁽²⁾	1,7 (6,6)	0,00 – 33,9	0,5 (0,3)	0,2 – 1,2
Br ⁽²⁾	0,4 (0,3)	0,0 – 1,0	0,4 (0,2)	0,2 – 0,9
Ca ⁽¹⁾	235 (170)	10 – 620	243 (120)	40 – 490
Cd ⁽¹⁾	0,9 (0,2)	0,6 – 1,2	0,19 (0,39)	0,0 – 1,42
Ce ⁽²⁾	0,7(0,6)	0,0 – 2,4	0,6 (0,5)	0,2 – 2,3
Co ⁽¹⁾	0,52 (0,12)	0,31 – 0,72	ND	ND
Co ⁽²⁾	0,04 (0,04)	0,0 – 0,13	0,05 (0,05)	0,0 – 0,17
Cr ⁽²⁾	4,0 (3,3)	0,1 – 9,7	5,2 (6,8)	0,1 – 26,5
Cs ⁽²⁾	0,02 (0,02)	0,0 – 0,06	0,09 (0,10)	0,04 – 0,40
Cu ⁽¹⁾	22,64 (19,14)	0,0 – 101,91	14,0 (8,4)	3,4 – 44,5
Fe ⁽²⁾	245,8 (238,3)	4,3 – 831,9	355,6 (285,9)	63,4 – 1194,2
Hf ⁽²⁾	0,1 (0,1)	0,0 – 0,3	0,08 (0,06)	0,0 – 0,20
K ⁽²⁾	1010 (0,50)	120 – 2130	1670 (0,46)	770 – 2490
La ⁽²⁾	0,1 (0,1)	0,0 – 0,4	0,06 (0,07)	0,0 – 0,26
Mg ⁽¹⁾	63,73 (42,35)	5,43 – 163,42	40,16 (28,23)	4,81 – 149,33
Mn ⁽¹⁾	8,64 (7,59)	0,0 – 30,52	5,15 (3,82)	0,0 – 19,84
Na ⁽³⁾	444 (370)	0,0 – 1310	766 (380)	190 – 2140
Ni ⁽¹⁾	1,67 (0,74)	0,19 – 3,30	1,00 (0,93)	0,0 – 3,30
Pb ⁽¹⁾	100 (360)	0,0 – 1440	90 (300)	0,0 – 1160
Sb ⁽²⁾	0,2 (0,2)	0,0 – 1,0	0,10 (0,08)	0,02 – 0,36
Sc ⁽²⁾	0,05 (0,04)	0,0 – 0,14	0,02 (0,02)	0,0 – 0,11
Sn ⁽¹⁾	5572 (4600)	400 – 17100	1820 (2180)	0,0 – 7280
Sr ⁽²⁾	29,1 (31,6)	8,6 – 76,0	17,8 (12,8)	3,2 – 43,9
Th ⁽²⁾	0,1 (0,1)	0,0 – 0,4	0,08 (0,06)	0,03 – 0,29
Ti ⁽¹⁾	18,12 (26,02)	0,0 – 116,35	ND	ND
Zn ⁽¹⁾	460(320)	50 – 1340	420 (220)	70 – 1100
Zr ⁽²⁾	31,5 (24,0)	1,0 – 67,9	42,4 (6,6)	32,5 – 50,6

(1) Elemento obtido por AAS, (2) Elemento obtido por AANI, (3) Elemento obtido por FEC

Tabela 5: Resumo estatístico das concentrações dos elementos associados ao MP₁₀ no município de Coronel Fabriciano e Ipatinga. Médias aritméticas, desvio padrão, valores mínimos e máximos, expressos em ng.m⁻³.

	CORONEL FABRICIANO		IPATINGA	
	Média (DP)	Min-Max	Média (DP)	Min-Max
Al ⁽¹⁾	4,03 (22,58)	0,00 – 20,70	ND	ND
As ⁽²⁾	0,05 (0,04)	0,00 – 0,14	0,03 (0,02)	0,01 – 0,07
Au ⁽²⁾	ND	ND	0,0 (0,01)	0,0 – 0,04
Br ⁽²⁾	0,16 (0,11)	0,02 - 0,37	0,09 (0,04)	0,01 – 0,14
Ca ⁽¹⁾	25,7 (26,7)	0,7 – 112,3	9,66 (4,38)	1,12 – 16,53
Cd ⁽¹⁾	0,23 (0,35)	0,0 – 1,2	0,17 (0,13)	0,06 – 0,64
Ce ⁽²⁾	2,6 (11,40)	0,0 – 52,2	0,02 (0,01)	0,0 – 0,04
Co ⁽¹⁾	0,09 (23,16)	0,0 – 0,44	0,10 (0,07)	0,04 – 0,36
Cr ⁽²⁾	0,88 (0,90)	0,01 - 3,01	0,6 (0,9)	0,0 – 2,5
Cs ⁽²⁾	< 0,004	< 0,004	0,01 (0,01)	0,0 – 0,03
Cu ⁽¹⁾	0,58 (0,52)	0,06 – 2,46	0,36 (0,20)	0,05 – 2,05
Fe ⁽²⁾	77,3 (71,2)	2,9 – 274,6	35,7 (19,2)	2,7 – 65,2
Hf ⁽²⁾	0,03 (0,08)	0,0 – 0,36	0,01 (0,01)	0,0 – 0,04
K ⁽¹⁾	5,67 (4,44)	0,64 – 20,04	3,16 (1,70)	0,19 – 7,19
La ⁽²⁾	0,05 (0,04)	0,0 – 0,17	0,02 (0,02)	0,0 – 0,07
Mg ⁽¹⁾	4,81 (4,74)	0,24 – 20,31	1,79 (0,79)	0,0 – 2,86
Mn ⁽¹⁾	0,99 (0,91)	0,05 – 3,76	0,55 (0,24)	0,09 – 0,97
Na ⁽²⁾	24,0 (16,7)	4,1 – 62,1	9,9 (5,2)	0,6 – 18,1
Ni ⁽¹⁾	0,40 (0,38)	0,0 – 1,54	0,34 (0,21)	0,10 – 0,84
Pb ⁽¹⁾	2,54 (2,54)	0,0 – 9,67	2,05 (1,51)	0,62 – 7,25
Sb ⁽²⁾	0,06 (0,06)	0,0 – 0,21	0,07 (0,17)	0,0 – 0,72
Sc ⁽²⁾	0,01 (0,02)	0,0 – 0,11	0,0 (0,01)	0,0 – 0,06
Sm ⁽²⁾	0,5 (1,4)	0,0 – 4,6	<0,0002	<0,0002
Se ⁽²⁾	<0,021	<0,021	0,04 (0,01)	0,02 – 0,06
Sn ⁽¹⁾	12,10 (22,31)	0,0 – 93,70	17,19 (38,39)	0,0 – 155,99
Ta ⁽²⁾	0,03 (0,08)	0,0 – 0,28	<0,001	<0,001
Th ⁽²⁾	0,08 (0,23)	0,01 – 1,06	0,01 (0,01)	0,0 – 0,05
Zn ⁽²⁾	1,5 (1,3)	0,1 – 4,8	1,5 (1,2)	0,0 – 4,0

(1) Elemento obtido por AAS, (2) Elemento obtido por AANI.

Tabela 6: Coeficiente de Correlação de Pearson entre as concentrações dos elementos obtidos nas PTS no município de Coronel Fabriciano

	Al	As	Br	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	K	La	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Sc	Sm	Sn	Tb	Th	Ti	Yb	Zn	Zr	PTS
Al																													
As	0,06																												
Br	0,21	0,20																											
Ca	0,89	0,05	0,04																										
Cd	-0,08	-0,25	0,35	-0,18																									
Ce	0,26	0,19	0,80	0,21	0,25																								
Co	0,22	-0,09	0,71	0,21	0,31	0,88																							
Cr	0,23	0,37	0,84	0,11	0,17	0,86	0,73																						
Cu	0,60	-0,06	-0,09	0,70	0,06	-0,01	0,02	-0,07																					
Fe	0,10	0,31	0,72	0,03	0,02	0,57	0,55	0,77	-0,08																				
Hf	0,15	0,54	0,37	0,14	0,16	0,66	0,45	0,49	-0,04	0,02																			
K	0,11	-0,09	0,48	0,06	0,16	0,61	0,58	0,62	0,00	0,57	0,13																		
La	0,12	-0,08	0,55	0,08	-0,06	0,52	0,54	0,58	-0,01	0,71	-0,11	0,74																	
Mg	0,83	-0,04	0,36	0,88	0,17	0,50	0,50	0,34	0,61	0,10	0,35	0,19	0,12																
Mn	0,67	-0,04	0,25	0,84	0,20	0,44	0,46	0,27	0,68	0,07	0,31	0,20	0,13	0,94															
Na	0,81	0,06	0,07	0,65	-0,17	0,14	0,10	0,07	0,37	-0,04	0,12	0,00	0,05	0,57	0,35														
Ni	0,36	0,09	0,42	0,35	0,53	0,40	0,39	0,43	0,49	0,27	0,27	0,29	0,23	0,50	0,58	-0,01													
Pb	0,57	-0,07	-0,28	0,39	-0,19	-0,22	-0,17	-0,24	0,08	-0,23	-0,12	-0,17	-0,16	0,20	0,02	0,65	-0,29												
Sb	0,13	0,22	0,64	0,16	0,30	0,84	0,82	0,64	-0,03	0,40	0,69	0,42	0,28	0,44	0,43	0,06	0,36	-0,19											
Sc	0,24	0,17	0,82	0,20	0,24	0,98	0,89	0,84	-0,02	0,61	0,60	0,64	0,58	0,48	0,43	0,13	0,37	-0,22	0,85										
Sm	0,19	-0,08	0,67	0,10	0,01	0,58	0,50	0,66	0,00	0,70	-0,05	0,75	0,87	0,20	0,18	0,00	0,23	-0,17	0,29	0,64									
Sn	0,70	0,16	0,01	0,82	-0,34	0,14	0,07	0,12	0,71	0,18	-0,01	0,13	0,25	0,59	0,61	0,44	0,44	0,14	0,02	0,13	0,23								
Tb	0,10	-0,05	0,40	0,17	-0,11	0,37	0,45	0,34	0,05	0,61	-0,17	0,58	0,84	0,13	0,15	0,14	0,13	-0,11	0,24	0,46	0,58	0,32							
Th	0,16	-0,15	0,81	0,06	0,49	0,89	0,87	0,74	-0,05	0,46	0,45	0,65	0,54	0,44	0,38	0,06	0,42	-0,25	0,79	0,90	0,62	-0,06	0,36						
Ti	0,04	0,35	-0,16	0,05	-0,27	-0,23	-0,31	-0,21	-0,10	-0,10	0,02	-0,40	-0,34	-0,13	-0,16	0,04	-0,02	0,11	-0,13	-0,22	-0,28	0,16	-0,19	-0,37					
Yb	0,17	0,43	0,57	0,22	-0,33	0,48	0,36	0,54	0,01	0,79	0,07	0,38	0,69	0,14	0,13	0,11	0,07	-0,14	0,37	0,55	0,64	0,42	0,70	0,29	0,06				
Zn	0,91	0,11	-0,09	0,82	-0,23	-0,02	-0,03	-0,01	0,54	-0,03	-0,01	-0,06	0,00	0,61	0,47	0,79	0,21	0,73	-0,08	-0,04	0,00	0,72	0,04	-0,16	0,18	0,11			
Zr	0,18	-0,08	0,60	0,12	0,02	0,53	0,48	0,56	0,01	0,72	-0,16	0,64	0,76	0,20	0,16	0,13	0,13	-0,17	0,25	0,56	0,75	0,23	0,70	0,53	-0,19	0,67	0,01		
PTS	0,84	0,08	0,20	0,89	0,09	0,30	0,29	0,22	0,72	0,14	0,18	0,16	0,13	0,86	0,83	0,55	0,66	0,21	0,26	0,29	0,16	0,83	0,18	0,20	0,10	0,21	0,76	0,19	

Tabela 7: Coeficiente de Correlação de Pearson entre os níveis de concentrações de elementos obtidos nos PTS no município de Ipatinga.

	Al	As	Br	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	K	La	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Sc	Sm	Sn	Sr	Th	Zn	Zr	PTS	
Al																												
As	0,40																											
Br	0,51	0,84																										
Ca	0,53	0,16	0,37																									
Cd	0,61	0,46	0,49	0,04																								
Ce	0,01	0,57	0,58	0,03	0,32																							
Co	-0,03	-0,25	0,00	0,43	-0,28	0,00																						
Cr	0,59	0,71	0,62	0,06	0,77	0,39	-0,35																					
Cu	0,73	0,54	0,62	0,26	0,79	0,34	-0,27	0,76																				
Fe	0,50	0,78	0,77	0,34	0,51	0,54	-0,13	0,67	0,68																			
Hf	-0,14	0,60	0,51	0,02	0,04	0,67	-0,12	0,26	0,06	0,45																		
K	0,04	-0,07	0,15	0,50	-0,33	-0,05	0,44	-0,39	-0,26	-0,08	0,15																	
La	0,11	0,58	0,59	0,06	0,18	0,82	0,00	0,34	0,25	0,49	0,59	0,00																
Mg	0,81	0,61	0,67	0,33	0,77	0,30	-0,21	0,87	0,92	0,68	0,12	-0,24	0,22															
Mn	0,78	0,66	0,75	0,43	0,71	0,36	-0,15	0,80	0,91	0,79	0,12	-0,19	0,29	0,94														
Na	0,81	0,44	0,55	0,28	0,66	0,19	-0,13	0,72	0,72	0,50	0,13	-0,12	0,13	0,84	0,74													
Ni	0,45	0,54	0,42	-0,22	0,81	0,41	-0,50	0,88	0,76	0,56	0,16	-0,60	0,28	0,78	0,70	0,60												
Pb	-0,16	0,04	-0,07	-0,06	-0,13	0,03	-0,16	0,28	0,04	0,10	0,26	-0,19	-0,13	0,18	0,07	0,15	0,23											
Sb	-0,14	0,26	0,11	0,02	-0,33	0,06	-0,01	-0,13	-0,20	0,02	0,24	0,05	0,17	-0,10	-0,05	-0,29	-0,18	0,08										
Sc	0,79	0,64	0,76	0,45	0,65	0,27	-0,06	0,71	0,79	0,80	0,16	-0,10	0,27	0,84	0,88	0,76	0,52	-0,09	-0,08									
Sm	0,53	0,38	0,32	0,19	0,60	0,00	-0,22	0,63	0,50	0,38	-0,03	-0,25	-0,10	0,62	0,55	0,46	0,54	-0,10	-0,07	0,57								
Sn	0,13	0,39	0,30	-0,42	0,41	0,47	-0,41	0,50	0,49	0,33	0,26	-0,53	0,35	0,43	0,35	0,40	0,72	0,17	-0,24	0,19	0,11							
Sr	0,18	0,28	0,32	0,12	-0,20	0,05	-0,06	0,09	0,05	-0,06	0,15	0,09	0,44	0,07	0,05	0,11	-0,07	-0,14	0,28	0,07	-0,01	0,09						
Th	0,70	0,49	0,69	0,63	0,49	0,19	0,17	0,55	0,58	0,71	0,15	0,17	0,20	0,65	0,75	0,66	0,27	-0,09	-0,20	0,88	0,41	-0,07	-0,02					
Zn	0,76	0,47	0,42	0,27	0,66	0,15	-0,30	0,81	0,78	0,52	0,09	-0,29	0,07	0,90	0,78	0,81	0,77	0,36	-0,09	0,63	0,63	0,45	0,07	0,44				
Zr	0,13	-0,15	0,04	0,49	-0,23	-0,06	0,22	-0,30	-0,08	-0,17	0,17	0,53	0,02	-0,07	-0,13	0,13	-0,49	-0,13	0,02	-0,02	-0,17	-0,31	0,32	0,10	-0,07			
PTS	0,63	0,74	0,75	0,40	0,54	0,37	-0,10	0,77	0,72	0,79	0,43	-0,07	0,26	0,84	0,83	0,79	0,58	0,33	0,03	0,81	0,41	0,34	0,07	0,74	0,75	0,02		

Foram observadas correlações significativas do Sn com As ($r=0,89$), K ($r=0,85$) e La ($r=0,77$) nas MP₁₀ de FAB (TAB. 8). Em IPA, o Sn se correlacionou significativamente com Cu ($r=0,92$) e U ($r=0,73$) (TAB. 9). O Cu é advindo exclusivamente de fontes antropogênicas (CANCIO *et al*, 2008). O U só foi encontrado no MP₁₀ neste ponto, ele é encontrado na natureza, mas também pode ter sido emitido por planta de sinterização por associação ao Cd e ao Pb, estes elementos podem ser considerados advindos da poeira do gás deste local (ORAVISJÄRVI *et al*, 2003). Cabe ressaltar, que foram encontradas correlações altas entre U/Cd ($r = 0,72$) e U/Pb ($r = 0,82$) nas MP₁₀. Ainda em IPA os maiores coeficientes de Pearson foram encontrados para Cd/Pb ($r=0,90$), Cd/Sn ($r=0,94$), estes elementos são estritamente associados às fontes industriais (QUEROL *et al*, 1999) (TABELA 9).

Vale destacar que as concentrações médias do elemento Cd nas MP₁₀ não apresentaram diferenças significativas entre os pontos de amostragem FAB e IPA (Teste de Wilcoxon, N=46, DF=1, U=2,97, $p=0,0844$), em contrapartida nas PTS foram apresentadas diferenças significativas entre os pontos (Teste-T, N=51, DF=1, F=8,17, $p=0,0062$). As concentrações de Cd se apresentaram maiores nas PTS em FAB do que em IPA, isto pode ser explicado mais uma vez pela localização de FAB, que sofre influência de duas indústrias siderúrgicas, além do crescente tráfego de veículos (TABELAS 4 e 5).

Com relação ao Fe, de acordo com o TAB. 7, nas PTS em IPA foram observadas correlações significativas do mesmo com Mn, Th, As e Br, confirmando a hipótese de que boa parte das concentrações de Fe e Mn obtido no PTS de Ipatinga podem ser advindo de fontes industriais, em concordância de que o As é proveniente de caldeira a óleo e queima de carvão (BHANARKAR *et al*, 2005). É importante destacar que o elemento As também apresentou concentração máxima acima do limite permissível estabelecido pela OMS ($\leq 1,5 \text{ ng.m}^{-3}$), nas PTS em FAB (TAB. 4). O mesmo poderia estar associado às mesmas fontes de emissão antropogênicas dos elementos Fe, Br (AVINO *et al*, 2008) e Mn (QUEROL *et al*, 2007). O As pode ter sido transportados da siderúrgica em Ipatinga através do vento para o ponto FAB e devido às condições topográficas já discutidas anteriormente se concentrado, resultando em concentrações acima do limite OMS.

Tabela 8: Coeficiente de Correlação entre os níveis de concentrações de elementos obtidos nos MP₁₀ no município de Coronel Fabriciano.

	Al	As	Br	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	K	La	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Sc	Sm	Sn	Ta	Th	Zn	MP10	
Al																											
As	0,18																										
Br	0,39	0,70																									
Ca	0,25	0,93	0,70																								
Cd	0,73	0,67	0,52	0,69																							
Ce	0,29	-0,04	0,00	0,06	0,22																						
Co	0,81	0,23	0,10	0,30	0,83	0,14																					
Cr	-0,26	0,82	0,53	0,75	0,17	-0,08	-0,29																				
Cu	-0,31	0,67	0,52	0,67	0,02	-0,22	-0,36	0,88																			
Fe	0,47	0,87	0,80	0,91	0,73	0,24	0,35	0,65	0,59																		
Hf	0,31	-0,11	-0,02	0,02	0,18	0,99	0,14	-0,13	-0,24	0,22																	
K	0,23	0,82	0,84	0,90	0,51	0,01	0,12	0,75	0,78	0,91	0,00																
La	0,46	0,87	0,93	0,86	0,70	0,05	0,27	0,65	0,56	0,94	0,02	0,89															
Mg	0,21	0,91	0,74	0,99	0,64	0,04	0,24	0,77	0,71	0,90	0,01	0,92	0,86														
Mn	0,36	0,83	0,86	0,86	0,56	-0,02	0,17	0,72	0,73	0,93	-0,03	0,96	0,95	0,86													
Na	0,43	0,67	0,92	0,71	0,54	-0,01	0,16	0,50	0,50	0,77	-0,01	0,82	0,89	0,74	0,84												
Ni	0,77	0,11	0,04	0,20	0,75	0,16	0,95	-0,40	-0,42	0,28	0,18	0,05	0,20	0,13	0,11	0,13											
Pb	0,69	0,65	0,48	0,68	0,99	0,20	0,85	0,13	0,00	0,70	0,16	0,48	0,66	0,63	0,51	0,48	0,76										
Sb	0,41	0,72	0,85	0,68	0,50	-0,15	0,17	0,56	0,60	0,82	-0,15	0,83	0,90	0,67	0,94	0,83	0,15	0,45									
Sc	0,44	0,25	0,32	0,36	0,45	0,94	0,24	0,14	0,00	0,56	0,92	0,34	0,39	0,35	0,32	0,30	0,23	0,42	0,17								
Sm	0,68	0,18	0,09	0,20	0,57	0,51	0,62	-0,12	-0,23	0,33	0,49	0,06	0,21	0,19	0,12	0,19	0,48	0,55	0,03	0,55							
Sn	-0,11	0,89	0,69	0,87	0,40	-0,12	-0,09	0,89	0,87	0,75	-0,17	0,85	0,77	0,89	0,80	0,67	-0,19	0,38	0,64	0,16	-0,01						
Ta	0,29	-0,11	-0,02	0,01	0,16	1,00	0,11	-0,12	-0,24	0,21	1,00	-0,02	0,02	0,00	-0,05	-0,02	0,15	0,14	-0,16	0,92	0,49	-0,17					
Th	0,33	0,00	0,06	0,12	0,25	1,00	0,16	-0,05	-0,18	0,31	0,99	0,08	0,12	0,10	0,05	0,06	0,18	0,23	-0,08	0,96	0,52	-0,07	0,99				
Zn	0,36	0,80	0,62	0,83	0,58	-0,24	0,37	0,59	0,63	0,82	-0,24	0,83	0,76	0,81	0,85	0,61	0,28	0,58	0,76	0,07	0,14	0,67	-0,27	-0,17			
MP10	0,23	0,90	0,76	0,93	0,56	-0,01	0,16	0,84	0,79	0,92	-0,03	0,95	0,89	0,93	0,95	0,78	0,07	0,52	0,82	0,31	0,15	0,88	-0,04	0,05	0,84		

Tabela 9: Coeficiente de Correlação entre os níveis de concentrações de elementos obtidos nos MP₁₀ no município de Ipatinga.

	As	Br	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Hf	K	La	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Sc	Se	Sn	Ta	Th	U	Zn	MP10	
As																												
Br	0,60																											
Ca	0,52	0,40																										
Cd	0,03	-0,05	-0,03																									
Ce	0,69	0,54	0,15	0,13																								
Co	-0,04	0,41	0,05	0,04	0,01																							
Cr	0,46	0,43	-0,05	0,10	0,71	0,24																						
Cs	0,47	0,64	0,41	0,28	0,25	0,67	0,12																					
Cu	-0,04	-0,14	-0,29	0,85	0,12	-0,06	0,03	0,12																				
Fe	0,85	0,62	0,32	0,28	0,83	-0,08	0,66	0,36	0,14																			
Hf	0,16	0,25	0,33	-0,02	-0,29	0,43	-0,23	0,63	-0,18	-0,09																		
K	0,63	0,49	0,80	-0,21	0,21	0,31	0,30	0,49	-0,42	0,36	0,44																	
La	0,00	0,47	0,14	0,13	0,08	0,91	0,14	0,76	-0,05	0,02	0,42	0,25																
Mg	0,51	0,59	0,87	0,09	0,35	0,12	0,20	0,37	-0,14	0,43	0,13	0,71	0,20															
Mn	0,67	0,49	0,72	0,38	0,52	0,32	0,48	0,62	0,13	0,64	0,21	0,73	0,36	0,76														
Na	0,39	0,58	0,28	0,00	0,42	-0,28	0,02	0,09	-0,05	0,46	-0,05	0,05	-0,10	0,46	0,06													
Ni	0,22	0,47	0,15	0,54	0,37	0,01	0,14	0,19	0,51	0,43	-0,19	-0,12	0,09	0,46	0,30	0,54												
Pb	0,05	0,13	-0,05	0,90	0,35	0,05	0,25	0,17	0,79	0,37	-0,26	-0,27	0,14	0,23	0,37	0,22	0,76											
Sb	-0,29	0,21	0,02	0,05	-0,29	0,92	-0,11	0,62	-0,06	-0,35	0,54	0,15	0,89	0,00	0,13	-0,35	-0,08	-0,02										
Sc	-0,31	0,19	0,02	0,05	-0,30	0,91	-0,14	0,61	-0,06	-0,37	0,53	0,14	0,89	-0,01	0,11	-0,34	-0,09	-0,03	1,00									
Se	0,50	0,49	0,17	-0,06	0,77	0,05	0,64	0,21	-0,17	0,70	-0,28	0,22	0,18	0,27	0,40	0,36	0,04	0,11	-0,18	-0,19								
Sn	0,03	-0,02	-0,20	0,94	0,25	-0,05	0,22	0,12	0,92	0,32	-0,26	-0,35	0,00	0,02	0,28	0,06	0,64	0,94	-0,10	-0,11	0,01							
Ta	0,06	0,16	0,37	-0,15	-0,41	0,33	-0,34	0,52	-0,32	-0,18	0,96	0,41	0,35	0,09	0,12	-0,08	-0,30	-0,41	0,50	0,49	-0,27	-0,40						
Th	0,53	0,19	0,44	-0,14	0,00	-0,24	-0,12	0,27	-0,23	0,27	0,69	0,47	-0,21	0,20	0,22	0,22	-0,15	-0,34	-0,20	-0,22	-0,10	-0,29	0,70					
U	-0,01	-0,04	-0,16	0,72	0,39	-0,12	0,08	0,04	0,65	0,26	-0,34	-0,40	-0,01	0,03	0,14	0,18	0,56	0,82	-0,13	-0,12	0,12	0,73	-0,46	-0,31				
Zn	0,89	0,52	0,43	0,02	0,72	0,02	0,64	0,39	-0,10	0,82	0,20	0,63	0,03	0,42	0,66	0,31	0,04	0,02	-0,25	-0,27	0,60	0,00	0,10	0,52	-0,06			
MP10	0,62	0,52	0,85	0,10	0,37	0,30	0,34	0,55	-0,15	0,47	0,38	0,90	0,30	0,83	0,87	0,18	0,11	0,08	0,15	0,13	0,32	-0,05	0,33	0,38	-0,08	0,65		

Também nas PTS, em FAB, o Fe se correlacionou bem ($r > 0,70$) com Cr, La, Sm, Yb, Zr e Br (TAB. 6). O Cr pode ter sido emitido pela produção de aço inoxidável (QUEROL *et al*, 2007), que é produzido na siderúrgica Aperam em Timóteo, além de já ser encontrado naturalmente no solo, pode ser também advindo da queima do carvão (DAVIS, 2000). Este elemento apresentou valores máximos de concentração acima do limite permissível da OMS ($\leq 2,5 \text{ng.m}^{-3}$) nas PTS em FAB e IPA (TAB. 4) e nas MP₁₀ em FAB (TAB. 5). O valor máximo do Cr se apresentou dentro do limite estabelecido pelo órgão supracitado nas MP₁₀ em IPA. O Zr pode ser oriundo de empresas de produtos refratários como indústrias de cerâmica que podem utilizar verniz no processo de produção (QUEROL *et al*, 2007), as quais encontram-se presentes no entorno do ponto em FAB.

Nas MP₁₀, o Fe se correlacionou significativamente com muitos elementos em FAB, o mesmo obteve fortes correlações, algumas maiores que 0,90, neste ponto com Mn, Zn, Ca, Mg, Pb, Sn, Na, K, La, Sb, As e Br (TAB. 8). O Mn pode ser advindo do setor industrial, o mesmo pode ter sido emitido de longas distâncias até a chegada neste ponto de amostragem. Segundo Bhanarkar *et al* (2005) o Mn apresentou 2,22 % de sua concentração como espécie de metal tóxico no setor industrial em Mumbai, mais especificamente concentrações maiores emitidos pela queima de carvão e combustíveis com baixo teor de enxofre. O Fe e Mn são elementos de várias fontes naturais, mas eles podem ser derivadas de fontes antropogênicas, principalmente da queima de combustíveis fósseis (CANCIO *et al*, 2008). Os elementos tóxicos como As e Sb podem ser advindos principalmente da caldeira de óleo e combustão do carvão, respectivamente. Além do mais o Sb apresentou correlação altamente significativa com Sc ($r=1,00$), o qual pode ter como fonte exclusivamente o setor industrial. Já o Zn, pode ser emitido pela mesma fonte do Sn, como mencionado acima, associado ao minério de ferro, queima de carvão e combustíveis com alta concentração de enxofre reduzido (BHANARKAR *et al*, 2005) ou pelo desgaste de pneus e escapamentos do motor (AMATO *et al*, 2009). O Zn esteve entre os elementos mais abundantes nas MP₁₀ e apresentou valores médios de $1,5 \text{ng.m}^{-3}$ em FAB e em IPA (TAB. 5) e nas PTS valores médios de 460ng.m^{-3} e 420ng.m^{-3} em FAB e IPA, respectivamente (TABELA 4).

Entretanto, nas MP₁₀ em IPA, o Fe apresentou correlações significativas somente com os elementos Se ($r=0,70$) e Zn ($r=0,82$) (TAB. 9). Somente neste ponto foi encontrado o Se, que apresentou uma concentração média de $0,04 \text{ng.m}^{-3}$ (TAB. 5), o mesmo apresentou também boa correlação com Ce ($r = 0,77$). Esses elementos podem ter advindos de indústrias siderúrgicas, bem como processos que utilizam verniz e cerâmica (QUEROL *et al*, 2007). Segundo Davis (2000), o Se não é comum no solo, mas pode ser encontrado nas emissões de

caldeiras à queima de carvão, que não utilizam purificadores de gás à base de dióxido de enxofre.

Um dado importante é que o Pb também se mostrou abundante e em concentrações não diferentes nas PTS e MP₁₀ entre os dois pontos (Teste-T, N=56, DF=1, F=0,0333, p=0,8559; Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=0,2166, p=0,6416) e os valores máximos atingidos nas PTS para este metal se apresentaram acima do limite permissível para OMS (500 ng.m⁻³) para ambos os pontos (TAB. 4 e 5). A forte correlação entre Cd/Pb em FAB (r=0,99) e IPA (r=0,90), demonstram que estes elementos também podem ter sido advindos do tráfego de veículos (TAB. 6 e 7). Apesar de que em 1989, o Brasil foi o primeiro país a remover o Pb da gasolina dos veículos, o mesmo ainda pode ser emitido em pequenas quantidades pela fricção mecânica e desgaste de pneus (QUEROL *et al*, 2007).

Cabe ressaltar que os elementos Cd, Pb e Mn, além dos outros elementos supracitados como Al, As, Br e Zn, são classificados como elementos de perfil toxicológico, que se ingeridos e/ou inalados em grandes concentrações podem causar danos irreparáveis à saúde (MAGALHÃES, 2005; QUEROL *et al*, 2007). Entretanto, Cd e Mn, apesar de relativamente abundantes, apresentaram concentrações médias inferiores aos limites da OMS (TAB. 4 e 5). Tais elementos foram detectados neste estudo, onde também ocorrem intensas as atividades humanas, indústrias e tráfego de veículos. Por isso, é provável que a presença destes esteja intimamente relacionada com tais fontes de emissão de poluentes ao ar.

Além disto, foi observado em IPA que os elementos advindos de atividades fixas, como AMATO *et al* (2009), MAGALHÃES (2005) e QUEROL *et al*, (2007) apresentaram correlações mais fortes (r > 0,80). Isto indica que estes são advindos de uma mesma fonte, que para IPA seria principalmente a indústria siderúrgica. Em FAB, as correlações não se apresentam tão intensas, o que pode ser decorrente da importância de um maior número de fontes de emissão, que neste caso seria não apenas as indústrias siderúrgicas, mas também o tráfego de veículos.

Também foram abundantes os elementos K, Na, Ca e Mg em FAB e IPA para ambas as frações de material particulado (TAB. 4 e 5). Conforme mencionado acima eles apresentaram forte coeficiente de correlação com Fe no MP₁₀ de FAB (TABELA 8).

Esses elementos majoritários (Na, K, Ca e Mg), que também são considerados principalmente de origem natural do que antropogênica, podem ter sido advindos da ressuspensão do solo pelo tráfego de veículos próximos aos pontos de amostragem (QUEROL *et al*, 2007). Os elementos Na e K, em sua forma de sal solúvel, podem ser de origem da

composição do solo (minerais e rochas), dependendo da geologia local, queima de biomassa e incineração de resíduos.

Nas PTS em IPA, foram observadas correlações significativas entre Na/Sc (TAB. 7). Em FAB foram K/La e K/Sm (TAB. 6). Nas MP₁₀ em FAB estas foram para Na/K, Na/La, Na/Sb e Na/Br. O K se correlacionou bem também com La, Sb, As e Br (TAB. 8). Já em IPA ambos, Na e K, não se correlacionaram com nenhum elemento, com exceção do K que apresentou correlação altamente significativa com concentrações de MP₁₀ neste ponto (TABELA 9).

Deve-se destacar a predominância de Na e K em FAB, principalmente nas MP₁₀, sendo que. Foram detectadas concentrações mais elevadas em FAB se comparadas a IPA na fração de MP₁₀ para os elementos Na (Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=9,19, p=0,0024) e K (Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=5,18, p=0,0228), além do Ca (Teste de Wilcoxon, N=42, DF=1, U=4,20, p=0,0403) (TABELA 5).

Os elemento Ca e Mg, na sua forma de sal solúvel podem ser advindos de minerais como calcita (CaCO₃) e dolomita (CaCO₃.MgCO₃) (CANCIO *et al*, 2008). Na fração insolúvel, ambos os elementos podem ser advindos de escapamento de veículos por meio do sistema de catalisador (CANCIO *et al*, 2008). O K na sua fração solúvel pode ser advindo da queima de vegetação (DAVIS, 2000) e na insolúvel da planta de sinterização (ORAVISJARVI *et al.*, 2003).

As concentrações mais elevadas em FAB de tais elementos podem ser devido ao tráfego de veículos mais intenso, uma vez que o ponto FAB localizava-se próximo a uma rodovia com significativo fluxo de veículos. O mesmo ocorreu com relação às médias de concentração nas PTS para Na (Teste T, N=55, DF=1, F=11,18, p=0,0015) e K (Teste T, N=56, DF=1, F=13,4, p=0,0006), entretanto não foi observada diferença significativa para Ca entre os pontos (Teste T, N=56, DF=1, F=0,0417, p=0,8390).

Segundo Davis (2000), o Ca é um dos elementos mais disponíveis na crosta terrestre, ou seja, pode ser advindo de fontes naturais, principalmente da ressuspensão de poeira de estradas sem pavimentação. O Ca juntamente com o Fe compõem 30% das emissões de caldeiras a queima de carvão contra 50 % das presentes no material geológico. Estes elementos foram encontrados em ambos os pontos em abundância, devido ao fato de que próximo à ambos existem caldeiras dentro das indústrias e reservas de proteção ambiental (QUEROL *et al*, 2007). Isto explica as boas correlações entre Ca e os elementos Mg, Sn e Al nas PTS em FAB e o mesmo com Fe, Mg, Cr, Sn, K, La, As e Br nas MP₁₀ (TABELAS 6 e

7). Em IPA, Ca só se correlacionou significativamente com Mg e K nas MP₁₀ e nas PTS o mesmo não apresentou correlações significativas (TABELAS 9 e 7).

Com relação aos elementos minoritários, Sb, La, Hf, Th, Sc e Co, mesmo em baixas concentrações, o elemento Sb se correlacionou bem nas PTS em FAB com Co e Ce, que também podem ser advindos do tráfego de veículos e indústrias de cimento, respectivamente (QUEROL *et al*, 2007) (TAB. 6). O Sb é proveniente do desgaste da pastilha de freios dos veículos automotores, através deste processo ele é emitido na forma de óxido de antimônio (Sb₂O₃). Pode também ser emitido como sulfeto de antimônio ou barita (Sb₂S₃), o qual é um mineral utilizado como aditivo no óleo lubrificante dos veículos, assim como o sulfeto de molibdênio (MoS₂) e sulfeto de estanho (SnS). Essas substâncias apresentam reconhecimento cancerígeno pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (AMATO *et al*, 2009). Em IPA esse elemento não apresentou correlação significativa com outros elementos (TABELA 7).

Correlação significativa entre La/Sb foi obtida nas MP₁₀ em FAB e IPA (TABELAS 8 e 9), o que também foi encontrado no estudo feito na região metropolitana do Rio de Janeiro - Brasil (SILVA *et al* 2008). Os autores relacionaram esta boa correlação com o intenso tráfego no bairro do Sumaré. O elemento Sb que como mencionado acima, pode ser derivado de componentes das pastilhas de freios dos veículos e o La é composto na fórmula do catalisador (AMATO *et al*, 2009; SILVA *et al*, 2008). O intenso tráfego de veículos e frenagem ocorre em FAB, pois encontra-se próximo à três semáforos na rodovia já citada anteriormente. O ponto em IPA se localizava próximo a uma rotatória com intenso tráfego que dá acesso à Unidade II do Hospital Márcio Cunha, onde também pôde-se observar uma quantidade significativa de frenagem dos veículos.

O La se apresentou significativamente correlacionado com Sm, Tb e Zr somente nas PTS em FAB (TABELA 6), ou seja, estes podem ter sido advindos das mesmas fontes. Isto também foi observado por Avino *et al* (2008), os quais afirmaram que estes elementos traços têm vasta mobilidade biogeoquímica e implicações ambientais e que, além de serem provenientes de fontes antropogênicas, podem também fazer parte da crosta terrestre. Nas MP₁₀ o mesmo se correlacionou expressivamente com Sb, As e Br (TABELA 8).

Mesmo apresentando baixas concentrações, foram encontradas boas correlações entre Sc/Th e Sc/Br nas PTS, em ambos os pontos de amostragem. Os elementos Th e Sc são provenientes de fontes naturais e o Br é de origem antrópica (AVINO *et al*, 2008).

Os elementos Cd, Ni, Pb, Ti, Na Hf, Th e As não apresentaram correlações consideráveis entre os elementos analisados nos filtros de PTS em FAB, em IPA isto ocorreu para os Ca, Pb, Co, K, Hf, La, Sb, Sm e Sr (TABELAS 6 e 7).

Para o ponto FAB, o metal Mo apresentou valores de concentração menores que o limite de detecção do método AAS nos filtros de PTS e MP₁₀, sendo que neste último o elemento Ti também não foi detectado. No ponto IPA, isto ocorreu para os elementos Mo e Ti para PTS e MP₁₀ e para o Al nas MP₁₀ (TABELAS 4 e 5).

De maneira geral, os elementos de mesma fonte de emissão apresentaram-se com correlações altamente significativas, sendo que os elementos com correlações expressivas em IPA estavam mais associados às atividades da siderurgia, principalmente a sinterização. Já em FAB, estes elementos advinham não apenas de atividades industriais, mas também do tráfego de veículos e fontes naturais. Assim como no estudo de Cancio *et al.* (2008) estes resultados refletiram a hipótese de que as altas concentrações de elementos estão presentes no aerossol atmosférico de muitas áreas urbanas em todo o mundo.

6.5.1 Elementos nas PTS

Na TABELA 6 podem ser observadas as correlações significativas entre as PTS e os elementos no município de Coronel Fabriciano. Entre as boas correlações evidenciadas neste estudo ($r > 0,70$), foram observadas correlações altamente significativas entre as concentrações de PTS e os elementos Cu, Mn, Zn, Ca, Mg, Sn e Al. No município de Ipatinga, foram observadas correlações expressivas de PTS entre os elementos Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Cr, Na, Sc, Th, As e Br (TABELA 7). Isto evidencia que mesmo apresentando variações de concentração ou fontes distintas, as PTS estão fortemente associadas a estes elementos.

A correlação elevada entre PTS/Fe ($r = 0,79$) em IPA pode ser explicado pela proximidade de sua fonte de emissão, se apresentando como poluente primário associado à partículas maiores (CANCIO *et al.*, 2008).

Como mencionado acima, a influência de fontes móveis para emissão de PTS é predominante em FAB, pois também foram encontradas correlações positivas entre PTS/Ca ($r=0,89$), Al ($r=0,84$) e Sn ($r=0,83$). Entretanto, em IPA as boas correlações das PTS com Sc, Fe, Na, Br, Cr, As e Th, fortalece hipótese de este ponto sofrer mais influência das fontes fixas do que de fontes móveis, pois os elementos traços Sc, Cr, As e Th podem ser advindos exclusivamente da indústria siderúrgica próxima ao ponto de amostragem (TABELA 7).

6.5.2 Elementos no MP_{10}

Nas MP_{10} de IPA foram observadas menores quantidades de correlações significativas entre os elementos analisados em relação ao ponto de FAB. Esse ponto apresenta uma menor quantidade de fontes de emissões e as concentrações de partículas menores que $10\ \mu\text{m}$ nos filtros, também foram menores (Teste de Wilcoxon, $N=39$; $DF=1$; $Z=-2,38$; $p=0,0171$) (TABELA 5). Isto pode ser devido à predominância de fontes distintas de emissão de partículas em FAB. Como mencionado no ítem anterior, em IPA, os elementos mais fortemente correlacionados com as partículas são principalmente provenientes de fontes fixas (siderúrgica), enquanto que em FAB, os elementos que se correlacionam melhor são provenientes de fontes móveis e estacionárias.

Ao se confrontar as concentrações de elementos com as concentrações de MP_{10} , foram encontradas fortes correlações em FAB ($r > 0,90$) e IPA ($r > 0,80$), entre MP_{10}/Mn , MP_{10}/Ca , MP_{10}/Mg , MP_{10}/K (TAB. 8). Foi possível observar também boas correlações ($r > 0,75$) entre MP_{10} e os elementos Cu, Fe, Zn, Cr, Sn, Na, La, Sb, As e Br em FAB (TAB. 9).

A presença de tais elementos se apresentaram fortemente associada com as partículas que compõem o MP_{10} na área de estudo, ou seja, quanto maior a concentração de MP_{10} maior será a concentração dos mesmos. Isto pode ser explicado pelo fato desses elementos apresentarem alta capacidade de se agregar as partículas menores que $10\ \mu\text{m}$ (POOLEY *et al*, 1999), assim eles podem ser inalados em diferentes formas químicas, dependendo de suas características, principalmente na forma de óxidos.

Embora alguns deles sejam essenciais ao corpo humano, como Zn e Fe, se inalados em altas concentrações, ou mesmo na forma de vapor, podem ser altamente prejudicial à saúde da população (POOLEY *et al*, 1999).

Sendo assim é importante destacar a boa correlação entre PM_{10}/Cr ($r=0,84$) em FAB (TAB. 8), pois este elemento é altamente tóxico, principalmente nos estados de oxidação +3 e +6. O Cr^{+3} tem ocorrência natural, enquanto que o Cr^{+6} , Cr^{+2} e Cr^0 advém de processos industriais. A forma bivalente é facilmente oxidada para a forma trivalente pelas reações atmosféricas (WHO, 2006a).

Além disso, foram observadas fortes correlações entre MP_{10} e Fe em FAB ($r=0,92$) como apresentado na TAB. 8. Com relação ao Sn, foram observadas boas correlações ($r > 0,80$) com PTS e MP_{10} apenas em FAB. A boa correlação entre Fe e Sn e o material particulado em FAB, pode ser em decorrência do transporte de minério de ferro pela rodovia e ferrovia que cortam o município, a correlação significativa entre MP_{10}/Fe para este

ponto pode ser explicado pela presença de Fe em diversas fontes e em partículas menores, ou seja, as partículas com presença de óxido de ferro agregadas podem ter sido transportadas por longas distâncias e em partículas menores em decorrência das interpéries.

Os elementos tóxicos são encontrados geralmente em baixas concentrações devido à mobilidade biogeoquímica natural, através das fontes de emissão de poeiras fugitivas não canalizadas de origem natural como a influência eólica, contudo, as atividades antrópicas podem aumentar significativamente a concentração destes elementos pela emissão de poeira tanto não canalizadas como canalizadas (DAVIS, 2000), que é o que parece ocorrer na região de estudo.

Com base na presença dos elementos, pode-se prédizer que a qualidade do ar em Ipatinga encontra-se sobre grande influência de fontes estacionárias de poluentes atmosféricos (setor industrial), seguindo pelo desgaste de peças de veículos e, finalmente, por fontes naturais. Em FAB, a qualidade do ar parece ser influenciada principalmente pelo tráfego de veículos e emissões industriais na mesma proporção.

6.6 Classificação da Qualidade do Ar

Respeitando os limites da Resolução Conama nº 03 de 1990 e seguindo as recomendações do Índice de Qualidade do Ar (IQAR), a qualidade do ar nos municípios de Ipatinga e Coronel Fabriciano foi classificada com base nos dados obtidos nesta pesquisa.

Como em Coronel Fabriciano não existe monitor automático da qualidade do ar como em Ipatinga, só foi possível neste ponto classificar o ar pelo método manual HI-VOL.

Quanto ao parâmetro PTS a qualidade do ar em ambos os municípios, pelo método HI-VOL, apresentou-se como REGULAR na maior parte do período amostrado (FIG. 32 e 33). No dia 09 de junho, esta foi INADEQUADA tanto em FAB ($165 \mu\text{g.m}^{-3}$) como em IPA ($110 \mu\text{g.m}^{-3}$). Houveram outros dias em que a qualidade esteve INADEQUADA nos meses de junho, julho e agosto em FAB, enquanto que em Ipatinga apenas no dia 26 de julho. A qualidade do ar se apresentou BOA ($\text{PTS} < 150 \mu\text{g.m}^{-3}$) nos dias 11 e 31 de maio, 27 de julho, 06 de outubro e em todos os dias amostrados de novembro em FAB (APÊNDICE 3; TABELA 17).

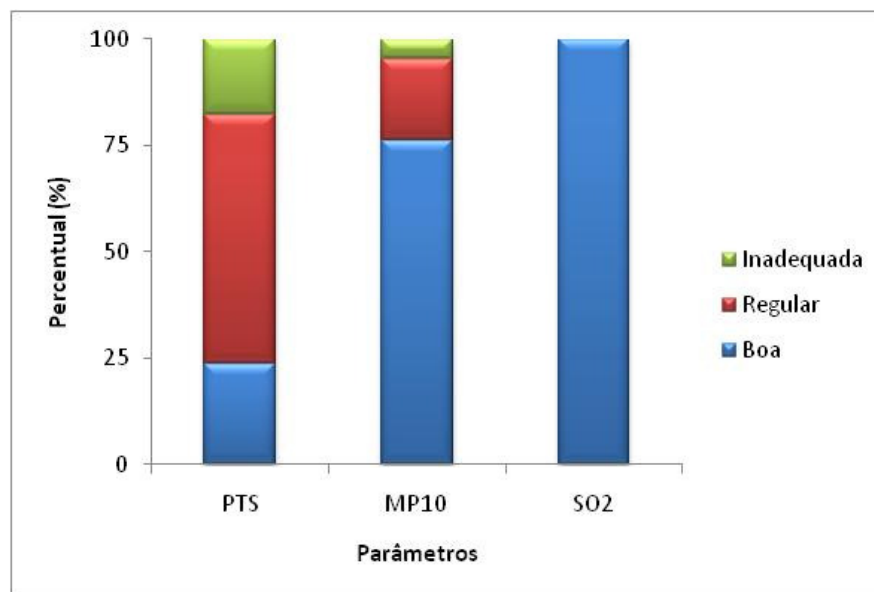


Figura 32: Distribuição percentual das classes de qualidade do ar de acordo com o IQAr quanto a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10) e SO₂ no município de Coronel Fabriciano durante o período amostrado de maio a novembro de 2010 pelo método HI-VOL.

Quanto a classificação do ar em IPA, houve divergências entre os valores obtidos pelos dois métodos de amostragem (HI-VOL e RAMQAM), sendo que no método RAMQAM a classe BOA foi mais frequente (FIG. 33 e 34). Somente em seis dias durante o período amostrado (31 de maio, 27 de julho, 11 de agosto, 04, 10 e 24 de novembro) ocorreu a classe BOA pelo método HI-VOL, nos demais esta foi REGULAR ou INADEQUADA (APÊNDICE 3; TABELA 18), o que contribuiu, juntamente com a baixa umidade relativa do ar, para o aumento das doenças do trato respiratório neste período, conforme já mencionado nesta pesquisa. Entretanto, pelo método RAMQAM a qualidade do ar se manteve BOA na maior parte do período em questão e REGULAR durante seis dias distribuídos entre os meses de amostragem (APÊNDICE 3; TABELA 19).

Para o parâmetro MP₁₀, em FAB, a qualidade do ar se manteve BOA na maior parte do período amostrado, REGULAR nos dias 07 (70 µg.m⁻³) e 08 (76 µg.m⁻³) do mês de julho e 10 (54 µg.m⁻³) e 31 (53 µg.m⁻³) de agosto de 2010 e INADEQUADA somente no dia 26 (167 µg.m⁻³) de julho (APÊNDICE 3; TABELA 17). Em contrapartida, em IPA a qualidade do ar se manteve BOA durante todos os dias amostrados, pelo método HI-VOL e pelo método RAMQAM na maior parte do período (91%) para MP₁₀ (FIG. 33 e 34).

Com relação ao parâmetro SO₂ a qualidade do ar se manteve BOA em todo o período amostrado em FAB e IPA pelo método HI-VOL, assim como na maior parte do período pelo método RAMQAM (FIGURAS 33 e 34).

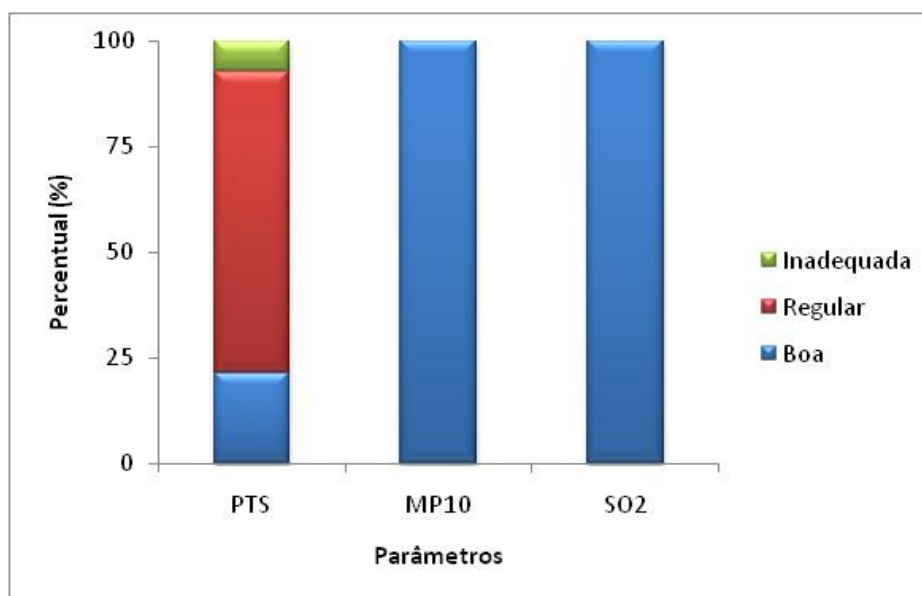


Figura 33: Distribuição percentual das classes de qualidade do ar de acordo com o IQAr quanto a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10) e SO2 no município de Ipatinga durante o período amostrado de maio a novembro de 2010 pelo método HI-VOL.

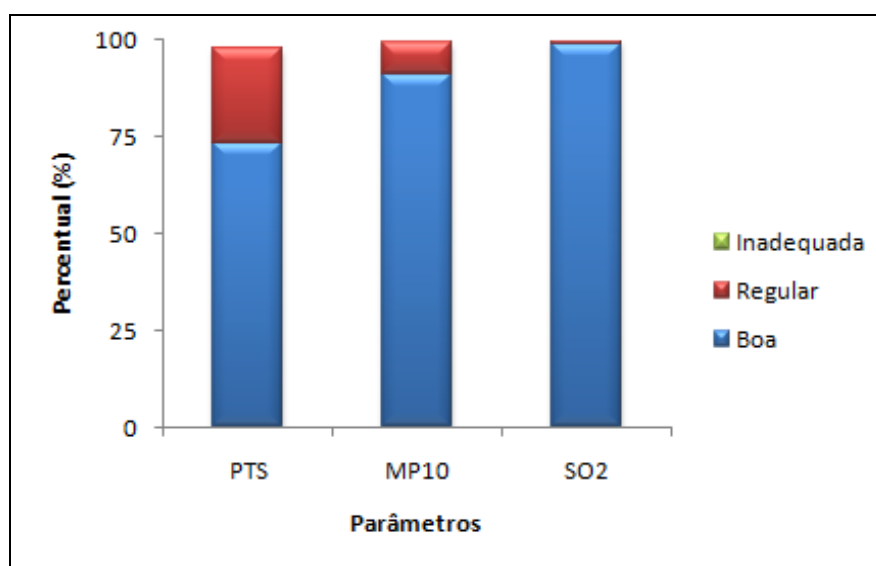


Figura 34: Distribuição percentual das classes de qualidade do ar de acordo com o IQAr quanto a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10) e SO2 no município de Ipatinga durante o período amostrado de maio a novembro de 2010 pelo método RAMQAM.

Vale destacar que esta realidade seria diferente se os índices da qualidade do ar para a região amostrada fossem baseados nos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), onde o limite máximo de concentração para material particulado é de $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (WHO, 2006b). Se assim fosse, tanto para FAB quanto para IPA a qualidade do ar se apresentaria como INADEQUADA na maioria dos dias no período amostrado para os parâmetros PTS e MP_{10} . Assim como para SO_2 , que apresentou valores acima do limite permitido pela OMS ($20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) em ambos os municípios (WHO, 2006b). Para este parâmetro, quando amostrado por RAMQAM em Ipatinga a qualidade do ar se apresentaria como INADEQUADA em quatro dias durante o período amostrado.

Em Ipatinga, níveis inadequados de qualidade do ar também já foram observados por PULINO (2010), onde o padrão anual para MP_{10} , segundo a resolução CONAMA, foi ultrapassado no bairro Novo Cruzeiro no ano de 2005.

É importante salientar que como apresentado nesta pesquisa os resultados apresentados a cerca de concentração de material particulado na região estudada seriam ligeiramente satisfatórios por se apresentarem em sua maioria dentro das normas brasileiras. Entretanto, o limite máximo do padrão secundário, amostrados em 24 horas, para concentração de material particulado (PTS e MP_{10}), baseados na resolução CONAMA ($150 \mu\text{g}/\text{m}^{-3}$) (WHO, 2006b) é três vezes maior que o limite estabelecido para OMS e União Européia ($50 \mu\text{g}/\text{m}^{-3}$).

7 CONCLUSÃO

Em ambos os pontos de amostragem nos municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga as condições meteorológicas influenciaram diretamente a qualidade do ar. Isto foi evidenciado pelo fato de que no período onde o ar se apresentou mais frio e seco as concentrações do material particulado se apresentaram maiores, enquanto que no período de transição entre seca e chuva, em decorrência da precipitação, os valores tanto de PTS e MP₁₀ se apresentaram menores. O contrário foi observado para as concentrações de SO₂, sendo que estas se apresentaram em maior quantidade no período de transição entre seca e chuva, onde a precipitação é maior.

De acordo com a legislação brasileira a cerca da qualidade do ar (CONAMA 03/1990), os ambientes amostrados apresentaram na maior parte do período níveis regulares para PTS e bons para MP₁₀ e SO₂. Entretanto, de acordo com os padrões da OMS, isto levaria a condições inadequadas. Se na região em estudo a lei fosse baseada nas normas internacionais citadas, em Coronel Fabriciano e Ipatinga a qualidade do ar seria avaliada como INADEQUADA em quase todo período amostrado, bem como para SO₂, cujo limite estabelecido pela OMS é de 20 µg/m³.

Coronel Fabriciano, apesar de não existir grandes indústrias e diretamente não usufruir dos benefícios econômicos gerados pelas indústrias vizinhas, mostrou uma tendência a apresentar um maior nível de poluição do ar, ou seja, apresentou episódios com concentração de PTS e MP₁₀ acima do limite CONAMA e classificações da qualidade do ar como inadequada mais frequentes do que em Ipatinga. Além disso, o estudo realizado nesta pesquisa apresentou que as doenças do trato respiratório em Coronel Fabriciano se apresentou em maior quantidade no período da estação de transição entre seca e chuva, quando a população esteve exposta sistematicamente aos poluentes no mês anterior, agravando o quadro das doenças no trato respiratório das vias superiores para as vias aéreas inferiores. Isto parece ter sido em decorrência do crescente tráfego de veículos e uma maior quantidade de fontes fixas de material particulado neste último. Além disto, a topografia menos plana em Coronel Fabriciano pode ter sido favorável ao acúmulo de poluentes no aerossol atmosférico local.

Foi constatado que as concentrações dos metais Fe, Sn, Ca, Na, Zn e Al, foram maiores em ambos os municípios, o que demonstrou que fontes fixas de poluentes atmosféricos associadas a indústrias siderúrgicas apresentam maior influência na poluição do ar do que fontes móveis como o tráfego de veículos, embora este apresentou-se relevante.

Foram observadas fortes correlações entre elementos e os mesmos com PTS e MP_{10} em maior quantidade no ponto em Coronel Fabriciano do que em Ipatinga.

A atmosfera da RMVA apresentou significativa quantidade de elementos tóxicos proveniente principalmente das indústrias presentes na região, em especial indústrias siderúrgicas, bem como do crescente tráfego de veículos. Portanto, é de suma importância promover estudos relacionando quantidade de poluentes nos outros municípios que compõem a região e atendimentos em hospitais a cerca de problemas respiratórios e doenças de caráter mais graves como o câncer, para que medidas mais rigorosas de controle ambiental e qualidade de vida sejam promovidas.

8 RECOMENDAÇÕES

A Colar Metropolitano do Vale do Aço é uma região importante socialmente, industrialmente e economicamente para do leste mineiro e para o desenvolvimento do Brasil, além de ser muito rica em recursos naturais. Cabe à sociedade acadêmica e industrial promover e manter o equilíbrio entre desenvolvimento, economia e recursos naturais, agenciando pesquisas científicas voltadas para as questões de cunho ecológico e socioambientais da região.

Como a região é composta por diversos outros municípios, recomenda-se através deste estudo, trabalhos epidemiológicos e temporais que abordem a relação entre doenças do trato respiratório e possíveis poluentes atmosféricos nos diversos municípios que compõem a região.

Por meio de parcerias, promover a implantação de uma Rede de Monitoramento Atmosférico no município de Coronel Fabriciano.

Cabe também o desenvolvimento de estudos relacionados à quantificação e classificação de fontes difusas de poluição atmosférica, bem como uma análise mais apurada à cerca do inventário de fontes de emissão, principalmente no município de Coronel Fabriciano. Além desse estudo, Coronel Fabriciano também necessita de uma pesquisa efetiva à cerca de sua topografia, clima e comportamento meteorológico ao longo do ano.

Em Ipatinga, seria importante a promoção de estudos temporais à cerca da análise dos dados de qualidade do ar da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia antes e após novas tecnologias de controle da poluição dentro da siderúrgica Usiminas, bem como levantamento de quantidade de veículos e poluentes advindos dos mesmos na cidade e municípios circunvizinhos.

Requerer o desenvolvimento de uma legislação (norma) para a região, que atribua limites dos parâmetros de qualidade do ar, de acordo com as características próprias de saúde pública, economia e tecnologia da RMVA, baseados na OMS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO, F. *et al.* Spatial and chemical patterns of PM₁₀ in road dust deposited in urban environment. **Atmospheric Environment**, Oxford, Vol. 43, p. 1650–1659, 2009.

ANDRADE J. B., MARTINS C. R. Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. **Química Nova**, São Paulo, Vol. 25, n.2, p. 259-272, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13412**: material particulado em suspensão na atmosfera: determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas, Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9546**: Dióxido de Enxofre no ar ambiente Determinação da Concentração pelo Método da Pararosanilina, Rio de Janeiro, 1986.

AVINO, P., GAPANNESI, G., ROSADA, A. **Heavy metal determination in atmospheric particulate matter by Instrumental Neutron Activation Analysis**. *Microchemical Journal*, 2008, 97 - 106.

BARROS, N.; FONTES, T.; BRÁS, C. **Comparação das Emissões do Tráfego Rodoviário por Análise dos Fatores de Emissão**. In: Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia da UFP, n° 1, PP.29, 2004.

BHANARKAR A.D., RAO P.S., GAJGHATE D.G., NEMA P. **Inventário de Emissões de SO₂, MP e Metais Tóxicos Provenientes de Fontes Industriais na Grande Mumbai, Índia**. *Atmospheric Environment*, Volume 39, Issue 21, julho 2005, páginas 3851-3864.

BILOS C., Colombo J. C., SKORUPKA C. N., Rodriguez Presa M. J. **Sources, Distribution and Variability of Airborne Trace Metals in La Plata City Area, Argentina**. *Environmental Pollution*, 2001, 149-158.

BORBA R.F., **Balanco Mineral Brasileiro**, 2001.

BOUBEL, R.W., FOX, D.L., TURNER, D.B., STERN, A.C. **Fundamentals of Air Pollution**. New York: Academic Press, 3ª edição, 1994, 574p.

BOUÇAS, J. G. **Aplicação de técnicas nucleares nos estudos e avaliação da poluição do ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2009. Dissertação (Mestrado) Comissão Nacional de Energia Nuclear, Belo Horizonte, 2009.

BRAGA A.L.F., CONCEIÇÃO G.M.S., PEREIRA L.A.A., KISHI H.S., PEREIRA J.C.R., ANDRADE M.F., GONÇALVES L.F.T., SALDIVA P.H.N., LATORRE M.R.D.O. **Air Pollution and Pediatric Respiratory Hospital Admissions in São Paulo, Brazil**. *J Environ Med* 1999; 2 95102.

BRAGA A.L.F., PEREIRA L.A.A., PROCÓPIO M., ANDRÉ P.A., SALDIVA P.H.N. **Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil.** Caderno de Saúde Pública Vol. 23, Rio de Janeiro 2007.

BRAGA J.R., BENEDITO P.F., HESPANHOL I., LOTUFO C.J.G., BARROS, M.T.L., VERAS J.M.S., PORTO M.F.A., NUCCI N.L.R., EIGER S., JULIANO N.M.A., **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. **Lei Complementar nº 1.535, de agosto 1997 da Prefeitura Municipal de Ipatinga no Estado de Minas Gerais.** Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Ipanema, no Município de Ipatinga.

BRASIL. **Lei Complementar nº 51, de 30 de dezembro de 1998 do Estado de Minas Gerais.** Institui a Região Metropolitana do Vale do Aço, dispõe sobre sua organização e funções e dá outras providências.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 3, de 28 de junho de 1990.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 5, de 15 de junho de 1989.** Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR" - Data da legislação: 15/06/1989 - Publicação DOU, de 25/08/1989, págs. 14713-14714.

CANCIO J.L., CASTELLANO A.V., HERNÁNDEZ M.C., BETHENCOURT R.G., ORTEGA E.M. **Metallic Species in Atmospheric Particulate Matter in Las Palmas de Gran Canaria.** Journal of Hazardous Materials 160 (2008) 521-528. Science Direct.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade do ar – Poluentes.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#oxido#oxido>. Acesso em: 20 set. 2009.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade do ar – Poluentes.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/ar_indice_padroes.asp>. Acesso em: 28 jan. 2011.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2008.** São Paulo: CETESB, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em: 20 de setembro de 2009.

COSTA, A.A.F. **Uso da Comunidade Epifítica Terrestre para Biomonitorar a Poluição Atmosférica na Região do Vale do Aço – MG** – Dissertação (mestrado), Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UNILESTE MG, 2007.

CPS - THE COLLEGE OF PETROLEUM AND ENERGY STUDIES. **The Technology of Gasoline and Diesel Fuel.** Oxford, 2001.

DAVIS, W.T. **Air Pollution Engineering Manual**. Air and Waste Management Association. Second Edition. Canada, 2000.

DER-MG - Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais. **Rodovia e Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br/>> . Acesso em: 15 nov. 2010.

DOERELL, P. E. **Commodities survey 2000 and outlook for 2001: Coal**. Engineering & Mining Journal, Coal. Disponível em <<http://www.highbeam.com/doc/1P3-70564585.html>> Acesso em: 15 nov. 2010.

DUTRA G.F., PEREIRA A.M, BRITO E.S., PEREIRA E.C.S., SANTOS C.L., GONÇALVES N.F., FERNANDES S.L.S., FIGUEIREDO F.J.B., OLIVEIRA F.M. **Análise Temporal das Internações Hospitalares e Óbitos causados por Doenças do Aparelho Respiratório em Idosos, Minas Gerais**. REV. BRAS. GERIATR. GERONTOL., RIO DE JANEIRO, 2010; 13(1):121-132.

ENERGÉTICA Qualidade do Ar, DIAS, J.W.C. **Manual de Operação do Amostrador de Pequenos Volumes para Coleta de até Três Gases (APV – TRIGÁS)**. Rio de Janeiro, 1999.

ENERGÉTICA Qualidade do Ar, DIAS, J.W.C. **Manual de Operação do Amostrador de Grandes Volumes para Partículas de até 10 µm (AGV – MP₁₀)**. Rio de Janeiro, 2005.

ENERGÉTICA Qualidade do Ar, DIAS, J.W.C. **Manual de Operação do Amostrador de Grandes Volumes para Partículas Totais em Suspensão (AGV – PTS)**. Rio de Janeiro, 2009.

EWING, G.W. **Métodos Instrumentais de Análise Química**. vol. II, Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1972.

EZEQUIEL, Wólmer. **Cinco Meses de Monitoramento**. Jornal Diário do Aço, Ipatinga, 20 de nov. 2010. Disponível em <<http://www.diariodoaco.com.br/noticias.aspx?cd=50584>>. Acesso em: 10 de jun. 2011.

EZEQUIEL, Wólmer. **MP rebate Críticas à Rede de Monitoramento**. Jornal Diário do Aço, Ipatinga, 18 de fev. 2011. Disponível em <<http://www.diariodoaco.com.br/noticias.aspx?cd=52480>>. Acesso em: 20 de fev. 2011.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Monitoramento da Qualidade do Ar: Índice da Qualidade do Ar**. Disponível em <<http://www.feam.br/component/content/81?task=view>> Acesso em: 02 de jan. 2011.

FERREIRA, Alex. Solução contra o Pó Preto. **Jornal Diário do Aço**, Ipatinga, 09 de fev. 2011. Disponível em: <<http://www.diariodoaco.com.br/noticias.aspx?cd=52282>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

FERREIRA, E. Poluição do ar mata dois milhões em cada ano, **Jornal de Notícias**, Porto, 2009. Disponível em: <http://jn.sapo.pt/PaginaInicial/Sociedade/Interior.aspx?content_id=1178613> Acesso em: 16 de mar. 2010.

FERREIRA, S.L., SANTOS, A.M., SOUZA, G.R., POLITO, W.L., MÓDOLO, D.L. **Análise por Cromatografia Gasosa de Btex nas Emissões de Motor de Combustão Interna Alimentado com Diesel e Mistura Diesel-Biodiesel (B10)**. *Quim. Nova*, Vol. 31, No. 3, 539-545, 2008.

FIGUEIREDO D.V. **Poluição na Indústria Siderúrgica: Processo, Poluentes e Controle das Emissões**. CETEC ed. Belo Horizonte, 1985.

FONTES, Cláudio Nissel de Carvalho e Silva. **Qualidade do Ar – Poluição do Ar. Site Ambiente Brasil**. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/artigos_urbano/qualidade_do_ar.html?query=fen%C3%B4meno+de+convec%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 16 set. 2011.

GODOY, M. L. D.P, GODOY, J. M., ROLDÃO, L. A., SOLURI D. S., DONAGEMMAB R.A.; **Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil**; Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2008.

GOYAL, S. **Effect of Winds on SO₂ and Suspended Particulate Matter Concentrations in Delhi**. *Atmospheric Environment* 36 (2002) 2925-2930.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coronel Fabriciano - **População e Domicílios - Censo 2000 com Divisão Territorial 2001**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acessado em: 22 de setembro de 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População Total Residente – Unidade de Federação e Municípios - 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31&dados=1>>. Acesso em: 12 de junho de 2011.

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia **Competitividade e Sustentabilidade Ambiental da Siderurgia Brasileira**. Disponível em <www.usp.br/mudarfuturo/2009/cap2.htm> Acessado em 23 de abril de 2010.

INMET Instituto Nacional de Meteorologia. **Valores Extremos Registrados**. disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Valores%20Extremos/>>. Acesso em 25 de set. de 2009.

JACOMINO, V. M. F., QUEIROZ, P. G. M., MENEZES, M. Â. **Air Quality Evaluation Of Sete Lagoas City Using Neutron Activation Analysis** Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear; 2007.

JUNIOR O., LACAVA C., FERNANDES P. **Emissões Atmosféricas**. SENAI. Brasília, 2002, 373p.

LENORE, S.; CLESCERI, A. E.; GREENBERG, A. D.; EATON. **Standard Methods for The Examination Of Water And Wastewater 21th Edition**. ISBN 0-87553-235-7 - ISSN 55-1979 **Seção 3030E Digestão com Ácido Nítrico**, 1998.

LIMA, M.M.C. **Estimativa de Concentração de Material Particulado em Suspensão na Atmosfera por meio da Modelagem de Redes Neurais Artificiais**. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2006.

LIN, A.C.; MARTINS, M.A.; FARHAT, S.L., POPE III, C.A.; CONCEIÇÃO GMS, ANASTÁCIO MV *et al.* **Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil**. *Pediatr Perinat Epidemiol* 1999; 13:475-87.

LISBOA H.M, KAWANO M. **Controle da Poluição Atmosférica, Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**, cap. IV, 2007.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

MACNEE W., DONALDSON K. **Particulate air pollution: Injurious and protective mechanisms in the lungs**. In *Air Pollution and Health*. Holgate S. T., Samet J. M., Koren H. S., and Maynard R. L., eds. Academic Press, San Diego, pp. 653–72, 1999.

MAGALHÃES, L.C. **Estudo do Material Particulado e Metais associados às Partículas Totais em suspensão na Cidade de Ouro Preto, MG**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Ouro Preto: 2005.

MALM, WC. **Introduction to Visibility, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA)**, Colorado State University, Fort Collins, CO, 2000. Disponível em: <www.epa.gov/air/visibility/introvis.pdf> Acesso em: 25 de mar. de 2010.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A.; GONÇALVES F. L. T., SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F. **Poluição Atmosférica e Atendimento por Pneumonia e Gripe em São Paulo, Brasil**. *Rev Saúde Pública* 36(1):88-94, 2002.

MAURO A., CARCONI PL. **A European Intercomparison of Vegetal Standard reference materials, based on INAA and some non nuclear spectromical techniques**. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 151 (1991) 149-157.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Diretoria de Mudanças Climáticas. Brasília, 2010.

MORENO-GRAU, S.; PEHREZ-TORNELL, A.; BAYO, J.; MORENO, J.; ANGOSTO, J.M.; MORENO, J. **Particulate Matter and Heavy Metals in the Atmospheric Aerosol from Cartagena, Spain**. *Atmospheric Environment* 34 (2000) 5161-5167.

MOURA M., JUNGER W. L., MENDONÇA, G. A. S., LEON, A. P. **Qualidade do ar e Transtornos Respiratórios Agudos em Crianças.** Rev Saúde Pública 2008;42(3):503-11.

MPMG - MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Assessoria de Comunicação do Ministério Público Estadual (meio ambiente – Ipatinga -TAC- estação ar), **Terminal de supervisão da rede de monitoramento do ar de Ipatinga é instalado. 2009.** Disponível em <<http://www.mp.mg.gov.br/portal/public/noticia/index/id/9029>> Acesso em: 17 de mar. de 2010.

MURTA, S. **Ipatinga: uma Cidade em Movimento. Estudo dos Impactos do Projeto Novo Centro na remoção e no Reassentamento de População.** Dissertação (Mestrado) Centro Universitário de Caratinga (UNEC). Caratinga: 2004.

O Corpo Humano. **Sistema Respiratório.** Disponível em <www.ocorpohumano.com.br/s_respiratorio.htm> Acesso em: 26 mar. 2011.

OKE, T. K. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation.** Journal Climatology, Vol. 1, p.237-254, 1981.

OLIVEIRA, Janaína. **Pó de siderúrgica prejudica Ipatinga.** Jornal Hoje em Dia, Belo Horizonte, 14 fev. 2011.

ORAVISJÄRVI, K.; TIMONEN, K.L.; WIKINKOSKI, T.; RUUSKANEN, A.R.; HEINÄNEN, K.; RUUSKANEN, J. **Source Contributions to PM_{2,5} particles in the urban Air of a Town situated Close to a steel works.** Atmospheric Environment 37 (2003) 1013–1022.

PANDIS S. N.; SEINFELD J. H.; *Atmos. Environ.* 1992, 26A, 2509.

PANDYA R.J., SOLOMON G., KINNER A., BALMES J.R. **Diesel exhaust and asthma: hypotheses and molecular mechanism of action.** *Environ Health Perspect* 2002; 110:103-12.

PASCALICCHIO, A.A.E. **Contaminação por Metais Pesados, Saúde Pública e Medicina Ortomolecular.** São Paulo: Annablume, 2002.

PEREIRA L.A.A, LOOMIS D, CONCEIÇÃO GMS, BRAGA ALF, ARCAS RM, KISH HS *et al.* **Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil.** *Environ Health Perspect* 1998; 106:325-9.

PETROBRAS. **Gasolina Automotiva.** Betim: ASCOM, 1996. 90p.

PINHEIRO, J. A. N. **Ilha de calor urbana.** UFPa, 31 out. 2008. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/articles/10654/1/Ilha-de-Calor-Urbana/pagina1.html>> Acesso em: 14 mar. 2011.

PNUD -

POOLEY, D.F, MILLE M. **Air pollution and health: composition of air pollution particles.** Cardiff: University of Wales, 1999. Cap.28.

PRODEMGE - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Evolução Histórica da Frota de Veículos no Estado de Minas Gerais.** Disponível em: <<http://www.prodemge.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2010.

PULINO, A. M. **Diagnóstico da qualidade do ar no município de Ipatinga, Região do Vale do Aço, Estado de Minas Gerais.** 2006. 44 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: 2006.

PULINO, A. M.; SANTI, A. M. M. **Siderurgia e Poluição Atmosférica: Um Estudo de Caso – A Qualidade do Ar No Município de Ipatinga, Região do Vale do Aço, Minas Gerais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos.** Disponível em: <<http://www.abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyPortal/Site/XPPortalPaginaShow.php?id=376>>. Acesso em: 14 mar. 2010.

QUEIROZ, M.T.A. **Bioacumulação de Metais Pesados do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Aplicando a Análise por Ativação Neutrônica Instrumental.** Dissertação (Mestrado). Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UnilesteMG: 2006.

QUEROL, X. *et al.* Characterisation of atmospheric particulates around a coal-fired power station. **International Journal of Coal Geology**, Amsterdam, v. 40, p. 175–188, 1999.

QUEROL, X. *et al.* Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. **Atmospheric Environment**, New York, Vol. 41, p. 7219–7231, 2007.

RAGOSTA, M. *et al.* Source origin and parameters influencing levels of heavy metals In TSP, in an industrial background area Of southern Italy. **Atmospheric Environment**, New York, Vol. 36, p. 3071–3087, 2002.

SALDIVA, P. H. N. *et al.* Air pollution and mortality in elderly people: a time series study in São Paulo, Brazil. **Arch Environ Health**, Washington, v. 50, n. 2, p.159-64, 1995.

SANTOLIM L.C.D., CURBANI F., RADAELI L.A., SIMÕES A.S., ARAÚJO I.B., SILVA A., GUIMARÃES G.O., MORAIS T.J., CAVASSANI K.N. **Dimensionamento da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia de Ipatinga.** Relatório Técnico - RTC08045. Usiminas Siderúrgica de Minas Gerais – USIMINAS, EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais LTDA. Ipatinga, 2008.

SCHWARTZ, J. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. **Environ Res**, San Diego, Vol. 64, p.36-52, 1994.

SCHWARTZ, J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. **Epidemiology**, Baltimore, Vol. 7, p.20-8, 1996.

SILVA C.N.C. **Poluição do Ar**. Ambiente Brasil. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./urbano/index.html&conteudo=./urbano/artigos/qualidade_ar.html>. Acesso em: 03 mar. 2010.

SILVA, E. N. *et al.* Qualidade do ar na favela Paraisópolis, SP, e possíveis implicações à saúde. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Vol. 18, p. 60-66, 2006.

SILVA, L. I. D.; SARKIS, J. E. S., ZOTIN, F. M. Z., CARNEIRO, M. C., NETO, A. A., SILVA, A. S. A. G., CARDOSO, M. J. B., MO NTEIRO, M. I. C. **Traffic and Catalytic converter – Related Atmospheric Contamination in the Metropolitan Region of the city of Rio de Janeiro, Brazil**. *Chemosphere* 71, 2008.

SIQUEIRA, M. R. D. *et al.* Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Cuiabá e Várzea Grande - MT, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2009, Cuiabá: ABES, 2009.

SOUZA, A. M. **Estudo de emissões de vapores orgânicos no carregamento de gasolina em caminhões–tanque**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado)- Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

TAYT-SOHN, F. C. O. *et al.* **Estudo da Influencia dos Efeitos da Brisa Marítima Sobre a Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Utilizando o Modelo MM5**. 2008.

TEZA, V.C.T.; MELLO BAPTISTA, G.M. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER (III): Metrôpoles Brasileiras**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais*, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3911-3918, 2005.

TORRES, F.T.P. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, Vol. 4, p. 23-39, 2005.

TOULOUMI, G, *et al.* Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. **Am J Epidemiol**, Baltimore, Vol. 146, p. 177-84, 1997.

TURN, S.Q. *et al.* Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels. **Journal of Geophysical Research**, Washington, Vol. 102, p. 2683-99, 1997.

ULHÔA, M. B. *et al.* **Carvão aplicado à fabricação de coque de alto-forno**. Curso Interno da USIMINAS, Ipatinga-MG, Mar. 1999.

US EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Air Quality Criteria for Particulate Matter**. Vol. 2. EPA/600/P-99/002a-f, 2004. Disponível em: <www.epa.gov/pmresearch/> Acesso em: 28 mar. 2010.

US EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere**. 40

CFR 50, Apêndice J, 1990. Disponível em: <<http://www.epa.gov/lawsregs/search/40cfr.html>>. Acesso em: 20 set. 2009.

US EPA, United States Environmental Protection Agency. Air Quality Index – A Guide to Air Quality and your Health. U.S. **Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Outreach and Information Division Research Triangle Park, NC**. EPA-456/F-09-002, Agosto, 2009. Disponível em: <http://www.epa.gov/airnow/aqi_brochure_08-09.pdf> Acesso em: 16 set. 2011.

VAZ, D. S.; VAZ, J. S. Análise geográfica dos eixos de desenvolvimento de Coronel Fabriciano (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, Vol. 9, n. 28, p. 153 – 165, Dez 2008.

VEADO, M. A. R. V. *et al.* **Neutron Activation Analysis - NAA: studies of environmental pollution in Steel Valley Region, Brazil**. International Nuclear Atlantic Conference – INAC, 2009 (*no prelo*), Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

WHO – World Health Organization. **Air Quality Guidelines for Europe**. Copenhagen: WHO Regional Publication n°91, 2006b. 28p.

WHO – World Health Organization. **Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005 – Summary of Risk Assessment. Switzerland: Outubro, 2006a**. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf>. Acesso em: 08 jul. de 2011.

ZILBERMAN, I. **Introdução à Engenharia Industrial**. Canoas: Ed. ULBRA, 2004.

APÊNDICE 01 – Dados de atendimento por doenças no trato respiratório em coronel fabriciano e possíveis fontes de emissão de poluentes atmosféricos em Coronel Fabriciano e Ipatinga.

Tabela 10: atendimentos de doenças no trato respiratório no Hospital Siderúrgica no município de Coronel Fabriciano - MG.

<i>Doença</i>	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>
Influenza (gripe) com Pneumonia	1		
Influenza (gripe) com Pneumonia.	2		1
Outras Pneumonias Virais	2		
Pneumonia Viral não especificada	1		2
Broncopneumonia não especificada	9	19	22
Pneumonia não especificada	13	76	94
Bronquite aguda não especificada	1	2	1
Hipertrofia das amígdalas com hipertrofia das adenoides.	2	1	2
Doença pulmonar obstrutiva crônica não especificada	1	10	12
Asma não especificada	3	68	57
Bronquiolite devida a outros microorganismos		2	
Desvio do septo nasal		2	1
Hipertrofia das adenoides		2	3
Doença das amígdalas e das adenoides não especificada		1	2
Abscesso periamigdaliano		2	
Edema Pulmonar, não especificado de outra forma		2	3
Derrame pleural não classificado		1	
Insuficiência respiratória aguda		1	
Pneumonia Bacteriana não especificada			1
Outras formas especificadas de doença pulmonar obstrutiva			1
Nasofaringite aguda (resfriado comum)	1	33	33
Sinusite aguda não especificada	2	1	2
Amigdalite aguda não especificada	2	111	114
Laringite aguda	1	7	4
Outras infecções agudas das vias aéreas superiores	9		
Infecção aguda das vias aéreas superiores não especificada	13	124	163
Influenza com outras manifestações respiratórias	1	44	101
Rinite alérgica não especificada	2	5	4
Sinusite crônica não especificada	1	70	67
Bronquite não especificada como aguda ou crônica	3	54	69
Outros transtornos pulmonares			1
Outras Sinusites agudas		1	
Faringite aguda não especificada		12	13
Enfisema não especificado		1	
Doença pulmonar intersticial não especificada		5	4
Outras doenças dos bronquios não classificada em outra parte		6	6
Insuficiência cardíaca não especificada			4
Outros transtornos especificados do nariz e dos seios paranasais			3
Outros transtornos respiratórios especificados			1

Fonte: Hospital Siderúrgica, 2010

Quadro 14: Inventário de empresas e prestadoras de serviço existentes no município de Coronel Fabriciano próximas ao ponto de amostragem e suas respectivas fontes de emissão.

<i>EMPRESA</i>	<i>POSSÍVEL EMISSÃO</i>
AGFER Ferro e Aço	Galvanização e soldagem
RESIPLIN	Resinas de Fibra e Aço
FM Diesel Oficina de caminhões	Desgaste de freios de caminhões e queima de combustível
Fábrica de Móveis 100%	Pó de serra
RODONAVES Transporte e Encomendas	Queima de combustível de veículos
AMORTECE Recondicionadora	Soldagem, desgaste de pneus
MADEIMINAS Indústria e Comércio	Pó de serra
SM Diesel	Desgaste de freios de caminhões e queima de combustível
UNIVALE Transportes	Queima de gases de combustível de veículos
VIAÇÃO ACAIACA	Queima de gases de combustível de veículos
Madeiras NEARPE Comércio e Indústria	Pó de serra
CASA E QUINTÃO Rações	Poeira
Fábrica de Carroceria SÃO DOMINGOS	Soldagem, pintura, lanternagem, pó de madeira
LANÇAMENTOS Construção	Poeira de material de construção civil
MARMORARIA PAULO	Poeira de pedra
ARMÁRIO E CIA	Poeira
MP pré-moldados e serviços	Poeira de material de construção civil.
Depósito PAGUE MENOS	Poeira de material de construção civil.
LANTERCAR Lanternagem e Pintura	Resíduos de Tintas, galvanização.
MARMORARIA Vale do Aço	Pó de pedra
Oficina JB	Soldagem
Ferro Velho do Maurílio	Pó de ferro e poeira de partes de veículos
Real Lavagem e polimento de veículos	Polimento de veículos
Rodoviário LAMONIER	Queima de gases de combustível de veículos.
Posto Central	Frenagem de Veículos
Sucataria MOREIRA	Pó de ferro
ARTMIX pré-moldados Concretos	Material de construção Civil
Auto Mecânica Diesel	Desgaste de veículos, frenagem
Posto ALEMÃO	Freios de carros e desgaste de pneus
Mecânica ALVIM	Desgaste de veículos, frenagem
HIDRAUFREIOS Comércio de Peças e Serv. Para veículos	Desgaste de veículos, frenagem
ALINHAÇO	Desgaste de veículos, frenagem
Recondicionadora BARRETO	Poeira com possível subproduto de pneus (borracha)
GONTIJO Transporte	Frenagem, desgaste de pneus e veículos
CONCRETOMIX	Pó de concreto

Quadro 15: Inventário de empresas e prestadoras de serviço existentes no município de Ipatinga próximas ao ponto de amostragem e suas respectivas fontes de emissão.

<i>EMPRESA</i>	<i>POSSÍVEL EMISSÃO</i>
LOJÃO DA CONSTRUÇÃO	Poeira da material de construção
USIMINAS -Usinas Siderúrgica de Minas Gerais	Alto forno, sinterização, coqueria, laminação, fundição
REFRAMAX Engenharia	Refratários e Isolamento Térmico
Pronto Socorro Municipal	Frenagem de veículos, desgaste de pneus
HOSPITAL MÁRCIO CUNHA – Unidade II	Frenagem de veículos, desgaste de pneus
Auto peças REAL	Frenagem de veículos, desgaste de pneus
Lavajato	Lanternagem, polimento de veículos

APÊNDICE 02 - Quantificação e comparação da concentração de elementos químicos nos filtros utilizados para amostragem, ilustração dos métodos utilizados como técnicas de análises para obtenção dos elementos, descrição da metodologia de obtenção do gás SO₂ e concentração de elementos nos filtros amostrados.

Tabela 11: Quadro comparativo das concentrações de elementos obtidas nos filtros de fibra de vidro e quartzo, sem amostras, pelo fabricante, contidas no manual dos equipamentos (ENERGÉTICA, 2005) entre as concentrações obtidas pelas análises realizadas nesta pesquisa pelo método de absorção atômica e ativação neutrônica.

<i>Filtro</i>	<i>Fibra de Vidro E55</i> ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)	<i>Fibra de Vidro E55</i> ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)	<i>Fibra de Vidro E55</i> ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)	<i>Quartzo EQTZ</i> ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)	<i>Quartzo EQTZ</i> ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)	<i>Quartzo EQTZ</i> ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)
Método	Absorção Atômica	Absorção Atômica	Ativação Neutrônica	Absorção Atômica	Absorção Atômica	Ativação Neutrônica
Fonte	Energética, 2005	Esta pesquisa, 2010	Esta pesquisa, 2010	Energética, 2005	Esta pesquisa, 2010	Esta pesquisa, 2010
<i>Elemento</i>						
Ferro (Fe)	1,54	0,90	ND	< 0,12	0,11	8,0
Níquel (Ni)	0,03	0,34	ND	< 0,009	0,24	ND
Manganês (Mn)	0,05	0,09	ND	< 0,019	0,03	ND
Cromo (Cr)	0,09	0,09	1,83	< 0,009	0,04	0,68
Chumbo (Pb)	0,17	1,86	ND	< 0,004	1,14	ND
Zinco (Zn)	110	86,67	2356	< 0,019	0,10	0,52
Cádmio (Cd)	0,006	0,13	ND	< 0,009	0,07	ND
Cobre (Cu)	0,03	0,11	ND	< 0,019	0,04	ND
Cobalto (Co)	ND	0,20	0,06	< 0,009	0,12	0,09
Molibdênio (Mo)	ND	ND	ND	< 0,002	ND	1,97
Estanho (Sn)	ND	15,7	ND	< 0,019	8,16	ND
Vanádio (V)	ND	ND	ND	< 0,019	ND	ND
Arsênio (As)	ND	ND	ND	< 0,19	ND	ND

Fonte: Esta Pesquisa, 2010

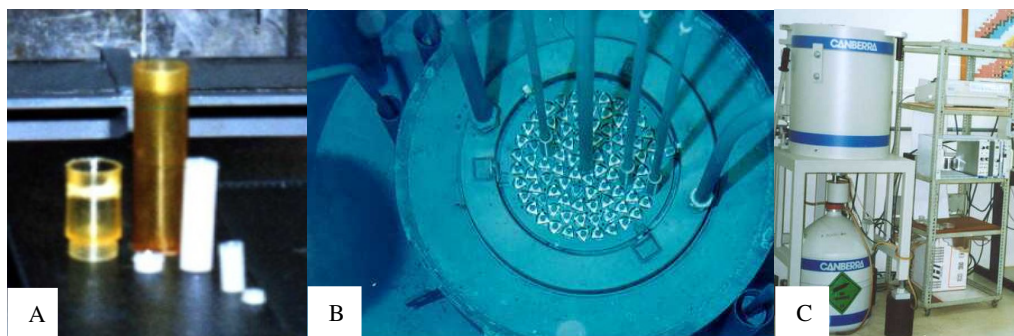


Figura 35: Tubos de polietileno (A) utilizados para inserção das amostras no reator nuclear (B) e detector do tipo semiconductor de cristal de Germânio Hiper-puro (C).

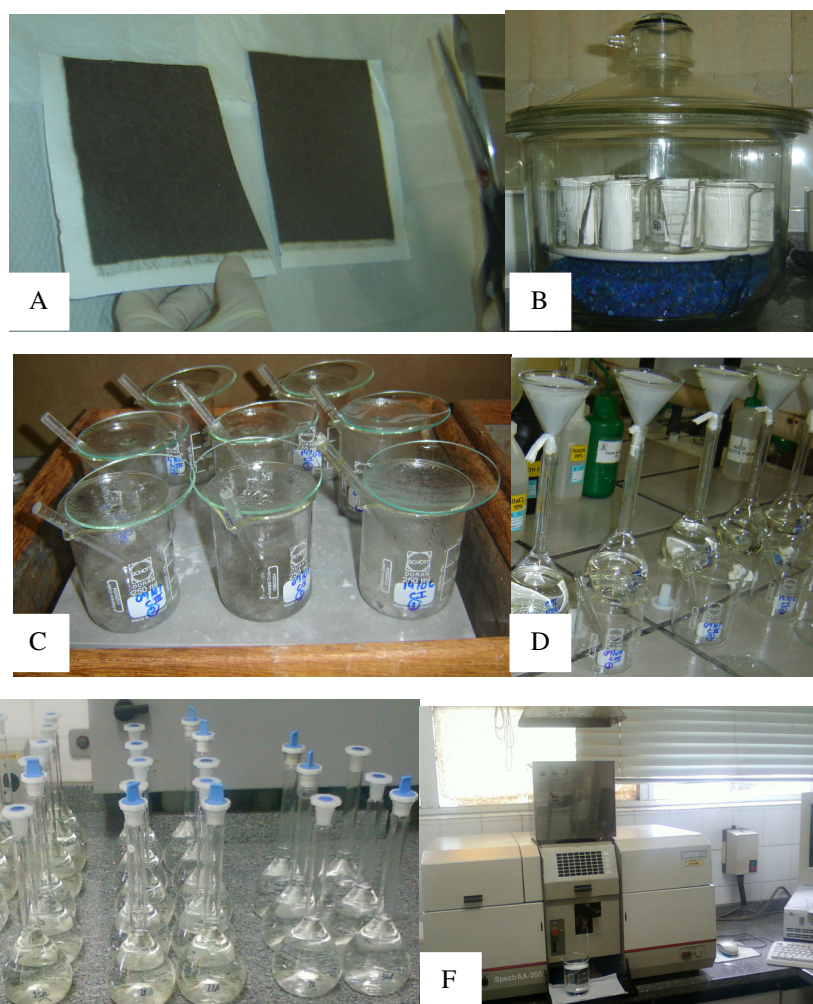


Figura 36: Preparação (A, B), digestão (C) e filtração (D) dos filtros de PTS e MP10 para leitura em absorção atômica (E, F).

2.1 Discriminação do Método de Análise de SO₂ utilizando Pararrosanilina (PRA)

Nesta pesquisa foi utilizada uma solução alcoólica de PRA a 0,2 % preparada com o sal previamente purificado de pararrosaniline (chloride) (C.I. 42500) da marca MERCK com 98% de pureza, que se encontra numa faixa ótima de absorvância de 545 a 547 nm. Esta solução foi estocada em frasco de vidro âmbar sob refrigeração inferior a 22°C, a mesma se manteve estável por nove meses.

As análises foram realizadas em batelada durante duas vezes entre os sete meses de amostragem.

Depois de purificado o sal e preparada a solução de PRA foi preparada a curva de trabalho utilizando a mesma, produzindo uma solução padronizada de sulfito-TCM, que teve como reagente principal o sulfito de sódio (Na₂SO₃). Esta solução é estável por trinta dias se refrigerada a 5°C e deve conter entre 6,4 a 8,0 µg.mL⁻¹ de SO₂ (ABNT, 1986).

Para a curva de trabalho foi necessário pipetar 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 mL da solução sulfito-TCM respectivamente em cinco balões de 25 mL.

A quantidade de (µg.mL⁻¹) na solução de sulfito-TCM foi igual ao produto da concentração da mesma pelo volume dessa solução em mililitros, o que correspondeu a um valor de 7,63 µg.mL⁻¹ de SO₂, o qual se encontrou dentro da faixa de concentração de SO₂ especificados pela norma. Com isso pudemos observar este valor no ponto 1,0 de absorvância 0,326 correspondente ao terceiro ponto da curva de trabalho (TABELA 12).

Para a leitura da curva de calibração e das amostras foi utilizado o espectrofotômetro colorimétrico da marca HACH modelo DR5000 e cubeta de 10,0 mm.

De acordo com os cálculos, a curva de trabalho para a leitura das amostras foi satisfatória, pois como recomendado pela norma da ABNT, o ponto de interseção com o eixo das ordenadas apresentou um valor abaixo de 0,03 unidades de absorvância e o valor R da curva foi de 1,000 unidade (TABELA 12).

Tabela 12: Curva de trabalho para análise de dióxido de enxofre (SO₂) por espectrometria colorimétrica, através do método pararrosanilina.

<i>Ponto</i>	<i>ABS</i>	<i>μg SO₂.mL⁻¹</i>
PB	0,122	0,00
0,5	0,220	3,82
1,0	0,326	7,63
2,0	0,516	15,26
3,0	0,720	22,89
4,0	0,910	30,52
Dados para equação da reta	R ²	1,000
	A	0,0259
	B	0,1236

No espectrofotômetro utilizado o cálculo da concentração de SO₂ em cada ponto da curva foi apresentado através da expressão a seguir:

$$SO_2 \mu g . mL^{-1} = \frac{(ABS - 0,0259)}{0,1236}$$

Continuando o procedimento da análise foram pipetados uma alíquota de 5 mL de cada amostra (balões de 50 mL) em respectivos balões de 25 mL, logo após as mesmas foram tratadas com solução de ácido sulfâmico 0,6 %, solução de formaldeído a 0,2 % e a solução de pararrosanilina, daí foi realizada a aferição dos balões de 25 mL. Após 30 minutos, tempo necessário para o desenvolvimento da cor (FIG. 35), foram medidas as absorvâncias das amostras a 548 nm.

Foi preparado um ensaio em branco para cada série de determinações (bateladas), utilizando balão de 25 mL, tomando 10 mL de solução de TCM não exposta ao ar ambiente.

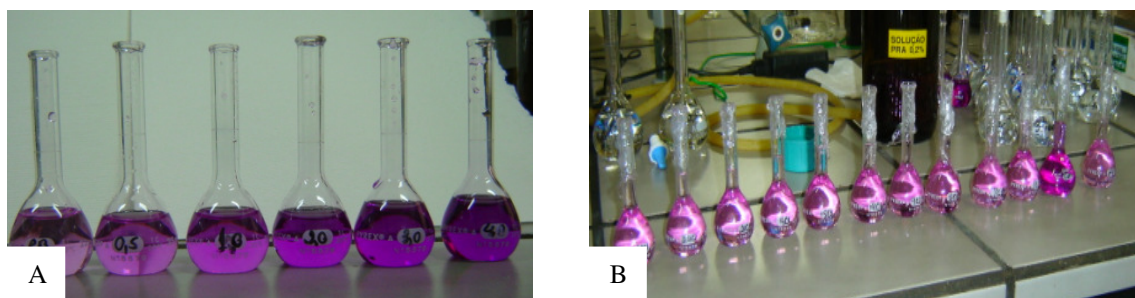


Figura 37: Curva de trabalho (A) e amostras preparadas (B) para análise de SO_2 pelo método de pararosanilina (PRA).

Tabela 13: Concentração de elementos nas PTS (ng.m⁻³) em FAB, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.

Data / Elementos	Al	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K ^(*)	Mg	Mn	Na ^(*)	Ni	Pb	Sn	Ti	Zn
31/05/10	0,00	50,19	0,00	ND	0,08	2,00	31,79	141,07	10,44	0,00	79,76	0,25	0,76	998,42	17,01	52,73
07/06/10	428,56	285,84	0,00	ND	0,19	17,04	212,62	866,34	54,28	6,98	557,52	1,96	4,52	9382,27	66,08	653,31
08/06/10	320,62	258,28	0,00	ND	1,46	16,30	176,62	728,86	41,13	6,01	361,94	1,78	7,83	8384,49	116,35	527,52
09/06/10	600,28	423,71	0,69	ND	0,03	49,76	434,13	1190,10	87,70	13,38	500,40	3,30	11,74	17095,31	39,50	979,08
14/06/10	694,18	371,20	0,60	ND	0,00	20,24	166,83	1358,20	67,49	5,16	1267,61	0,74	1282,81	6373,08	14,38	1246,47
21/06/10	616,39	471,54	0,56	ND	0,27	101,91	430,69	1238,62	103,69	19,31	691,08	2,31	9,94	13463,55	0,00	752,43
22/06/10	569,07	615,52	0,80	ND	3,28	46,96	557,53	1400,03	148,82	30,52	192,32	2,45	13,22	11068,61	0,00	696,02
23/06/10	440,74	286,54	0,00	ND	0,00	23,94	302,16	762,64	66,69	11,11	242,73	2,04	9,81	9921,80	0,00	510,74
06/07/10	365,79	285,14	0,00	ND	0,00	17,93	233,13	623,47	61,07	6,11	397,30	1,42	6,27	9311,66	0,00	458,25
07/07/10	1017,46	556,43	0,00	ND	0,00	33,86	381,40	1797,65	116,54	12,39	1311,18	1,05	1442,53	8844,10	40,70	1340,87
08/07/10	448,81	386,40	0,71	ND	0,00	31,36	376,88	986,52	96,61	15,82	662,99	2,16	9,34	11447,99	0,00	550,60
26/07/10	363,57	238,51	0,00	ND	0,00	16,77	194,62	713,76	50,55	6,42	525,93	1,15	5,98	8349,09	0,00	490,90
27/07/10	0,00	41,17	0,00	ND	0,00	2,76	42,20	121,27	10,01	0,00	61,59	0,19	1,27	1561,00	0,00	85,77
28/07/10	380,83	318,37	0,00	ND	2,62	24,72	187,69	601,76	78,07	9,56	999,23	0,60	3,36	4845,26	12,40	495,99
10/08/10	510,11	318,05	0,85	0,48	0,00	23,49	206,50	1789,60	108,37	12,83	394,98	1,33	3,03	6024,34	50,79	442,79
11/08/10	387,86	213,59	0,93	0,49	0,00	20,47	115,81	821,36	71,44	8,31	907,92	1,71	2,61	4866,35	23,41	395,40
12/08/10	542,47	228,23	0,90	0,47	0,00	23,77	156,18	1750,07	87,48	10,44	753,31	1,86	5,17	5558,62	0,00	449,98
31/08/10	518,23	412,50	1,21	0,45	0,00	27,13	292,59	2127,45	163,42	26,10	663,45	2,45	7,38	4386,23	0,00	396,85
14/09/10	557,32	254,63	1,02	0,72	0,00	19,94	165,87	1547,62	100,53	11,13	568,64	2,73	8,44	4170,90	2,02	525,81
22/09/10	298,42	120,53	0,92	0,61	0,00	12,57	110,36	1116,60	56,70	6,66	173,42	1,97	6,25	2437,23	0,00	289,24
29/09/10	340,18	140,60	1,05	0,55	0,00	19,65	164,32	1357,98	59,92	9,46	227,30	2,35	8,09	1989,34	1,49	381,55
06/10/10	214,20	41,86	0,77	0,46	0,00	10,82	46,43	927,80	27,51	0,00	347,14	1,50	5,20	829,29	1,53	280,40
21/10/10	227,04	99,88	1,20	0,67	0,00	17,70	118,30	1152,21	49,53	7,10	343,36	2,32	6,94	923,91	15,49	254,98
27/10/10	136,79	35,20	1,10	0,67	0,00	13,52	57,67	825,05	22,10	3,63	103,31	1,85	8,02	1105,85	17,13	166,38
04/11/10	0,00	12,18	0,72	0,39	0,00	9,38	43,00	609,77	12,67	0,00	63,22	1,16	4,02	851,24	16,44	144,07
10/11/10	0,00	26,39	1,00	0,56	0,00	14,66	36,95	671,88	17,86	2,51	5,24	1,67	6,40	973,56	24,15	148,56
17/11/10	0,00	6,34	0,90	0,45	0,00	10,75	43,53	554,49	8,33	0,00	25,84	1,39	5,05	434,17	24,75	111,72
24/11/10	0,00	77,63	0,63	0,31	0,00	6,42	24,65	402,92	5,43	0,95	0,00	1,07	3,81	408,58	23,70	86,96

(*) Elementos obtidos por Fotometria de Emissão de Chama (FEC).

Tabela 14: Concentração de elementos nos MP₁₀ (ng.m⁻³) em FAB, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.

Data / Elementos	Al	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K ^(*)	Mg	Mn	Na ^(*)	Ni	Pb	Sn	Zn
31/05/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07/06/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
08/06/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09/06/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14/06/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21/06/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22/06/10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/06/10	12,74	27,09	0,57	0,25	0,06	0,15	20,39	6,13	5,32	1,09	0,00	0,73	5,19	0,00	0,68
06/07/10	11,76	31,64	0,55	0,17	0,00	0,06	18,49	5,62	5,53	0,86	0,00	0,66	4,65	0,00	0,53
07/07/10	20,70	48,77	1,05	0,44	0,00	0,30	33,54	7,00	8,71	1,62	0,00	1,15	8,24	18,79	1,02
08/07/10	13,58	69,98	1,20	0,40	0,00	0,31	44,82	10,72	11,14	2,14	0,00	1,54	9,67	24,34	1,15
26/07/10	0,00	112,34	0,57	0,00	3,32	2,46	74,54	20,04	20,31	3,76	0,00	0,00	4,33	93,70	3,68
27/07/10	0,00	29,89	0,11	0,00	1,01	0,61	25,67	5,89	5,35	1,30	0,00	0,00	1,74	10,22	0,50
28/07/10	0,00	30,36	0,13	0,00	0,75	1,10	21,16	5,31	5,48	1,13	0,00	0,20	2,47	30,79	1,10
10/08/10	0,00	42,33	0,20	0,00	0,43	1,05	29,05	11,36	9,46	1,58	0,00	0,03	2,75	39,29	1,18
11/08/10	0,00	17,49	0,13	0,00	0,38	0,49	9,40	5,17	3,84	0,59	0,00	0,00	1,79	15,04	0,60
12/08/10	0,00	24,03	0,16	0,03	0,22	0,91	16,49	4,46	4,91	0,97	0,00	0,15	2,14	21,86	0,77
31/08/10	12,78	0,66	0,00	0,00	0,00	0,67	27,18	8,23	0,60	2,18	28,10	0,30	0,00	0,00	0,66
14/09/10	6,61	30,41	0,00	0,07	0,00	0,48	12,42	5,60	6,09	0,85	16,30	0,38	0,99	0,00	1,03
22/09/10	1,95	15,20	0,00	0,03	0,00	0,47	6,18	3,26	3,46	0,45	11,80	0,30	0,97	0,00	0,46
29/09/10	2,47	22,65	0,00	0,14	0,00	0,98	14,14	7,46	3,97	1,04	0,00	0,60	1,40	0,00	1,71
06/10/10	0,00	4,00	0,00	0,04	0,00	0,36	0,00	2,34	1,25	0,14	8,20	0,37	0,78	0,00	0,21
21/10/10	1,93	15,86	0,00	0,07	0,00	0,49	8,00	3,90	2,77	0,50	12,59	0,37	1,16	0,00	0,52
27/10/10	0,06	5,22	0,01	0,04	0,00	0,28	0,00	1,45	0,88	0,17	0,00	0,32	1,01	0,00	0,35
04/11/10	0,00	1,87	0,01	0,03	0,00	0,22	0,00	0,64	0,24	0,05	0,00	0,21	0,58	0,00	0,19
10/11/10	0,00	4,25	0,03	0,06	0,00	0,31	0,00	2,17	0,98	0,12	0,00	0,33	1,10	0,00	0,35
17/11/10	0,00	3,69	0,06	0,11	0,00	0,37	0,00	1,62	0,51	0,19	0,00	0,46	1,35	0,00	0,54
24/11/10	0,00	1,59	0,04	0,06	0,00	0,19	0,00	0,77	0,26	0,08	0,00	0,35	1,10	0,00	0,31

(*) Elementos obtidos por Fotometria de Emissão de Chama (FEC).

Tabela 15: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em IPA, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.

Data / Elementos	Al	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K ^(*)	Mg	Mn	Na ^(*)	Ni	Pb	Sn	Zn
31/05/10	192,49	97,24	0,00	ND	0,29	5,35	41,00	368,87	27,64	2,96	674,72	0,60	3,68	3009,82	294,05
07/06/10	417,71	152,69	0,00	ND	0,05	9,24	90,51	595,35	45,10	4,61	1057,01	1,48	5,97	3505,94	518,94
08/06/10	347,49	129,16	0,00	ND	0,48	10,40	98,86	546,91	47,35	4,78	1010,64	1,55	6,23	2981,90	510,61
14/06/10	0,00	332,47	0,82	ND	0,00	20,30	208,14	1013,62	68,26	7,47	820,13	2,40	1159,56	5809,71	778,57
16/06/10	267,61	109,17	0,00	ND	0,00	13,02	103,60	453,28	33,33	4,15	803,60	1,05	5,69	2971,30	384,84
21/06/10	276,66	225,26	0,00	ND	0,57	20,01	239,68	735,28	50,24	7,78	300,74	1,44	7,47	7280,55	496,69
22/06/10	371,66	226,79	0,91	ND	0,00	27,93	246,00	752,63	79,44	11,75	1267,19	3,07	16,06	4275,68	552,32
23/06/10	269,83	99,72	0,00	ND	0,16	14,18	86,01	478,55	31,74	3,95	840,03	1,38	7,12	2449,62	402,43
06/07/10	330,43	151,85	0,66	ND	0,00	17,15	131,67	497,13	55,35	6,80	956,11	1,92	8,57	2534,30	493,17
07/07/10	413,96	305,96	0,00	ND	0,00	19,35	194,32	1075,29	68,06	7,21	962,75	1,92	1130,56	5239,33	880,38
08/07/10	323,34	104,44	0,65	ND	0,00	15,39	118,95	519,61	38,84	3,54	911,69	1,61	9,25	2500,50	492,24
26/07/10	924,26	423,31	1,42	ND	0,00	44,54	383,81	1248,00	149,33	19,84	2141,15	3,30	19,23	4971,63	1095,31
27/07/10	183,73	41,63	0,00	ND	0,00	15,24	89,31	368,49	25,23	3,03	755,97	1,16	8,32	1514,56	317,41
28/07/10	291,51	95,51	0,78	ND	0,00	20,40	117,16	491,73	45,77	4,44	888,65	1,66	9,97	1922,70	439,64
10/08/10	395,83	493,10	0,00	0,00	0,00	21,01	104,79	854,68	58,33	7,45	1081,79	0,12	1,53	0,00	446,85
11/08/10	301,28	284,45	0,00	0,00	0,00	12,53	40,91	609,30	27,87	2,85	786,36	0,00	1,34	0,00	327,31
12/08/10	379,13	304,72	0,00	0,10	0,00	3,38	9,25	824,23	17,01	0,00	1057,91	0,00	0,63	0,00	451,19
31/08/10	367,04	440,03	0,00	0,00	0,00	17,17	67,86	800,94	41,63	5,92	914,04	0,00	2,14	0,00	405,89
14/09/10	270,61	334,60	0,00	0,07	0,00	8,69	59,12	612,33	34,47	4,91	662,87	0,08	3,89	0,00	280,45
22/09/10	253,54	291,35	0,00	0,03	0,00	7,33	43,06	535,74	30,58	3,72	593,29	0,05	2,60	0,00	258,15
29/09/10	269,71	328,32	0,00	0,17	0,00	14,03	61,82	604,19	26,36	5,36	444,91	0,39	4,40	0,00	254,69
06/10/10	308,29	323,81	0,00	0,00	0,00	7,40	54,09	596,53	25,50	4,11	592,18	0,43	3,11	0,00	265,46
21/10/10	286,64	297,66	0,00	0,00	0,00	9,24	42,34	562,79	25,68	3,70	626,02	0,24	3,98	0,00	278,86
27/10/10	404,84	431,73	0,00	0,07	0,00	9,28	61,81	797,72	32,09	6,00	932,37	0,29	4,71	0,00	419,70
04/11/10	149,14	248,24	0,00	0,05	0,00	7,71	43,63	420,63	12,24	4,59	304,25	0,49	4,51	0,00	164,41
10/11/10	91,37	131,78	0,00	0,04	0,00	7,22	15,23	289,33	4,81	0,00	192,35	0,39	2,49	0,00	68,59
17/11/10	191,10	231,26	0,00	0,05	0,00	7,96	29,08	462,35	13,96	3,33	446,98	0,50	4,31	0,00	244,83
24/11/10	109,11	167,64	0,00	0,07	0,00	6,24	22,16	329,53	8,28	0,00	260,85	0,48	3,15	0,00	147,18

(*) Elementos obtidos por Fotometria de Emissão de Chama (FEC).

Tabela 16: Concentração de elementos nas MP₁₀ (ng.m⁻³) em IPA, obtida por AAS e FEC, no período de amostragem desta pesquisa.

<i>Data / Elementos</i>	<i>Ca</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>K^(*)</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Na^(*)</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Sn</i>	<i>Zn</i>
31/05/10	7,11	0,12	0,11	0,16	0,25	5,31	1,58	1,41	0,42	0,00	0,20	2,18	0,00	0,84
07/06/10	9,62	0,20	0,11	0,49	0,48	12,89	4,66	2,28	0,89	0,00	0,35	3,05	43,23	1,64
08/06/10	5,38	0,18	0,09	0,09	0,43	9,98	3,04	1,39	0,57	0,00	0,41	2,73	32,38	1,21
09/06/10	11,54	0,26	0,10	0,45	0,37	12,05	4,12	2,60	0,90	0,00	0,46	3,47	45,73	1,39
26/07/10	1,12	0,06	0,04	0,00	0,15	0,00	0,19	0,00	0,09	0,00	0,10	0,62	0,00	0,12
27/07/10	2,64	0,13	0,07	0,19	1,14	0,00	0,97	0,59	0,24	0,00	0,30	1,53	32,07	0,39
28/07/10	7,81	0,64	0,36	0,93	2,05	15,21	0,46	1,82	0,70	0,00	0,84	7,25	155,99	1,29
31/08/10	12,47	0,09	0,09	0,00	0,08	7,16	3,69	2,37	0,50	11,07	0,60	1,99	0,00	0,67
14/09/10	13,26	0,08	0,14	0,00	0,05	8,66	3,47	2,86	0,57	10,42	0,61	2,07	0,00	0,83
22/09/10	10,88	0,08	0,11	0,00	0,06	6,30	2,75	2,44	0,45	10,33	0,60	1,96	0,00	0,82
29/09/10	16,23	0,16	0,09	0,06	0,36	12,23	7,19	2,52	0,97	0,00	0,27	0,92	0,00	1,25
06/10/10	15,85	0,13	0,06	0,00	0,14	12,93	4,93	2,71	0,69	14,79	0,15	1,47	0,00	1,00
21/10/10	12,37	0,13	0,05	0,00	0,15	8,06	3,89	2,19	0,53	0,00	0,17	1,25	0,00	0,53
27/10/10	15,13	0,17	0,07	0,00	0,20	8,03	3,71	1,87	0,66	0,00	0,25	1,31	0,00	0,79
04/11/10	10,56	0,13	0,06	0,05	0,07	7,48	2,98	1,34	0,59	0,00	0,22	0,92	0,00	0,25
10/11/10	4,42	0,13	0,05	0,00	0,20	0,00	2,20	0,92	0,21	0,00	0,15	1,00	0,00	0,13
17/11/10	9,58	0,19	0,10	0,00	0,24	6,64	3,92	1,66	0,62	0,00	0,25	1,81	0,00	0,56
24/11/10	8,00	0,16	0,06	0,00	0,08	5,82	3,12	1,20	0,32	0,00	0,19	1,35	0,00	0,47

(*) Elementos obtidos por Fotometria de Emissão de Chama (FEC).

Tabela 17: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em FAB, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.

Data / Elementos	As	Ba	Br	Ce	Ca	Co	Cr	Cs	Sr	Eu	Fe	Hf	K	La	Sb	Sc	Sm	Th	Yb	Zr
31/05/10	0,03	0,00	0,02	0,03	74,46	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	24,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,05
07/06/10	33,89	0,00	0,60	1,04	1549,78	0,00	8,53	0,00	75,96	0,12	524,28	0,26	0,00	0,00	0,35	0,05	0,00	0,00	0,10	0,00
08/06/10	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,16	0,00	52,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02
09/06/10	0,03	0,00	0,03	0,07	105,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,77	0,00	120,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	2,04
14/06/10	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,33	0,00	48,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07
21/06/10	0,02	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,97	0,00	73,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
22/06/10	0,03	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	36,82	0,00	106,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
23/06/10	0,92	0,00	0,81	1,23	0,00	0,06	6,60	0,06	8,59	0,00	593,02	0,00	2655,19	0,44	0,27	0,09	0,05	0,20	0,12	47,47
06/07/10	0,45	0,00	0,35	0,71	0,00	0,03	4,40	0,00	0,00	0,00	316,14	0,00	1718,21	0,14	0,13	0,03	0,01	0,12	0,05	34,26
07/07/10	0,02	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
08/07/10	0,99	0,00	0,72	1,59	0,00	0,09	9,39	0,00	0,00	0,00	831,85	0,00	4583,15	0,44	0,43	0,10	0,04	0,29	0,11	67,95
26/07/10	0,63	0,00	0,29	0,75	0,00	0,02	3,59	0,04	12,31	0,00	328,74	0,00	0,00	0,15	0,16	0,03	0,01	0,11	0,07	30,48
27/07/10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/07/10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10/08/10	0,70	0,00	1,00	1,04	1891,60	0,04	4,97	0,00	19,65	0,00	518,88	0,00	0,00	0,00	0,29	0,07	0,02	0,20	0,08	48,60
11/08/10	0,56	0,00	0,63	0,71	1110,94	0,04	1,33	0,00	0,00	0,00	346,97	0,00	0,00	0,17	0,13	0,05	0,00	0,13	0,06	47,73
12/08/10	0,57	0,00	0,58	1,24	0,00	0,00	6,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2584,01	0,14	0,00	0,06	0,03	0,24	0,00	42,88
31/08/10	0,38	0,00	0,70	2,44	0,00	0,13	6,97	0,00	0,00	983,21	0,00	0,34	1569,07	0,00	0,95	0,14	0,00	0,41	0,00	0,00
14/09/10	0,53	0,00	0,88	1,19	0,00	0,07	9,69	0,00	0,00	0,00	424,48	0,07	0,00	0,12	0,17	0,06	0,02	0,23	0,00	0,00
22/09/10	0,48	0,00	0,50	0,83	0,00	0,04	3,55	0,00	0,00	0,00	284,52	0,11	1999,61	0,11	0,16	0,05	0,02	0,16	0,00	0,00
29/09/10	0,78	0,00	0,52	0,91	0,00	0,06	7,85	0,00	0,00	0,00	558,69	0,00	2283,66	0,12	0,20	0,04	0,01	0,17	0,00	52,93
06/10/10	0,33	0,00	0,42	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	0,00	260,24	0,00	1532,15	0,00	0,05	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00
21/10/10	0,50	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,28	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00
27/10/10	0,38	0,00	0,19	0,48	0,00	0,01	1,36	0,00	0,00	0,00	240,91	0,00	1120,67	0,01	0,24	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00
04/11/10	0,26	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	65,23	0,01	0,00	0,04	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00
10/11/10	0,33	0,00	0,21	0,24	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00	94,60	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00
17/11/10	0,23	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	73,91	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
24/11/10	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	41,19	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00

Tabela 18: Concentração de elementos nas MP₁₀ (ng.m⁻³) em FAB, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.

Data / Elementos	As	Au	Br	Ce	Co	Cr	Cs	Fe	Hf	La	Na	Sb	Sc	Se	Sm	Ta	Th	U	Zn
23/06/11	0,03	0,00	0,22	0,18	0,01	0,85	0,01	98,31	0,01	0,07	16,22	0,08	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	2,04
06/07/11	0,01	0,00	0,14	52,23	0,00	0,36	0,00	149,61	0,36	0,06	21,64	0,02	0,11	0,00	2,92	0,28	1,06	0,00	0,00
07/07/11	0,06	0,00	0,20	0,28	0,02	1,57	0,00	148,01	0,01	0,09	39,34	0,10	0,02	0,00	4,59	0,00	0,05	0,01	3,30
08/07/11	0,07	0,00	0,28	0,31	0,02	2,05	0,01	190,93	0,01	0,12	47,64	0,16	0,02	0,06	0,02	0,00	0,06	0,01	3,40
26/07/11	0,14	0,00	0,37	0,44	0,02	3,01	0,04	274,57	0,00	0,17	62,06	0,21	0,03	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00	4,77
27/07/11	0,05	0,00	0,16	0,15	0,01	1,59	0,01	99,73	0,00	0,06	13,38	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	2,09
28/07/11	0,06	0,00	0,18	0,16	0,01	2,65	0,03	99,47	0,01	0,06	19,10	0,08	0,01	0,09	0,00	0,00	0,03	0,01	2,20
10/08/11	0,03	0,00	0,33	0,20	0,01	1,06	0,00	110,59	0,01	0,08	40,26	0,08	0,02	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00	1,59
11/08/11	0,03	0,00	0,18	0,10	0,01	0,30	0,00	47,42	0,01	0,04	32,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	1,03
12/08/11	0,02	0,00	0,13	0,11	0,00	0,71	0,00	56,22	0,00	0,04	17,47	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,78
31/08/10	0,00	0,00	0,32	0,22	0,00	0,68	0,00	108,74	0,03	0,09	50,43	0,20	0,02	0,00	0,01	0,02	0,07	0,01	1,56
14/09/10	0,00	0,00	0,15	0,13	0,00	1,48	0,00	55,00	0,02	0,04	31,39	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	2,15
22/09/10	0,00	0,00	0,10	0,07	0,00	0,46	0,00	28,12	0,02	0,02	18,77	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	ND	0,58
29/09/10	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	1,29	0,02	81,95	0,04	0,00	0,00	0,05	0,01	0,06	0,00	0,01	0,05	0,00	3,21
06/10/10	0,00	0,00	0,09	0,02	0,00	0,03	0,00	11,10	0,02	0,01	13,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	ND	0,22
21/10/10	0,00	0,00	0,10	0,06	0,00	0,13	0,00	26,03	0,02	0,02	23,97	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,48
27/10/10	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,16	0,00	13,42	0,01	0,01	7,71	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,45
04/11/10	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	3,91	0,01	0,01	4,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06
10/11/10	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,10	0,00	7,56	0,01	0,00	11,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20
17/11/10	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,05	0,00	9,32	0,01	0,00	4,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,49
24/11/10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	2,89	0,01	0,00	4,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,12

Tabela 19: Concentração de elementos nas PTS (ng.m^{-3}) em IPA, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.

Data / Elementos	As	Ba	Br	Ce	Ca	Co	Cr	Cs	Sr	Eu	Fe	Hf	K	La	Sb	Sc	Sm	Th	Yb	Zr
31/05/10	0,48	217,40	0,16	0,30	0,00	0,00	1,85	0,05	43,88	0,00	0,00	0,06	0,00	ND	0,11	0,01	0,01	0,04	0,05	0,00
07/06/10	0,76	303,75	0,41	0,00	0,00	0,00	13,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,19	0,01	0,00	0,00	0,08	0,00
08/06/10	0,81	373,16	0,48	0,52	0,00	0,00	12,48	0,09	0,00	0,02	449,18	0,18	0,00	ND	0,00	0,02	0,02	0,05	0,07	0,00
14/06/10	0,66	1,04	0,32	0,35	0,00	0,00	13,83	0,08	0,00	0,00	381,67	0,06	0,00	ND	0,11	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00
16/06/10	0,74	183,36	0,35	0,35	0,00	0,00	3,48	0,00	9,46	0,00	414,11	0,06	0,00	ND	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
21/06/10	1,02	216,53	0,49	0,49	1768,74	0,00	4,74	0,10	18,35	0,01	567,08	0,09	0,00	0,10	0,36	0,02	0,00	0,00	0,09	0,00
22/06/10	1,22	7,51	0,88	1,39	0,00	0,00	19,07	0,40	5,73	0,00	1095,22	0,20	0,00	0,26	0,00	0,05	0,00	0,13	0,11	0,00
23/06/10	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	176,77	0,00	0,00	ND	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
06/07/10	0,49	0,00	0,25	0,33	0,00	0,00	8,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ND	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00
07/07/10	0,29	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	9,80	0,00	0,00	0,00	290,39	0,00	0,00	ND	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08/07/10	0,40	0,00	0,21	0,27	0,00	0,00	4,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26/07/10	1,08	0,00	0,88	1,50	0,00	0,00	26,48	0,00	0,00	0,00	1194,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,01	0,29	244,03	0,00
27/07/10	0,36	0,00	0,18	0,19	0,00	0,00	0,42	0,04	0,00	0,00	141,53	0,00	0,00	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/07/10	0,34	0,00	0,20	0,24	0,00	0,00	5,81	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	ND	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10/08/10	0,29	0,00	0,35	0,45	0,00	0,00	0,77	0,07	16,62	0,00	0,00	0,00	772,16	0,01	0,00	0,03	0,00	0,09	0,00	44,28
11/08/10	0,45	0,00	0,44	0,23	0,00	0,01	0,31	0,00	21,70	0,00	193,58	0,10	1607,88	0,06	0,05	0,02	0,00	0,07	0,00	32,49
12/08/10	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,44	0,09	1677,32	0,00	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	44,18
31/08/10	0,59	0,00	0,52	0,39	0,00	0,02	0,50	0,06	23,14	0,00	389,02	0,09	1901,92	0,07	0,10	0,02	0,00	0,08	0,00	50,62
14/09/10	0,42	0,00	0,43	0,42	0,00	0,03	1,00	0,06	0,00	0,00	310,67	0,01	1519,51	0,06	0,08	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00
22/09/10	0,42	0,00	0,31	0,23	0,00	0,01	1,19	0,00	0,00	0,00	187,33	0,02	1415,63	ND	0,13	0,00	0,00	0,05	0,00	40,57
29/09/10	0,67	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00	358,04	0,04	1835,69	ND	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,00
06/10/10	0,55	0,00	0,44	0,37	1180,98	0,01	1,04	0,05	3,25	0,00	305,20	0,10	1814,14	0,04	0,13	0,01	0,00	0,09	0,00	0,00
21/10/10	0,47	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,09	0,06	0,00	0,00	238,50	0,00	2489,90	ND	0,06	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00
27/10/10	0,49	0,00	0,29	0,42	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	412,72	0,00	0,00	ND	0,12	0,03	0,00	0,12	0,00	0,00
04/11/10	0,35	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	261,30	0,00	0,00	ND	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
10/11/10	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00	0,00	83,29	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
17/11/10	0,36	0,00	0,00	0,00	785,42	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	174,52	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
24/11/10	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	135,04	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 20: Concentração de elementos nas MP₁₀ (ng.m⁻³) em IPA, obtida por AANI, no período de amostragem desta pesquisa.

<i>Data / Elementos</i>	<i>As</i>	<i>Au</i>	<i>Br</i>	<i>Ce</i>	<i>Co</i>	<i>Cr</i>	<i>Cs</i>	<i>Fe</i>	<i>Hf</i>	<i>La</i>	<i>Na</i>	<i>Sb</i>	<i>Sc</i>	<i>Se</i>	<i>Sm</i>	<i>Ta</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>Zn</i>
31/05/11	0,02	0,00	0,05	0,03	0,00	0,28	0,01	26,17	0,00	0,02	9,90	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,49
07/06/11	0,05	0,00	0,12	0,04	0,02	2,51	0,02	65,18	0,00	0,03	12,08	0,04	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66
09/06/11	0,04	0,00	0,14	0,03	0,01	2,25	0,01	61,30	0,00	0,02	6,50	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38
08/06/11	0,03	0,00	0,12	0,03	0,01	2,21	0,01	56,52	0,00	0,03	7,06	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	2,74
26/07/11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,14	ND	3,94	0,00	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
27/07/11	0,01	0,00	0,06	0,01	0,00	0,12	0,01	14,13	0,00	0,01	4,50	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
28/07/11	0,02	0,00	0,06	0,02	0,00	0,02	0,02	44,30	0,01	0,01	11,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
31/08/10	0,03	0,00	0,14	0,02	0,01	0,22	0,02	43,26	0,00	0,01	18,13	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28
14/09/10	0,04	0,00	0,14	0,02	0,01	0,21	0,01	41,95	0,00	0,02	17,25	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20
22/09/10	0,02	0,00	0,11	0,01	0,00	0,27	0,01	24,22	0,03	0,01	15,66	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	1,11
29/09/10	0,07	0,00	0,12	0,02	0,01	0,77	0,03	53,14	0,04	0,01	5,93	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	3,96
06/10/10	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
21/10/10	0,03	0,00	0,13	0,01	0,00	0,06	0,02	35,04	0,02	0,01	17,14	0,02	0,00	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	1,99
27/10/10	0,03	0,00	0,08	0,02	0,00	0,12	0,02	47,84	0,02	0,02	10,71	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	2,92
04/11/10	0,03	0,00	0,07	0,01	0,00	0,06	0,02	44,25	0,01	0,02	3,65	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	1,00
10/11/10	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,45	0,00	16,08	0,02	0,01	8,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,54
17/11/10	0,00	0,04	0,11	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,04	0,07	0,00	0,72	0,06	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03
24/11/10	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	0,06	0,01	26,32	0,02	0,01	9,41	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	1,63

APÊNDICE 03 – Classificação da qualidade do ar pelos métodos HI-VOL (FAB e IPA) e RAMQAM (IPA).

Tabela 21: Concentração de MP_{10} , PTS e SO_2 em $\mu g.m^{-3}$ obtidos por Hi-Vol e sua classificação para qualidade do ar segundo CONAMA no município de Coronel Fabriciano, no período de amostragem.

<i>Data</i>	<i>MP₁₀</i>	<i>Qualidade</i>	<i>PTS</i>	<i>Qualidade</i>	<i>SO₂</i>	<i>Qualidade</i>
05/mai	-	-	97	Regular	-	-
11/mai	-	-	7	Boa	-	-
12/mai	-	-	51	Regular	-	-
13/mai	-	-	67	Regular	-	-
14/mai	-	-	80	Regular	-	-
15/mai	-	-	68	Regular	-	-
31/mai	-	-	13	Boa	-	-
07/jun	-	-	90	Regular	17	Boa
08/jun	-	-	81	Regular	18	Boa
09/jun	-	-	165	Inadequada	15	Boa
14/jun	-	-	84	Regular	14	Boa
21/jun	-	-	115	Inadequada	17	Boa
22/jun	-	-	135	Inadequada	22	Boa
23/jun	43	Boa	84	Regular	24	Boa
06/jul	41	Boa	72	Regular	22	Boa
07/jul	70	Regular	118	Inadequada	15	Boa
08/jul	76	Regular	112	Inadequada	17	Boa
26/jul	167	Inadequada	66	Regular	15	Boa
27/jul	49	Boa	12	Boa	29	Boa
28/jul	44	Boa	80	Regular	14	Boa
10/ago	54	Regular	97	Regular	26	Boa
11/ago	37	Boa	82	Regular	23	Boa
12/ago	37	Boa	82	Regular	21	Boa
31/ago	53	Regular	117	Inadequada	22	Boa
14/set	38	Boa	81	Regular	26	Boa
22/set	30	Boa	64	Regular	13	Boa
29/set	46	Boa	79	Regular	29	Boa
06/out	22	Boa	48	Boa	-	-
21/out	32	Boa	66	Regular	26	Boa
27/out	18	Boa	52	Regular	28	Boa
04/nov	12	Boa	34	Boa	29	Boa
10/nov	20	Boa	42	Boa	31	Boa
17/nov	20	Boa	33	Boa	-	-
24/nov	14	Boa	25	Boa	29	Boa

Tabela 22: Concentração de MP_{10} , PTS e SO_2 em $\mu g.m^{-3}$ obtidos por Hi-Vol e sua classificação para a qualidade do ar segundo CONAMA no município de Ipatinga, no período de amostragem.

<i>Data</i>	<i>MP₁₀</i>	<i>Qualidade</i>	<i>PTS</i>	<i>Qualidade</i>	<i>SO₂</i>	<i>Qualidade</i>
05/mai	-	-	-	-	-	-
11/mai	-	-	-	-	-	-
12/mai	-	-	-	-	-	-
13/mai	-	-	-	-	-	-
14/mai	-	-	-	-	-	-
15/mai	-	-	-	-	-	-
31/mai	23	Boa	44	Boa	-	-
07/jun	33	Boa	63	Regular	23	Boa
08/jun	25	Boa	66	Regular	20	Boa
09/jun	30	Boa	110	Inadequada	20	Boa
14/jun	-	-	62	Regular	19	Boa
21/jun	-	-	77	Regular	15	Boa
22/jun	-	-	98	Regular	18	Boa
23/jun	-	-	53	Regular	14	Boa
06/jul	-	-	57	Regular	10	Boa
07/jul	-	-	69	Regular	17	Boa
08/jul	-	-	55	Regular	15	Boa
26/jul	7	Boa	141	Inadequada	23	Boa
27/jul	15	Boa	45	Boa	17	Boa
28/jul	22	Boa	56	Regular	14	Boa
10/ago	-	-	73	Regular	34	Boa
11/ago	-	-	50	Boa	37	Boa
12/ago	-	-	69	Regular	39	Boa
31/ago	26	Boa	74	Regular	33	Boa
14/set	25	Boa	59	Regular	48	Boa
22/set	25	Boa	52	Regular	35	Boa
29/set	38	Boa	66	Regular	34	Boa
06/out	33	Boa	62	Regular	38	Boa
21/out	28	Boa	54	Regular	15	Boa
27/out	30	Boa	72	Regular	30	Boa
04/nov	22	Boa	47	Boa	32	Boa
10/nov	20	Boa	33	Boa	32	Boa
17/nov	28	Boa	45	Regular	13	Boa
24/nov	22	Boa	36	Boa	16	Boa

Tabela 23: Concentração de MP₁₀, PTS e SO₂ em µg.m⁻³ de hora em hora obtidos por RAMQAM e sua classificação para qualidade do ar segundo CONAMA no município de Ipatinga, no período e horário de amostragem a esta pesquisa.

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	<i>PTS</i>	<i>Qualidade</i>	<i>MP₁₀</i>	<i>Qualidade</i>	<i>SO₂</i>	<i>Qualidade</i>
5-mai	13:30	34	Boa	21	Boa	-	-
5-mai	14:30	30	Boa	19	Boa	-	-
5-mai	15:30	30	Boa	15	Boa	-	-
5-mai	16:30	28	Boa	9	Boa	-	-
5-mai	17:30	20	Boa	16	Boa	-	-
5-mai	18:30	29	Boa	13	Boa	-	-
5-mai	19:30	26	Boa	22	Boa	-	-
5-mai	20:30	26	Boa	19	Boa	-	-
5-mai	21:30	37	Boa	23	Boa	-	-
5-mai	22:30	36	Boa	25	Boa	-	-
5-mai	23:30	34	Boa	29	Boa	-	-
6-mai	0:30	39	Boa	25	Boa	-	-
6-mai	1:30	37	Boa	17	Boa	-	-
6-mai	2:30	32	Boa	20	Boa	-	-
6-mai	3:30	43	Boa	32	Boa	-	-
6-mai	4:30	31	Boa	28	Boa	-	-
6-mai	5:30	34	Boa	20	Boa	-	-
6-mai	6:30	34	Boa	20	Boa	-	-
6-mai	7:30	49	Boa	34	Boa	-	-
6-mai	8:30	34	Boa	23	Boa	-	-
6-mai	9:30	30	Boa	20	Boa	-	-
6-mai	10:30	65	Regular	43	Boa	-	-
6-mai	11:30	96	Regular	50	Regular	-	-
6-mai	12:30	90	Regular	56	Regular	-	-
11-mai	13:30	10	Boa	7	Boa	6	Boa
11-mai	14:30	12	Boa	9	Boa	6	Boa
11-mai	15:30	19	Boa	9	Boa	6	Boa
11-mai	16:30	18	Boa	10	Boa	6	Boa
11-mai	17:30	18	Boa	8	Boa	7	Boa
11-mai	18:30	17	Boa	11	Boa	7	Boa
11-mai	19:30	28	Boa	18	Boa	8	Boa
11-mai	20:30	38	Boa	26	Boa	7	Boa
11-mai	21:30	34	Boa	21	Boa	7	Boa
11-mai	22:30	32	Boa	20	Boa	7	Boa
11-mai	23:30	39	Boa	25	Boa	10	Boa
12-mai	0:30	34	Boa	23	Boa	8	Boa
12-mai	1:30	25	Boa	14	Boa	8	Boa
12-mai	2:30	20	Boa	14	Boa	8	Boa
12-mai	3:30	16	Boa	13	Boa	7	Boa
12-mai	4:30	15	Boa	11	Boa	6	Boa
12-mai	5:30	16	Boa	9	Boa	5	Boa
12-mai	6:30	22	Boa	16	Boa	8	Boa
12-mai	7:30	18	Boa	13	Boa	8	Boa
12-mai	8:30	16	Boa	16	Boa	8	Boa
12-mai	9:30	38	Boa	35	Boa	15	Boa
12-mai	10:30	46	Boa	31	Boa	28	Boa
12-mai	11:30	27	Boa	16	Boa	15	Boa

12-mai	12:30	19	Boa	9	Boa	10	Boa
12-mai	13:30	15	Boa	8	Boa	8	Boa
12-mai	14:30	16	Boa	9	Boa	8	Boa
12-mai	15:30	9	Boa	8	Boa	8	Boa
12-mai	16:30	10	Boa	7	Boa	7	Boa
12-mai	17:30	28	Boa	22	Boa	9	Boa
12-mai	18:30	52	Regular	38	Boa	25	Boa
12-mai	19:30	47	Boa	34	Boa	16	Boa
12-mai	20:30	47	Boa	31	Boa	20	Boa
12-mai	21:30	50	Regular	34	Boa	51	Boa
12-mai	22:30	39	Boa	34	Boa	30	Boa
12-mai	23:30	47	Boa	36	Boa	12	Boa
13-mai	0:30	33	Boa	33	Boa	9	Boa
13-mai	1:30	33	Boa	33	Boa	8	Boa
13-mai	2:30	30	Boa	30	Boa	8	Boa
13-mai	3:30	28	Boa	28	Boa	8	Boa
13-mai	4:30	22	Boa	22	Boa	8	Boa
13-mai	5:30	19	Boa	19	Boa	8	Boa
13-mai	6:30	18	Boa	18	Boa	8	Boa
13-mai	7:30	29	Boa	29	Boa	8	Boa
13-mai	8:30	29	Boa	29	Boa	8	Boa
13-mai	9:30	25	Boa	25	Boa	8	Boa
13-mai	10:30	19	Boa	19	Boa	8	Boa
13-mai	11:30	18	Boa	18	Boa	7	Boa
13-mai	12:30	18	Boa	18	Boa	7	Boa
13-mai	13:30	22	Boa	22	Boa	7	Boa
13-mai	14:30	35	Boa	35	Boa	8	Boa
13-mai	15:30	28	Boa	28	Boa	7	Boa
13-mai	16:30	21	Boa	21	Boa	7	Boa
13-mai	17:30	18	Boa	18	Boa	6	Boa
13-mai	18:30	21	Boa	21	Boa	6	Boa
13-mai	19:30	28	Boa	28	Boa	6	Boa
13-mai	20:30	37	Boa	37	Boa	6	Boa
13-mai	21:30	40	Boa	40	Boa	7	Boa
13-mai	22:30	42	Boa	42	Boa	7	Boa
13-mai	23:30	41	Boa	41	Boa	8	Boa
14-mai	0:30	52	Regular	39	Boa	8	Boa
14-mai	1:30	46	Boa	34	Boa	8	Boa
14-mai	2:30	46	Boa	37	Boa	8	Boa
14-mai	3:30	48	Boa	34	Boa	7	Boa
14-mai	4:30	44	Boa	25	Boa	7	Boa
14-mai	5:30	37	Boa	36	Boa	8	Boa
14-mai	6:30	44	Boa	33	Boa	8	Boa
14-mai	7:30	59	Regular	40	Boa	8	Boa
14-mai	8:30	48	Boa	40	Boa	8	Boa
14-mai	9:30	43	Boa	32	Boa	8	Boa
14-mai	10:30	48	Boa	38	Boa	8	Boa
14-mai	11:30	41	Boa	29	Boa	8	Boa
14-mai	12:30	28	Boa	75	Boa	8	Boa
14-mai	13:30	0	Boa	11	Boa	7	Boa
14-mai	14:30	0	Boa	12	Boa	7	Boa
14-mai	15:30	0	Boa	12	Boa	7	Boa
14-mai	16:30	0	Boa	12	Boa	7	Boa

14-mai	17:30	0	Boa	18	Boa	6	Boa
14-mai	18:30	0	Boa	20	Boa	8	Boa
14-mai	19:30	0	Boa	30	Boa	7	Boa
14-mai	20:30	1	Boa	41	Boa	8	Boa
14-mai	21:30	1	Boa	30	Boa	7	Boa
14-mai	22:30	1	Boa	37	Boa	8	Boa
14-mai	23:30	1	Boa	36	Boa	8	Boa
15-mai	0:30	49	Boa	36	Boa	8	Boa
15-mai	1:30	49	Boa	31	Boa	8	Boa
15-mai	2:30	45	Boa	37	Boa	8	Boa
15-mai	3:30	43	Boa	31	Boa	7	Boa
15-mai	4:30	36	Boa	32	Boa	7	Boa
15-mai	5:30	40	Boa	29	Boa	8	Boa
15-mai	6:30	49	Boa	35	Boa	8	Boa
15-mai	7:30	52	Regular	36	Boa	8	Boa
15-mai	8:30	39	Boa	30	Boa	8	Boa
15-mai	9:30	21	Boa	16	Boa	7	Boa
15-mai	10:30	20	Boa	14	Boa	11	Boa
15-mai	11:30	41	Boa	30	Boa	16	Boa
15-mai	12:30	43	Boa	27	Boa	8	Boa
15-mai	13:30	37	Boa	31	Boa	8	Boa
15-mai	14:30	38	Boa	22	Boa	9	Boa
15-mai	15:30	33	Boa	21	Boa	8	Boa
15-mai	16:30	39	Boa	26	Boa	9	Boa
15-mai	17:30	33	Boa	25	Boa	10	Boa
15-mai	18:30	35	Boa	28	Boa	8	Boa
15-mai	19:30	34	Boa	27	Boa	7	Boa
15-mai	20:30	34	Boa	22	Boa	7	Boa
15-mai	21:30	29	Boa	20	Boa	7	Boa
15-mai	22:30	40	Boa	28	Boa	8	Boa
15-mai	23:30	44	Boa	31	Boa	8	Boa
16-mai	0:30	45	Boa	38	Boa	8	Boa
16-mai	1:30	45	Boa	36	Boa	8	Boa
16-mai	2:30	46	Boa	34	Boa	8	Boa
16-mai	3:30	46	Boa	34	Boa	8	Boa
16-mai	4:30	43	Boa	33	Boa	8	Boa
16-mai	5:30	38	Boa	32	Boa	8	Boa
16-mai	6:30	37	Boa	31	Boa	7	Boa
16-mai	7:30	32	Boa	27	Boa	7	Boa
16-mai	8:30	46	Boa	26	Boa	9	Boa
16-mai	9:30	46	Boa	40	Boa	13	Boa
16-mai	10:30	49	Boa	30	Boa	12	Boa
16-mai	11:30	35	Boa	21	Boa	8	Boa
16-mai	12:30	30	Boa	16	Boa	8	Boa
31-mai	13:30	66	Regular	43	Boa	41	Boa
31-mai	14:30	55	Regular	37	Boa	27	Boa
31-mai	15:30	49	Boa	33	Boa	17	Boa
31-mai	16:30	26	Boa	21	Boa	9	Boa
31-mai	17:30	34	Boa	22	Boa	6	Boa
31-mai	18:30	78	Regular	48	Boa	5	Boa
31-mai	19:30	65	Regular	48	Boa	5	Boa
31-mai	20:30	59	Regular	40	Boa	5	Boa
31-mai	21:30	41	Boa	33	Boa	5	Boa

31-mai	22:30	39	Boa	34	Boa	5	Boa
31-mai	23:30	31	Boa	27	Boa	5	Boa
1-jun	0:30	36	Boa	26	Boa	5	Boa
1-jun	1:30	31	Boa	23	Boa	4	Boa
1-jun	2:30	19	Boa	15	Boa	4	Boa
1-jun	3:30	19	Boa	8	Boa	4	Boa
1-jun	4:30	18	Boa	17	Boa	4	Boa
1-jun	5:30	26	Boa	21	Boa	4	Boa
1-jun	6:30	29	Boa	14	Boa	4	Boa
1-jun	7:30	23	Boa	12	Boa	3	Boa
1-jun	8:30	16	Boa	16	Boa	3	Boa
1-jun	9:30	29	Boa	21	Boa	3	Boa
1-jun	10:30	35	Boa	21	Boa	4	Boa
1-jun	11:30	19	Boa	7	Boa	3	Boa
1-jun	12:30	26	Boa	17	Boa	3	Boa
7-jun	13:30	6	Boa	8	Boa	-	-
7-jun	14:30	-	-	-	-	-	-
7-jun	15:30	-	-	-	-	-	-
7-jun	16:30	7	Boa	6	Boa	-	-
7-jun	17:30	7	Boa	6	Boa	-	-
7-jun	18:30	8	Boa	1	Boa	-	-
7-jun	19:30	9	Boa	0	Boa	-	-
7-jun	20:30	8	Boa	1	Boa	-	-
7-jun	21:30	6	Boa	3	Boa	-	-
7-jun	22:30	6	Boa	0	Boa	-	-
7-jun	23:30	6	Boa	-	-	-	-
8-jun	0:30	7	Boa	3	Boa	-	-
8-jun	1:30	8	Boa	3	Boa	-	-
8-jun	2:30	6	Boa	2	Boa	-	-
8-jun	3:30	7	Boa	3	Boa	-	-
8-jun	4:30	7	Boa	4	Boa	-	-
8-jun	5:30	5	Boa	1	Boa	-	-
8-jun	6:30	6	Boa	3	Boa	-	-
8-jun	9:30	30	Boa	16	Boa	-	-
8-jun	10:30	30	Boa	16	Boa	-	-
8-jun	11:30	95	Regular	69	Boa	36	Boa
8-jun	12:30	63	Regular	41	Boa	18	Boa
8-jun	13:30	45	Boa	31	Boa	17	Boa
8-jun	14:30	62	Regular	39	Boa	19	Boa
8-jun	15:30	47	Boa	38	Boa	11	Boa
8-jun	16:30	40	Boa	27	Boa	8	Boa
8-jun	17:30	28	Boa	24	Boa	5	Boa
8-jun	18:30	35	Boa	24	Boa	5	Boa
8-jun	19:30	43	Boa	24	Boa	5	Boa
8-jun	20:30	57	Regular	40	Boa	5	Boa
8-jun	21:30	43	Boa	33	Boa	5	Boa
8-jun	22:30	47	Boa	35	Boa	5	Boa
8-jun	23:30	51	Regular	38	Boa	5	Boa
9-jun	0:30	52	Regular	38	Boa	5	Boa
9-jun	1:30	45	Boa	32	Boa	5	Boa
9-jun	2:30	43	Boa	32	Boa	5	Boa
9-jun	3:30	44	Boa	28	Boa	5	Boa
9-jun	4:30	42	Boa	31	Boa	5	Boa

9-jun	5:30	33	Boa	26	Boa	5	Boa
9-jun	6:30	24	Boa	20	Boa	5	Boa
9-jun	7:30	33	Boa	24	Boa	5	Boa
9-jun	8:30	72	Regular	55	Boa	5	Boa
9-jun	9:30	40	Boa	36	Boa	10	Boa
9-jun	10:30	103	Inadequada	66	Boa	38	Boa
9-jun	11:30	61	Regular	39	Boa	29	Boa
9-jun	12:30	71	Regular	37	Boa	32	Boa
9-jun	13:30	71	Regular	49	Boa	33	Boa
9-jun	14:30	52	Regular	31	Boa	20	Boa
9-jun	15:30	33	Boa	17	Boa	10	Boa
9-jun	16:30	27	Boa	20	Boa	7	Boa
9-jun	17:30	33	Boa	16	Boa	5	Boa
9-jun	18:30	37	Boa	29	Boa	5	Boa
9-jun	19:30	42	Boa	20	Boa	5	Boa
9-jun	20:30	55	Regular	40	Boa	5	Boa
9-jun	21:30	50	Regular	41	Boa	5	Boa
9-jun	22:30	48	Boa	32	Boa	5	Boa
9-jun	23:30	44	Boa	31	Boa	5	Boa
10-jun	0:30	45	Boa	34	Boa	5	Boa
10-jun	1:30	36	Boa	27	Boa	5	Boa
10-jun	2:30	37	Boa	26	Boa	5	Boa
10-jun	3:30	27	Boa	21	Boa	5	Boa
10-jun	4:30	29	Boa	20	Boa	5	Boa
10-jun	5:30	28	Boa	22	Boa	5	Boa
10-jun	6:30	39	Boa	25	Boa	5	Boa
10-jun	7:30	42	Boa	32	Boa	5	Boa
10-jun	8:30	42	Boa	27	Boa	5	Boa
10-jun	9:30	126	Inadequada	81	Regular	26	Boa
10-jun	10:30	88	Regular	59	Regular	26	Boa
10-jun	11:30	60	Regular	43	Boa	16	Boa
10-jun	12:30	55	Regular	37	Boa	16	Boa
14-jun	13:30	20	Boa	14	Boa	11	Boa
14-jun	14:30	40	Boa	26	Boa	29	Boa
14-jun	15:30	28	Boa	20	Boa	16	Boa
14-jun	16:30	34	Boa	21	Boa	18	Boa
14-jun	17:30	41	Boa	24	Boa	11	Boa
14-jun	18:30	37	Boa	22	Boa	8	Boa
14-jun	19:30	26	Boa	14	Boa	8	Boa
14-jun	20:30	31	Boa	28	Boa	8	Boa
14-jun	21:30	54	Regular	38	Boa	8	Boa
14-jun	22:30	44	Boa	35	Boa	8	Boa
14-jun	23:30	42	Boa	30	Boa	8	Boa
15-jun	0:30	39	Boa	28	Boa	8	Boa
15-jun	1:30	33	Boa	27	Boa	8	Boa
15-jun	2:30	30	Boa	21	Boa	8	Boa
15-jun	3:30	30	Boa	21	Boa	8	Boa
15-jun	4:30	26	Boa	21	Boa	8	Boa
15-jun	5:30	23	Boa	11	Boa	8	Boa
15-jun	6:30	18	Boa	12	Boa	8	Boa
15-jun	7:30	25	Boa	20	Boa	8	Boa
15-jun	8:30	42	Boa	35	Boa	8	Boa
15-jun	9:30	80	Regular	67	Boa	-	-

15-jun	10:30	-	-	46	Boa	-	-
15-jun	11:30	-	-	41	Boa	-	-
15-jun	12:30	-	-	34	Boa	-	-
21-jun	13:30	81	Regular	61	Regular	37	Boa
21-jun	14:30	61	Regular	46	Boa	10	Boa
21-jun	15:30	56	Regular	35	Boa	8	Boa
21-jun	16:30	55	Regular	37	Boa	6	Boa
21-jun	17:30	45	Boa	32	Boa	5	Boa
21-jun	18:30	67	Regular	39	Boa	5	Boa
21-jun	19:30	62	Regular	32	Boa	5	Boa
21-jun	20:30	52	Regular	36	Boa	5	Boa
21-jun	21:30	57	Regular	39	Boa	5	Boa
21-jun	22:30	48	Boa	33	Boa	5	Boa
21-jun	23:30	43	Boa	35	Boa	5	Boa
22-jun	0:30	40	Boa	31	Boa	5	Boa
22-jun	1:30	38	Boa	29	Boa	5	Boa
22-jun	2:30	37	Boa	23	Boa	5	Boa
22-jun	3:30	41	Boa	27	Boa	5	Boa
22-jun	4:30	37	Boa	30	Boa	5	Boa
22-jun	5:30	33	Boa	25	Boa	5	Boa
22-jun	6:30	48	Boa	29	Boa	5	Boa
22-jun	7:30	194	Inadequada	124	Inadequada	5	Boa
22-jun	8:30	88	Regular	65	Regular	6	Boa
22-jun	9:30	41	Boa	32	Boa	5	Boa
22-jun	10:30	39	Boa	29	Boa	5	Boa
22-jun	11:30	38	Boa	27	Boa	8	Boa
22-jun	12:30	81	Regular	64	Regular	39	Boa
22-jun	13:30	151	Inadequada	106	Inadequada	85	Boa
22-jun	14:30	147	Inadequada	100	Regular	78	Boa
22-jun	15:30	108	Inadequada	72	Regular	48	Boa
22-jun	16:30	72	Regular	54	Regular	17	Boa
22-jun	17:30	70	Regular	51	Regular	8	Boa
22-jun	18:30	108	Inadequada	75	Regular	6	Boa
22-jun	19:30	81	Regular	54	Regular	5	Boa
22-jun	20:30	53	Regular	45	Boa	5	Boa
22-jun	21:30	56	Regular	39	Boa	5	Boa
22-jun	22:30	51	Regular	32	Boa	5	Boa
22-jun	23:30	59	Regular	46	Boa	5	Boa
23-jun	0:30	59	Regular	43	Boa	5	Boa
23-jun	1:30	56	Regular	45	Boa	5	Boa
23-jun	2:30	42	Boa	29	Boa	5	Boa
23-jun	3:30	38	Boa	29	Boa	5	Boa
23-jun	4:30	79	Regular	43	Boa	5	Boa
23-jun	5:30	93	Regular	68	Regular	5	Boa
23-jun	6:30	77	Regular	51	Regular	5	Boa
23-jun	7:30	69	Regular	56	Regular	5	Boa
23-jun	8:30	74	Regular	53	Regular	5	Boa
23-jun	9:30	73	Regular	55	Regular	5	Boa
23-jun	10:30	72	Regular	51	Regular	5	Boa
23-jun	11:30	83	Regular	68	Regular	5	Boa
23-jun	12:30	90	Regular	62	Regular	6	Boa
23-jun	13:30	69	Regular	51	Regular	7	Boa
23-jun	14:30	76	Regular	53	Regular	10	Boa

23-jun	15:30	74	Regular	50	Regular	12	Boa
23-jun	16:30	55	Regular	33	Boa	6	Boa
23-jun	17:30	41	Boa	27	Boa	5	Boa
23-jun	18:30	44	Boa	28	Boa	5	Boa
23-jun	19:30	42	Boa	25	Boa	5	Boa
23-jun	20:30	41	Boa	36	Boa	5	Boa
23-jun	21:30	55	Regular	43	Boa	5	Boa
23-jun	22:30	60	Regular	47	Boa	5	Boa
23-jun	23:30	53	Regular	45	Boa	5	Boa
24-jun	0:30	49	Boa	38	Boa	6	Boa
24-jun	1:30	47	Boa	31	Boa	9	Boa
24-jun	2:30	37	Boa	33	Boa	14	Boa
24-jun	3:30	31	Boa	16	Boa	24	Boa
24-jun	4:30	27	Boa	20	Boa	24	Boa
24-jun	5:30	24	Boa	13	Boa	16	Boa
24-jun	6:30	20	Boa	17	Boa	14	Boa
24-jun	7:30	29	Boa	20	Boa	10	Boa
24-jun	8:30	24	Boa	19	Boa	7	Boa
24-jun	9:30	47	Boa	31	Boa	17	Boa
24-jun	10:30	42	Boa	24	Boa	16	Boa
24-jun	11:30	49	Boa	31	Boa	20	Boa
24-jun	12:30	34	Boa	16	Boa	11	Boa
6-jul	13:30	34	Boa	16	Boa	6	Boa
6-jul	14:30	33	Boa	16	Boa	5	Boa
6-jul	15:30	28	Boa	18	Boa	7	Boa
6-jul	16:30	31	Boa	18	Boa	8	Boa
6-jul	17:30	34	Boa	18	Boa	5	Boa
6-jul	18:30	94	Regular	48	Boa	5	Boa
6-jul	19:30	44	Boa	28	Boa	5	Boa
6-jul	20:30	49	Boa	32	Boa	5	Boa
6-jul	21:30	36	Boa	27	Boa	5	Boa
6-jul	22:30	51	Regular	34	Boa	5	Boa
6-jul	23:30	42	Boa	30	Boa	5	Boa
7-jul	0:30	41	Boa	27	Boa	5	Boa
7-jul	1:30	33	Boa	30	Boa	5	Boa
7-jul	2:30	32	Boa	19	Boa	5	Boa
7-jul	3:30	32	Boa	22	Boa	5	Boa
7-jul	4:30	26	Boa	20	Boa	5	Boa
7-jul	5:30	26	Boa	15	Boa	5	Boa
7-jul	6:30	28	Boa	20	Boa	5	Boa
7-jul	7:30	43	Boa	29	Boa	5	Boa
7-jul	8:30	59	Regular	38	Boa	6	Boa
7-jul	9:30	91	Regular	65	Regular	27	Boa
7-jul	10:30	87	Regular	58	Regular	27	Boa
7-jul	11:30	60	Regular	35	Boa	20	Boa
7-jul	12:30	52	Regular	29	Boa	22	Boa
7-jul	13:30	49	Boa	24	Boa	25	Boa
7-jul	14:30	39	Boa	19	Boa	15	Boa
7-jul	15:30	35	Boa	25	Boa	13	Boa
7-jul	16:30	48	Boa	38	Boa	30	Boa
7-jul	17:30	44	Boa	30	Boa	12	Boa
7-jul	18:30	53	Regular	31	Boa	6	Boa
7-jul	19:30	43	Boa	21	Boa	5	Boa

7-jul	20:30	45	Boa	30	Boa	5	Boa
7-jul	21:30	56	Regular	39	Boa	5	Boa
7-jul	22:30	43	Boa	29	Boa	5	Boa
7-jul	23:30	31	Boa	34	Boa	5	Boa
8-jul	0:30	37	Boa	21	Boa	5	Boa
8-jul	1:30	30	Boa	21	Boa	5	Boa
8-jul	2:30	31	Boa	21	Boa	5	Boa
8-jul	3:30	29	Boa	26	Boa	5	Boa
8-jul	4:30	36	Boa	22	Boa	5	Boa
8-jul	5:30	28	Boa	18	Boa	5	Boa
8-jul	6:30	43	Boa	21	Boa	5	Boa
8-jul	7:30	40	Boa	28	Boa	5	Boa
8-jul	8:30	51	Regular	37	Boa	5	Boa
8-jul	9:30	69	Regular	46	Boa	17	Boa
8-jul	10:30	158	Inadequada	101	Inadequada	62	Regular
8-jul	11:30	85	Regular	52	Regular	40	Boa
8-jul	12:30	177	Inadequada	61	Regular	14	Boa
8-jul	13:30	101	Inadequada	42	Boa	14	Boa
8-jul	14:30	82	Regular	42	Boa	10	Boa
8-jul	15:30	39	Boa	26	Boa	8	Boa
8-jul	16:30	49	Boa	29	Boa	16	Boa
8-jul	17:30	33	Boa	25	Boa	7	Boa
8-jul	18:30	45	Boa	21	Boa	5	Boa
8-jul	19:30	32	Boa	16	Boa	5	Boa
8-jul	20:30	28	Boa	42	Boa	5	Boa
8-jul	21:30	39	Boa	26	Boa	5	Boa
8-jul	22:30	43	Boa	23	Boa	5	Boa
8-jul	23:30	49	Boa	30	Boa	5	Boa
9-jul	0:30	57	Regular	41	Boa	5	Boa
9-jul	1:30	46	Boa	35	Boa	5	Boa
9-jul	2:30	41	Boa	24	Boa	5	Boa
9-jul	3:30	37	Boa	22	Boa	5	Boa
9-jul	4:30	30	Boa	21	Boa	5	Boa
9-jul	5:30	33	Boa	20	Boa	5	Boa
9-jul	6:30	27	Boa	19	Boa	5	Boa
9-jul	7:30	39	Boa	26	Boa	5	Boa
9-jul	8:30	52	Regular	34	Boa	6	Boa
9-jul	9:30	42	Boa	30	Boa	6	Boa
9-jul	10:30	48	Boa	26	Boa	6	Boa
9-jul	11:30	32	Boa	16	Boa	7	Boa
9-jul	12:30	29	Boa	16	Boa	7	Boa
26-jul	13:30	40	Boa	21	Boa	20	Boa
26-jul	14:30	46	Boa	28	Boa	27	Boa
26-jul	15:30	31	Boa	17	Boa	15	Boa
26-jul	16:30	25	Boa	13	Boa	7	Boa
26-jul	17:30	27	Boa	22	Boa	6	Boa
26-jul	18:30	48	Boa	17	Boa	5	Boa
26-jul	19:30	34	Boa	19	Boa	5	Boa
26-jul	20:30	47	Boa	33	Boa	5	Boa
26-jul	21:30	47	Boa	34	Boa	5	Boa
26-jul	22:30	76	Regular	49	Boa	6	Boa
26-jul	23:30	77	Regular	54	Regular	6	Boa
27-jul	0:30	50	Regular	31	Boa	5	Boa

27-jul	1:30	34	Boa	25	Boa	5	Boa
27-jul	2:30	30	Boa	20	Boa	5	Boa
27-jul	3:30	36	Boa	22	Boa	5	Boa
27-jul	4:30	41	Boa	30	Boa	5	Boa
27-jul	5:30	34	Boa	25	Boa	5	Boa
27-jul	6:30	38	Boa	24	Boa	5	Boa
27-jul	7:30	38	Boa	29	Boa	5	Boa
27-jul	8:30	74	Regular	54	Regular	8	Boa
27-jul	9:30	68	Regular	48	Boa	20	Boa
27-jul	10:30	85	Regular	60	Regular	45	Boa
27-jul	11:30	66	Regular	40	Boa	39	Boa
27-jul	12:30	39	Boa	26	Boa	22	Boa
27-jul	13:30	34	Boa	21	Boa	16	Boa
27-jul	14:30	41	Boa	24	Boa	16	Boa
27-jul	15:30	34	Boa	21	Boa	9	Boa
27-jul	16:30	40	Boa	22	Boa	16	Boa
27-jul	17:30	38	Boa	26	Boa	11	Boa
27-jul	18:30	32	Boa	16	Boa	6	Boa
27-jul	19:30	30	Boa	18	Boa	5	Boa
27-jul	20:30	31	Boa	17	Boa	5	Boa
27-jul	21:30	33	Boa	21	Boa	5	Boa
27-jul	22:30	34	Boa	31	Boa	5	Boa
27-jul	23:30	38	Boa	22	Boa	5	Boa
28-jul	0:30	43	Boa	29	Boa	5	Boa
28-jul	1:30	44	Boa	32	Boa	5	Boa
28-jul	2:30	35	Boa	28	Boa	5	Boa
28-jul	3:30	36	Boa	27	Boa	5	Boa
28-jul	4:30	33	Boa	27	Boa	5	Boa
28-jul	5:30	30	Boa	22	Boa	5	Boa
28-jul	6:30	30	Boa	19	Boa	5	Boa
28-jul	7:30	32	Boa	24	Boa	5	Boa
28-jul	8:30	36	Boa	27	Boa	6	Boa
28-jul	9:30	23	Boa	12	Boa	5	Boa
28-jul	10:30	34	Boa	12	Boa	5	Boa
28-jul	11:30	34	Boa	25	Boa	5	Boa
28-jul	12:30	30	Boa	17	Boa	5	Boa
28-jul	13:30	25	Boa	22	Boa	5	Boa
28-jul	14:30	26	Boa	16	Boa	5	Boa
28-jul	15:30	43	Boa	30	Boa	17	Boa
28-jul	16:30	48	Boa	31	Boa	18	Boa
28-jul	17:30	33	Boa	26	Boa	7	Boa
28-jul	18:30	53	Regular	29	Boa	5	Boa
28-jul	19:30	39	Boa	24	Boa	5	Boa
28-jul	20:30	40	Boa	27	Boa	5	Boa
28-jul	21:30	60	Regular	46	Boa	5	Boa
28-jul	22:30	51	Regular	33	Boa	5	Boa
28-jul	23:30	48	Boa	28	Boa	5	Boa
29-jul	0:30	44	Boa	31	Boa	5	Boa
29-jul	7:30	48	Boa	39	Boa	5	Boa
29-jul	8:30	44	Boa	26	Boa	5	Boa
29-jul	9:30	38	Boa	27	Boa	5	Boa
29-jul	10:30	38	Boa	25	Boa	7	Boa
29-jul	11:30	32	Boa	21	Boa	9	Boa

29-jul	12:30	21	Boa	13	Boa	5	Boa
10-ago	13:30	73	Regular	48	Boa	15	Boa
10-ago	14:30	64	Regular	41	Boa	17	Boa
10-ago	15:30	59	Regular	42	Boa	15	Boa
10-ago	16:30	60	Regular	48	Boa	15	Boa
10-ago	17:30	47	Boa	36	Boa	12	Boa
10-ago	18:30	43	Boa	37	Boa	6	Boa
10-ago	19:30	47	Boa	31	Boa	5	Boa
10-ago	20:30	41	Boa	33	Boa	5	Boa
10-ago	21:30	45	Boa	32	Boa	5	Boa
10-ago	22:30	56	Regular	46	Boa	5	Boa
10-ago	23:30	56	Regular	45	Boa	5	Boa
11-ago	0:30	52	Regular	47	Boa	5	Boa
11-ago	1:30	58	Regular	51	Regular	26	Boa
11-ago	2:30	57	Regular	45	Boa	28	Boa
11-ago	3:30	66	Regular	55	Regular	55	Boa
11-ago	4:30	55	Regular	42	Boa	33	Boa
11-ago	5:30	64	Regular	40	Boa	23	Boa
11-ago	6:30	55	Regular	37	Boa	14	Boa
11-ago	7:30	41	Boa	35	Boa	14	Boa
11-ago	8:30	56	Regular	50	Regular	24	Boa
11-ago	9:30	57	Regular	35	Boa	25	Boa
11-ago	10:30	71	Regular	53	Regular	45	Boa
11-ago	11:30	71	Regular	48	Boa	54	Regular
11-ago	12:30	45	Boa	34	Boa	23	Boa
11-ago	13:30	38	Boa	35	Boa	9	Boa
11-ago	14:30	46	Boa	35	Boa	10	Boa
11-ago	15:30	50	Regular	37	Boa	21	Boa
11-ago	16:30	46	Boa	29	Boa	15	Boa
11-ago	17:30	35	Boa	32	Boa	10	Boa
11-ago	18:30	26	Boa	21	Boa	7	Boa
11-ago	19:30	32	Boa	20	Boa	5	Boa
11-ago	20:30	25	Boa	25	Boa	5	Boa
11-ago	21:30	24	Boa	22	Boa	5	Boa
11-ago	22:30	38	Boa	20	Boa	5	Boa
11-ago	23:30	33	Boa	18	Boa	5	Boa
12-ago	0:30	40	Boa	26	Boa	7	Boa
12-ago	1:30	35	Boa	28	Boa	6	Boa
12-ago	2:30	30	Boa	20	Boa	5	Boa
12-ago	3:30	26	Boa	20	Boa	5	Boa
12-ago	4:30	34	Boa	29	Boa	9	Boa
12-ago	5:30	33	Boa	30	Boa	13	Boa
12-ago	6:30	46	Boa	36	Boa	20	Boa
12-ago	7:30	45	Boa	37	Boa	26	Boa
12-ago	8:30	55	Regular	46	Boa	39	Boa
12-ago	9:30	49	Boa	39	Boa	24	Boa
12-ago	10:30	49	Boa	33	Boa	17	Boa
12-ago	11:30	42	Boa	28	Boa	18	Boa
12-ago	12:30	49	Boa	31	Boa	24	Boa
12-ago	13:30	38	Boa	27	Boa	12	Boa
12-ago	14:30	45	Boa	25	Boa	19	Boa
12-ago	15:30	39	Boa	24	Boa	14	Boa
12-ago	16:30	37	Boa	24	Boa	11	Boa

12-ago	17:30	28	Boa	15	Boa	8	Boa
12-ago	18:30	34	Boa	26	Boa	6	Boa
12-ago	19:30	38	Boa	26	Boa	6	Boa
12-ago	20:30	42	Boa	32	Boa	5	Boa
12-ago	21:30	58	Regular	41	Boa	5	Boa
12-ago	22:30	61	Regular	50	Boa	5	Boa
12-ago	23:30	55	Regular	38	Boa	6	Boa
13-ago	0:30	60	Regular	44	Boa	7	Boa
13-ago	1:30	45	Boa	36	Boa	6	Boa
13-ago	2:30	44	Boa	35	Boa	7	Boa
13-ago	3:30	43	Boa	32	Boa	5	Boa
13-ago	4:30	33	Boa	27	Boa	5	Boa
13-ago	5:30	39	Boa	28	Boa	11	Boa
13-ago	6:30	40	Boa	32	Boa	9	Boa
13-ago	7:30	63	Regular	51	Regular	8	Boa
13-ago	8:30	59	Regular	43	Boa	32	Boa
13-ago	9:30	59	Regular	35	Boa	28	Boa
13-ago	10:30	52	Regular	25	Boa	35	Boa
13-ago	11:30	34	Boa	21	Boa	19	Boa
13-ago	12:30	32	Boa	18	Boa	11	Boa
31-ago	13:30	53	Regular	35	Boa	20	Boa
31-ago	14:30	38	Boa	20	Boa	9	Boa
31-ago	15:30	47	Boa	27	Boa	17	Boa
31-ago	16:30	74	Regular	41	Boa	36	Boa
31-ago	17:30	55	Regular	34	Boa	27	Boa
31-ago	18:30	30	Boa	17	Boa	9	Boa
31-ago	19:30	32	Boa	19	Boa	6	Boa
31-ago	20:30	30	Boa	23	Boa	5	Boa
31-ago	21:30	38	Boa	28	Boa	5	Boa
31-ago	22:30	39	Boa	29	Boa	6	Boa
31-ago	23:30	63	Regular	43	Boa	12	Boa
1-set	0:30	32	Boa	24	Boa	7	Boa
1-set	1:30	28	Boa	21	Boa	6	Boa
1-set	2:30	41	Boa	35	Boa	19	Boa
1-set	3:30	44	Boa	34	Boa	15	Boa
1-set	4:30	18	Boa	8	Boa	7	Boa
1-set	5:30	16	Boa	15	Boa	5	Boa
1-set	6:30	21	Boa	11	Boa	5	Boa
1-set	7:30	27	Boa	16	Boa	6	Boa
1-set	8:30	34	Boa	28	Boa	13	Boa
1-set	9:30	100	Regular	67	Boa	67	Regular
1-set	10:30	76	Regular	45	Boa	43	Boa
1-set	11:30	55	Regular	36	Boa	28	Boa
1-set	12:30	48	Boa	32	Boa	25	Boa
14-set	13:30	43	Boa	26	Boa	16	Boa
14-set	14:30	47	Boa	31	Boa	14	Boa
14-set	15:30	42	Boa	26	Boa	16	Boa
14-set	16:30	45	Boa	24	Boa	19	Boa
14-set	17:30	47	Boa	35	Boa	19	Boa
14-set	18:30	44	Boa	31	Boa	11	Boa
14-set	19:30	35	Boa	23	Boa	8	Boa
14-set	20:30	26	Boa	18	Boa	6	Boa
14-set	21:30	30	Boa	24	Boa	6	Boa

14-set	22:30	35	Boa	26	Boa	6	Boa
14-set	23:30	37	Boa	31	Boa	6	Boa
15-set	0:30	51	Regular	44	Boa	9	Boa
15-set	1:30	67	Regular	53	Boa	20	Boa
15-set	2:30	65	Regular	47	Boa	26	Boa
15-set	3:30	72	Regular	53	Boa	49	Boa
15-set	4:30	56	Regular	40	Boa	40	Boa
15-set	5:30	66	Regular	47	Boa	37	Boa
15-set	6:30	35	Boa	31	Boa	23	Boa
15-set	7:30	54	Regular	39	Boa	46	Boa
15-set	8:30	45	Boa	38	Boa	39	Boa
15-set	9:30	48	Boa	25	Boa	28	Boa
15-set	10:30	32	Boa	20	Boa	13	Boa
15-set	11:30	46	Boa	27	Boa	21	Boa
15-set	12:30	41	Boa	27	Boa	17	Boa
22-set	13:30	32	Boa	22	Boa	13	Boa
22-set	14:30	28	Boa	16	Boa		Boa
22-set	15:30	23	Boa	17	Boa	8	Boa
22-set	16:30	37	Boa	21	Boa	11	Boa
22-set	17:30	27	Boa	20	Boa	9	Boa
22-set	18:30	19	Boa	12	Boa	8	Boa
22-set	19:30	18	Boa	13	Boa	8	Boa
22-set	20:30	21	Boa	20	Boa	8	Boa
22-set	21:30	43	Boa	20	Boa	7	Boa
22-set	22:30	38	Boa	24	Boa	6	Boa
22-set	23:30	38	Boa	29	Boa	7	Boa
23-set	0:30	30	Boa	22	Boa	6	Boa
23-set	1:30	50	Regular	38	Boa	13	Boa
23-set	2:30	55	Regular	40	Boa	27	Boa
23-set	3:30	64	Regular	40	Boa	37	Boa
23-set	4:30	53	Regular	43	Boa	31	Boa
23-set	5:30	54	Regular	35	Boa	22	Boa
23-set	6:30	64	Regular	33	Boa	18	Boa
23-set	7:30	79	Regular	29	Boa	20	Boa
23-set	8:30	62	Regular	34	Boa	25	Boa
23-set	9:30	50	Regular	30	Boa	23	Boa
23-set	10:30	48	Boa	34	Boa	21	Boa
23-set	11:30	51	Regular	25	Boa	21	Boa
23-set	12:30	43	Boa	22	Boa	11	Boa
29-set	13:30	62	Regular	45	Boa	20	Boa
29-set	14:30	54	Regular	34	Boa	17	Boa
29-set	15:30	41	Boa	32	Boa	11	Boa
29-set	16:30	38	Boa	35	Boa	8	Boa
29-set	17:30	37	Boa	51	Regular	8	Boa
29-set	18:30	61	Regular	37	Boa	8	Boa
29-set	19:30	45	Boa	30	Boa	8	Boa
29-set	20:30	40	Boa	23	Boa	8	Boa
29-set	21:30	37	Boa	30	Boa	7	Boa
29-set	22:30	46	Boa	34	Boa	7	Boa
29-set	23:30	41	Boa	30	Boa	6	Boa
30-set	0:30	55	Regular	53	Boa	6	Boa
30-set	1:30	62	Regular	57	Regular	7	Boa
30-set	2:30	47	Boa	46	Boa	6	Boa

30-set	3:30	49	Boa	44	Boa	6	Boa
30-set	4:30	54	Regular	48	Boa	8	Boa
30-set	5:30	49	Boa	50	Regular	12	Boa
30-set	6:30	50	Regular	33	Boa	8	Boa
30-set	7:30	55	Regular	48	Boa	8	Boa
30-set	8:30	74	Regular	60	Regular	7	Boa
30-set	9:30	71	Regular	52	Regular	8	Boa
30-set	10:30	104	Inadequada	77	Regular	30	Boa
30-set	11:30	104	Inadequada	68	Regular	42	Boa
30-set	12:30	127	Inadequada	105	Inadequada	69	Regular
6-out	13:30	41	Boa	31	Boa	17	Boa
6-out	14:30	39	Boa	26	Boa	9	Boa
6-out	15:30	34	Boa	33	Boa	8	Boa
6-out	16:30	39	Boa	33	Boa	8	Boa
6-out	17:30	62	Regular	42	Boa	13	Boa
6-out	18:30	82	Regular	55	Regular	39	Boa
6-out	19:30	77	Regular	62	Regular	54	Regular
6-out	20:30	68	Regular	42	Boa	46	Boa
6-out	21:30	66	Regular	51	Regular	30	Boa
6-out	22:30	59	Regular	44	Boa	33	Boa
6-out	23:30	62	Regular	53	Regular	30	Boa
7-out	0:30	73	Regular	44	Boa	37	Boa
7-out	1:30	59	Regular	48	Boa	40	Boa
7-out	2:30	45	Boa	32	Boa	16	Boa
7-out	3:30	52	Regular	40	Boa	20	Boa
7-out	4:30	58	Regular	42	Boa	32	Boa
7-out	5:30	58	Regular	49	Boa	36	Boa
7-out	6:30	54	Regular	42	Boa	38	Boa
7-out	7:30	47	Boa	35	Boa	38	Boa
7-out	8:30	56	Regular	38	Boa	31	Boa
7-out	9:30	55	Regular	44	Boa	26	Boa
7-out	10:30	47	Boa	31	Boa	24	Boa
7-out	11:30	58	Regular	40	Boa	23	Boa
7-out	12:30	36	Boa	29	Boa	19	Boa
21-out	13:30	110	Inadequada	57	Regular	-	-
21-out	14:30	185	Inadequada	68	Regular	-	-
21-out	15:30	67	Regular	43	Boa	-	-
21-out	16:30	44	Boa	37	Boa	-	-
21-out	17:30	37	Boa	23	Boa	-	-
21-out	18:30	25	Boa	17	Boa	-	-
21-out	19:30	25	Boa	27	Boa	-	-
21-out	20:30	26	Boa	22	Boa	-	-
21-out	21:30	37	Boa	29	Boa	-	-
21-out	22:30	32	Boa	29	Boa	-	-
21-out	23:30	52	Regular	44	Boa	-	-
22-out	0:30	51	Regular	41	Boa	-	-
22-out	1:30	64	Regular	47	Boa	-	-
22-out	2:30	45	Boa	34	Boa	-	-
22-out	3:30	38	Boa	32	Boa	-	-
22-out	4:30	37	Boa	28	Boa	-	-
22-out	5:30	39	Boa	33	Boa	-	-
22-out	6:30	45	Boa	32	Boa	-	-
22-out	7:30	63	Regular	44	Boa	-	-

22-out	8:30	51	Regular	44	Boa	-	-
22-out	9:30	39	Boa	30	Boa	-	-
22-out	10:30	44	Boa	25	Boa	-	-
22-out	11:30	40	Boa	27	Boa	-	-
22-out	12:30	46	Boa	27	Boa	-	-
27-out	13:30	11	Boa	6	Boa	-	-
27-out	14:30	42	Boa	26	Boa	-	-
27-out	15:30	42	Boa	26	Boa	-	-
27-out	16:30	25	Boa	19	Boa	-	-
27-out	17:30	27	Boa	19	Boa	-	-
27-out	18:30	25	Boa	19	Boa	-	-
27-out	19:30	30	Boa	26	Boa	-	-
27-out	20:30	35	Boa	22	Boa	-	-
27-out	21:30	29	Boa	32	Boa	-	-
27-out	22:30	33	Boa	27	Boa	-	-
27-out	23:30	46	Boa	33	Boa	-	-
28-out	0:30	50	Regular	36	Boa	-	-
28-out	1:30	45	Boa	38	Boa	-	-
28-out	2:30	50	Regular	35	Boa	-	-
28-out	3:30	42	Boa	44	Boa	-	-
28-out	4:30	45	Boa	40	Boa	-	-
28-out	5:30	36	Boa	30	Boa	-	-
28-out	6:30	46	Boa	38	Boa	-	-
28-out	7:30	42	Boa	36	Boa	-	-
28-out	8:30	25	Boa	24	Boa	-	-
28-out	9:30	40	Boa	25	Boa	-	-
28-out	10:30	46	Boa	24	Boa	-	-
28-out	11:30	43	Boa	24	Boa	-	-
28-out	12:30	42	Boa	25	Boa	-	-
4-nov	13:30	45	Boa	24	Boa	-	-
4-nov	14:30	27	Boa	24	Boa	-	-
4-nov	15:30	27	Boa	20	Boa	-	-
4-nov	16:30	36	Boa	20	Boa	-	-
4-nov	17:30	32	Boa	22	Boa	-	-
4-nov	18:30	27	Boa	16	Boa	-	-
4-nov	19:30	50	Regular	30	Boa	-	-
4-nov	20:30	42	Boa	31	Boa	-	-
4-nov	21:30	30	Boa	23	Boa	-	-
4-nov	22:30	41	Boa	25	Boa	-	-
4-nov	23:30	49	Boa	34	Boa	-	-
5-nov	0:30	20	Boa	20	Boa	-	-
5-nov	1:30	35	Boa	25	Boa	-	-
5-nov	2:30	47	Boa	33	Boa	-	-
5-nov	3:30	32	Boa	31	Boa	-	-
5-nov	4:30	46	Boa	33	Boa	-	-
5-nov	5:30	56	Regular	43	Boa	-	-
5-nov	6:30	55	Regular	35	Boa	-	-
5-nov	7:30	49	Boa	38	Boa	-	-
5-nov	8:30	44	Boa	32	Boa	-	-
5-nov	9:30	42	Boa	30	Boa	-	-
5-nov	10:30	31	Boa	19	Boa	-	-
5-nov	11:30	31	Boa	22	Boa	-	-
5-nov	12:30	70	Regular	42	Boa	-	-

10-nov	13:30	29	Boa	20	Boa	-	-
10-nov	14:30	33	Boa	22	Boa	-	-
10-nov	15:30	28	Boa	23	Boa	-	-
10-nov	16:30	28	Boa	21	Boa	-	-
10-nov	17:30	42	Boa	32	Boa	-	-
10-nov	18:30	34	Boa	21	Boa	-	-
10-nov	19:30	37	Boa	28	Boa	-	-
10-nov	20:30	52	Regular	37	Boa	-	-
10-nov	21:30	51	Regular	32	Boa	-	-
10-nov	22:30	44	Boa	35	Boa	-	-
10-nov	23:30	51	Regular	30	Boa	-	-
11-nov	0:30	42	Boa	35	Boa	-	-
11-nov	1:30	44	Boa	35	Boa	-	-
11-nov	2:30	49	Boa	36	Boa	-	-
11-nov	3:30	42	Boa	24	Boa	-	-
11-nov	4:30	41	Boa	29	Boa	-	-
11-nov	5:30	40	Boa	25	Boa	-	-
11-nov	6:30	30	Boa	5	Boa	-	-
11-nov	7:30	31	Boa	27	Boa	-	-
11-nov	8:30	37	Boa	17	Boa	-	-
11-nov	9:30	56	Regular	45	Boa	-	-
11-nov	10:30	55	Regular	34	Boa	-	-
11-nov	11:30	40	Boa	26	Boa	-	-
11-nov	12:30	73	Regular	53	Regular	-	-
17-nov	17:30	35	Boa	24	Boa	13	Boa
17-nov	18:30	36	Boa	26	Boa	17	Boa
17-nov	19:30	56	Regular	42	Boa	9	Boa
17-nov	20:30	40	Boa	31	Boa	8	Boa
17-nov	21:30	40	Boa	28	Boa	8	Boa
17-nov	22:30	52	Regular	34	Boa	8	Boa
17-nov	23:30	61	Regular	38	Boa	9	Boa
18-nov	0:30	61	Regular	48	Boa	9	Boa
18-nov	1:30	94	Regular	69	Regular	9	Boa
18-nov	2:30	54	Regular	33	Boa	8	Boa
18-nov	3:30	45	Boa	33	Boa	12	Boa
18-nov	4:30	56	Regular	39	Boa	17	Boa
18-nov	5:30	30	Boa	24	Boa	16	Boa
18-nov	6:30	36	Boa	27	Boa	12	Boa
18-nov	7:30	42	Boa	23	Boa	13	Boa
18-nov	8:30	26	Boa	15	Boa	10	Boa
18-nov	9:30	53	Regular	42	Boa	25	Boa
18-nov	10:30	47	Boa	37	Boa	28	Boa
18-nov	11:30	33	Boa	27	Boa	19	Boa