

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - UNIFAL

RAFAELA MACEDO SOARES

**CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO E
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA CIDADE DE POÇOS DE CALDAS-MG**

POÇOS DE CALDAS/MG

2015

RAFAELA MACEDO SOARES

**CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO E
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA CIDADE DE POÇOS DE CALDAS-MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfnas – *campus* Poços de Caldas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental. Área de Concentração: Monitoramento Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Rodrigues
Co-Orientador: Prof. Me. Michiel Wichers Schrage

POÇOS DE CALDAS/MG

2015

S678c Soares, Rafaela Macedo.

Caracterização do material particulado atmosférico e avaliação da qualidade do ar da cidade de Poços de Caldas-MG / Rafaela Macedo Soares. – Poços de Caldas, 2015.

91 f. -

Orientador: Marcos Vinícius Rodrigues.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2015.

Bibliografia.

1. Ar – Qualidade – Poços de Caldas (MG). 2. Ar – Poluição – Poços de Caldas (MG). 3. Monitoramento ambiental – Poços de Caldas (MG). I. Rodrigues, Marcos Vinícius. II. Título.

CDD: 628.53


RAFAELA MACEDO SOARES

**CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFERICO
E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR DA CIDADE DE POÇOS DE
CALDAS – MG**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Ciência e Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 31 de agosto de 2015.



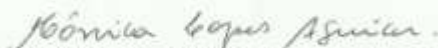
Prof. Dr. Marcos Vinicius Rodrigues

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - MG



Prof. Dr. Antonio Donizetti Gonçalves de Souza

Instituição: Universidade Federal de Alfenas - MG



Prof (a) Dr (a). Mônica Lopes Aguiar

Instituição: Universidade Federal de São Carlos - SP

Dedico à Deus, aos meus pais, aos meus irmãos e amigos pelo apoio na realização deste e aos professores Marcos e Michiel pela compreensão e constante orientação.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, primeiramente, por me dar força, determinação e coragem nessa caminhada.

Aos meus queridos pais Ricardo e Giovana, pelo carinho, educação e todos os ensinamentos que me fizeram ser a pessoa que hoje sou.

Agradeço imensamente ao professor Dr. Marcos Vinicius Rodrigues, meu primeiro incentivador, por ter me orientado durante todo esse período e por repassar ensinamentos que jamais esquecerei, juntamente com sua paciência, confiança e empenho na realização deste trabalho.

Ao professor Me. Michel Wichers Schrage, por seu empenho, colaboração, suporte, paciência, apoio e pelos ensinamentos que foram essenciais ao desenvolvimento do trabalho.

À prefeitura municipal de Poços de Caldas em nome do Excelentíssimo Sr. Prefeito Eloísio do Carmo Lourenço, por ter colaborado e cedido alguns locais para a realização da amostragem.

Ao DMAE em nome do engenheiro Márcio Roberto, pela disponibilização dos dados de precipitação pluviométrica.

Às empresas Sulbat, Águas Poços de Caldas, Posto do Toninho e Posto Floresta por terem apoiado e cedido locais para a realização das amostragens.

À empresa PROMINER projetos LTDA pela colaboração e empréstimo do equipamento (AGV/PTS).

Ao Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração (LACASEMIN) da Universidade de São Paulo (USP) pela colaboração e empréstimo do equipamento (AGV/PTS).

À empresa ELFUSA Geral de Eletrofusão LTDA em nome do Sr. Sérgio Luís Damálio e do Sr. Edmilson Ricelli dos Passos pela colaboração e apoio na realização das análises químicas.

Ao setor de transportes da Universidade Federal de Alfenas, em nome do Sr. Fábio Volpi Braz pela colaboração e apoio no transporte dos equipamentos.

À professora Carolina Del Roveri pela colaboração e disponibilidade.

À Universidade Federal de Alfenas, juntamente com o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental pela oportunidade oferecida.

À Carolina Manochio, por toda a ajuda, apoio e amizade e durante mais essa etapa. A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

"... que a importância de uma coisa não se mede com fita métrica, nem com balanças, nem barômetros, etc. Que a importância de uma coisa há que ser medida pelo encantamento que a coisa produza em nós".

(Manuel de Barros)

RESUMO

Cada dia é mais frequente a preocupação com a qualidade do ar e a poluição atmosférica, as consequências que podem surgir quando a concentração de poluentes atingem níveis acima dos limites definidos e suas causas. Dessa forma, o monitoramento atmosférico é essencial para garantir a qualidade de vida da população. Este trabalho teve como objetivo medir a concentração de material particulado suspenso na atmosfera na cidade de Poços de Caldas, sendo o material particulado qualquer substância sólida ou líquida em suspensão com diâmetro menor ou igual a 100 micrometros. Essa medição foi realizada durante períodos de 24 horas através de amostradores de grande volume, sendo monitoramentos o mês de junho de 2014 e os meses de dezembro de 2014 a maio de 2015. Foram escolhidos 11 pontos de amostragem na região urbana de forma a abranger as principais características de uso e ocupação do solo no município. Também foi realizada a caracterização química deste material através da técnica de fluorescência de raios-x, onde os átomos são excitados com o intuito de se obter a fluorescência característica de cada elemento. Os resultados mostraram em nenhum dos pontos amostrados apresentaram concentrações acima dos valores estabelecidos pela legislação vigente para o monitoramento diário. Para a média geométrica anual alguns pontos ultrapassaram os limites secundários indicados. As análises químicas indicaram que os compostos SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , BaO , CaO , K_2O , ZnO , CuO e C são, nessa ordem, os encontrados em maior concentração nas partículas totais em suspensão. Também foi possível observar que os dados meteorológicos tiveram influência direta nas concentrações de material particulado.

Palavras-chave: Material particulado. Poluição atmosférica. Poços de Caldas.

ABSTRACT

Every day is more common concern for air quality and air pollution, the consequences that can arise when the concentration of pollutants reaching levels above limits and their causes. Thus, the atmospheric monitoring is essential to ensure the quality of life of the population. This study aimed to measure the concentration of suspended particulate matter in the atmosphere in the city of Pocos de Caldas, where the particulate matter is any solid or liquid suspended with a diameter less or equal to 100 micrometers.. This measurement was performed during 24-hour periods through high-volume samplers, monitoring being the month of June 2014 and the months of December 2014 to May 2015. They were chosen eleven sampling points in urban areas to cover the main usage characteristics and land use in the municipality. It was also carried out the chemical characterization of this material by x-ray fluorescence technique, where the atoms are excited in order to obtain the characteristic fluorescence of each element. The results showed that none of the points presented above concentrations of values established by legislation to daily monitoring. For the geometric mean annual some points exceeded the side limits. The chemical analysis indicated that the compounds SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , BaO , CaO , K_2O , ZnO , CuO and C are, in that order, found in the highest concentration of total suspended particles. It was also observed that the meteorological data had direct influence on concentrations of particulate matter.

Key words: Particulate matter. Atmospheric pollution. Poços de Caldas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Locais de deposição do MP no pulmão de acordo com seu tamanho.....	29
Figura 2 - Esquema de FRX.....	31
Figura 3 - Localização da cidade de Poços de Caldas.....	33
Figura 4 - Crescimento Populacional de Poços de Caldas-MG	35
Figura 5 – Gráfico comparativo da quantidade total da frota veicular, VL e VP.....	37
Figura 6 - Identificação dos pontos de amostragens na cidade de Poços de Caldas – MG.	38
Figura 7 - Vista superior da Prefeitura Municipal de Poços de Caldas.....	39
Figura 8 - Vista superior da residência do professor Marcos.....	40
Figura 9 - Vista superior do posto Floresta	41
Figura 10 - Vista superior do posto do Toninho 1	42
Figura 11 - Vista superior do posto da empresa Águas Poços de Caldas.....	43
Figura 12 - Vista superior da CEI Maria do Rosário Bastos.....	44
Figura 13 - Vista superior da residência da Sr. Alessandra.....	45
Figura 14 - Vista superior da empresa Sulbat	46
Figura 15 - Vista superior do posto do Toninho 2	47
Figura 16 - Vista superior da UNIFAL	48
Figura 17 - Vista superior do Parque Municipal Antônio Molinari	49
Figura 18 - Amostrador (AGV) PTS.....	50
Figura 19 - Calibrados padrão com copo e placas de diferentes unidades de furos.	52
Figura 20 - FRX spectrimeter.....	55
Figura 21 - Amostras dos filtros sendo analisados pelo FRX	56
Figura 22 - Anel de amostragem	57
Figura 23 - Escala de Ringelmann	58
Figura 24 – Gráfico da precipitação mensal.....	60
Figura 25 - Rosa dos Ventos para o município de Poços de Caldas.	61
Figura 26 - Gráfico da concentração de M.P. versus a umidade relativa do ar.....	62
Figura 27 - Gráfico da concentração de MP versus a precipitação pluviométrica.	63
Figura 28 - Gráfico da concentração diária de MP amostrado.	64
Figura 29 - Boxplot da concentração de PTS por ponto amostrado.....	66
Figura 30 - Gráfico da concentração média de MP para cada mês amostrado.....	66
Figura 31 - Gráfico da concentração de PTS por ponto amostrado.	67
Figura 32 - gráfico da concentração de PTS em cada ponto amostrado por mês amostrado.	68
Figura 33 - Pontos de amostragens com suas respectivas concentrações	69

Figura 34 - Localização das principais fontes de MP e vias de acesso mais movimentadas.	79
Figura 35 - Principais fontes de MP, vias de acesso e pontos de monitoramento.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de referência.....	20
Tabela 2 - Episódios críticos segundo a Resolução CONAMA 003/90.....	21
Tabela 3 - Concentração de poluentes definidos pelo Decreto n° 59.113.....	22
Tabela 4 - IQA em relação á saúde humana.....	23
Tabela 5 - Histórico da Frota veicular de Poços de Caldas nos últimos 10 anos	36
Tabela 6 - Dados técnicos do AGV/PTS.....	50
Tabela 7 - Concentração máxima e média de PTS em algumas cidades.....	65
Tabela 8 - Componentes químicos, principais fontes e cor predominante dos filtros amostrados.....	72
Tabela 9 - Componentes encontrados no MP em algumas cidades e suas principais fontes	73
Tabela 10 - Concentrações encontrados por Pereira Junior (2014) e no ponto P7.....	74
Tabela 11 - Contagem da frota veicular no município de Poços de Caldas-MG	76
Tabela 12 - Análise de fumaça preta em algumas vias de Poços de Caldas-MG.....	77

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AGV	– Amostrado de Grande Volume
CETESB	– Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CONAMA	– Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA	– Conselho Estadual de Meio Ambiente
CPTEC	– Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CPV	– Calibrador Padrão de Vazão
DENATRAN	– Departamento Nacional de Trânsito
DMAE	– Departamento Municipal de Água e Esgoto
DRX	– Difração de Raios X
EPA	– Environmental Protection Agency
FEAM	– Fundação Estadual de Meio Ambiente
FRX	– Fluorescência de Raio-X
Hi-Vol	– High Volume Air Sampler
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-AES	– Espectrômetro de Emissão Atômica por Plasma Indutivamente Acoplado
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MEV	– Microscopia Eletrônica de Varredura
MP	– Material Particulado
PRONAR	– Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
PTS	– Partículas Totais em Suspensão
RMBH	– Região Metropolitana de Belo Horizonte
RMSP	– Região Metropolitana de São Paulo
SINDA	– Sistema Integrado de dados Ambientais
XPS	– Espectroscopia Fotoeletrônica de Raios X

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Poluição Atmosférica	15
3.1.1	<i>Poluição Atmosférica e Poluentes Atmosféricos</i>	15
3.1.2	<i>Material Particulado</i>	16
3.1.3	<i>Fontes de Material Particulado</i>	17
3.1.4	<i>Legislação Ambiental e Índices de Qualidade do Ar</i>	18
3.1.5	<i>Metais Associados ao Material Particulado</i>	1823
3.1.6	<i>Monitoramento Atmosférico nas Cidades</i>	1825
3.1.7	<i>Efeito do Material Particulado na Saúde Pública</i>	28
3.2	Meteorologia e sua Influência Sobre a Poluição Atmosférica	29
3.3	Análise Química do Material Particulado	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Caracterização da Área de Estudo	33
4.1.1	<i>Clima, Relevo, Vegetação e Hidrografia</i>	34
4.1.2	<i>População, Atividade Industrial, Economia e Turismo</i>	34
4.1.3	<i>Frota Veicular do Município</i>	345
4.2	Pontos de Monitoramento	37
4.3	Equipamento de Monitoramento	49
4.4	Método de Amostragem	51
4.5	Cálculo da Vazão de Ar Amostrada	53
4.6	Campanhas de Monitoramento	534
4.7	Análise Química do Material Particulado	535
4.8	Avaliação das Principais Fontes de Material Particulado	537
4.9	Metodologia de Amostragem de Fumaça Preta e Frota Média de Veículos	537
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1	Dados meteorológicos	60
5.2	Concentração de partículas totais em suspensão	63
5.3	Análise química	70
5.4	Volume médio de tráfego e fumaça preta	75
5.5	Levantamento das Principais Fontes	77
6	CONCLUSÃO	81

7	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	82
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

A emissão de poluentes atmosféricos vem aumentando nas últimas décadas, o que tem sido motivo de preocupação (QUEIROZ, 2007). A poluição gerada aumenta a concentração de poluentes na atmosfera, o que pode ter efeitos prejudiciais à qualidade de vida, bem-estar e principalmente saúde da população. Essa poluição pode ser medida através da quantificação das substâncias presentes no ar (CASTRO, 2013). Conhecer o nível de poluição e o quão próximo do receptor essa poluição está sendo emitida é extremamente importante para entender sua causa, possíveis consequências, controle e remediação. Por isto, o monitoramento direto ou indireto é fundamental para entender e controlar a qualidade do ar das cidades (TAZINASSI et al., 2005).

Com o crescimento acelerado das cidades, tende a crescer a quantidade de poluentes lançados na atmosfera, originando um aumento significativo das concentrações desses poluentes e fazendo com que a atmosfera dos centros urbanos apresente uma complexa mistura de gases e partículas poluentes, sendo as emissões veiculares umas das principais fontes de degradação da qualidade do ar (MAGALHÃS, 2005).

A cidade de Poços de Caldas, localizada no sul do estado de Minas Gerais, assim como outras cidades do interior, cresceu muito nos últimos anos. Esse crescimento populacional em torno de 2,66% ao ano segundo dados do IBGE (2014), esse crescimento levou não só ao aumento da população, mas também ao aumento do número de automóveis em circulação e indústrias instaladas na cidade.

Dentre desse contexto, o estudo dessas fontes e da qualidade do ar por meio da quantificação dos poluentes em suspensão são essenciais para identificar as consequências desse crescimento e o potencial prejuízo à saúde da população de Poços de Caldas, uma vez que não existe este tipo de levantamento no município.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho é avaliar a qualidade do ar da cidade de Poços de Caldas – MG, através da quantificação e caracterização química do Material Particulado Total.

Os objetivos específicos para o projeto são:

- a) Monitorar a concentração das partículas totais em suspensão utilizando amostradores de grande volume (AGV);
- b) Monitorar as condições meteorológicas;
- c) Verificar o enquadramento das concentrações de material particulado na legislação vigente;
- d) Realizar a análise química do material retido nos filtros amostrados;
- e) Realizar o levantamento do tráfego de veículos de Poços de Caldas em suas principais vias;
- f) Identificar as principais emissões de material particulado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Por se tratar de um estudo envolvendo áreas como Engenharia Ambiental, Física, Química, Geologia e Saúde, são apresentadas a seguir algumas definições e conceitos de termos fundamentais com o intuito de facilitar o entendimento deste trabalho.

3.1 Poluição Atmosférica

3.1.1 *Poluição Atmosférica e Poluentes Atmosféricos*

Poluição atmosférica é definida como a emissão ou presença de substâncias na atmosfera em concentrações que podem interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e no bem-estar do homem, ou no pleno gozo de sua propriedade (DERISIO, 2012).

A poluição atmosférica tem gerado diversos danos a seus receptores, podendo ser estes o ser humano, os materiais e o ambiente, e se transformando em um motivo crescente de preocupação (MARTINS, 1997). Quando se trata de saúde pública, ela pode afetar principalmente os sistemas respiratório, circulatório e oftalmológico. Alguns dos efeitos da poluição na saúde humana ocorrem devido à inalação de partículas contendo metais em sua composição. Por esse motivo, cada vez mais tem se buscado novas maneiras de minimizar a emissão de contaminantes atmosféricos ou poluentes (MAGALHÃES et. al., 2010).

Conhecer a qualidade do ar é essencial para determinar ações de controle da poluição. A poluição deve ser medida não só pela concentração de poluentes na atmosfera, mas também por outros fatores como a topografia local, o grau de exposição do receptor e condições climáticas, uma vez que esses fatores têm influencia direta no nível de poluição (VIEIRA, 2009).

De acordo com a CETESB é considerado poluente do ar qualquer substância contida no mesmo que através da sua concentração possa tornar esse ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, 2013).

Martinis (1997) simplificou a dinâmica dos poluentes na atmosfera através do seguinte esquema:



Há uma grande variedade de substâncias que podem estar presentes no ar atmosférico, fazendo com que haja certa dificuldade em estabelecer uma classificação acerca dos poluentes. Dessa forma, segundo Loureiro (2005), os poluentes atmosféricos são divididos em dois grupos: os poluentes primários e os poluentes secundários. Os primários são os poluentes emitidos diretamente na atmosfera enquanto os secundários são gerados através da reação que ocorre entre poluentes primários e entre estes e componentes naturais da atmosfera. Além disso, os poluentes podem ser classificados em poluentes orgânicos e inorgânicos (TAZINASSI, *et al.*, 2005).

3.1.2 *Material Particulado*

Entre os poluentes atmosféricos, o material particulado é um dos mais citados pela literatura e por esse motivo tem sido cada vez mais estudado e monitorado por períodos de tempo maiores que os demais poluentes (ALMEIDA, 1999).

O material particulado (MP) é qualquer partícula sólida ou líquida em suspensão cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 100 μm , podendo ser formado por substâncias orgânicas e inorgânicas (SAMPAIO, 2012). O MP é constituído por uma mistura de partículas extremamente pequenas, podendo ser formados por ácidos, produtos químicos orgânicos, metais, gotas de líquido e partículas do solo ou poeira (EPA, 2015).

Esse material pode ser emitido na forma de poeira, névoa, fumaça ou fumo. (MAGALHÃES, 2005). De acordo com Ito (2007), poeira são as partículas sólidas formadas no processo de desintegração mecânica, névoa são as partículas líquidas produzidas por condensação ou atomização, fumo são as partículas sólidas formadas por condensação ou sublimação de partículas gasosas oriundas da vaporização ou sublimação de sólidos e fumaça são, principalmente, partículas sólidas formadas por queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos ou madeira.

O material particulado pode ser dividido em PTS, PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$, de acordo com o diâmetro aerodinâmico que a partícula possui. O PTS (Partículas Totais em Suspensão) engloba todos os materiais particulados cujo diâmetro é menor que 100 μm . O PM_{10} é o material particulado que possui diâmetro menor ou igual a 10 μm . Já o $\text{PM}_{2,5}$ é o material particulado que possui diâmetro menor ou igual a 2,5 μm (CETESB, 2013).

O PM_{10} também é conhecido como fração inalável grossa, enquanto o $PM_{2,5}$ é conhecido como fração inalável fina. Essas partículas podem conter substâncias tóxicas ou mutagênicas, podendo causar sérios danos à saúde (MAGALHÃES et al., 2010).

A fração fina pode ficar em suspensão por períodos de tempos maiores que frações mais grossas, pois se sedimentam mais lentamente, podendo ser mais prejudicial por este fator e por conseguir atingir os brônquios pulmonares (ONURSAL; GAUTAM, 1997). Sendo assim, o dano causado pelo material particulado pode ser influenciado pelo tamanho da partícula em suspensão, ou seja, quanto menor o material particulado mais tempo ele pode ficar em suspensão e mais longe ele pode chegar e menores diâmetros são inalados mais facilmente (CASTRO, 2013).

O material particulado possui formato indefinido, apesar de ser retratado como se tivesse forma arredondada. Dessa forma o caso de material em suspensão é caracterizado através de seu diâmetro aerodinâmico, que é o diâmetro de uma esfera de densidade igual a 1g/cm^3 que tem a mesma velocidade de sedimentação da partícula no ar (ALLEN, 1997).

O MP pode ser constituído por diversos elementos presentes na atmosfera, podendo apresentar uma fração orgânica e uma fração inorgânica. A fração orgânica é constituída basicamente pelo carbono elementar, também conhecido como carbono grafítico, e pelo carbono orgânico, enquanto a fração inorgânica é constituída principalmente por metais dissociados no material particulado (MARTINIS, 1997).

3.1.3 Fontes de Material Particulado

A poluição do ar pode ser provocada por atividades antrópicas ou naturais. As fontes antropogênicas são aquelas em que o poluente é produzido pelo homem, como emissões veiculares, industriais e queimadas, enquanto fontes naturais são aquelas que produzem poluentes a partir de fontes naturais, como tempestades de poeira e erupções vulcânicas (DERISIO, 2012).

As fontes de poluição podem ser do tipo fixa ou móvel. De acordo com Queiroz (2007) as fontes fixas são também conhecidas como fontes estacionárias e, entre estas, destacam-se as emissões de chaminés industriais e de construção civil, enquanto entre as fontes móveis destacam-se as emissões veiculares (MAGALHÃES, 2005).

Uma das fontes de materiais particulados mais comuns em centros urbanos é a queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral e derivados do petróleo, uma vez que estes suprem grande parte da demanda energética (CARVALHO, 2000).

A queima de combustíveis fósseis pode liberar além de componentes tóxicos, é responsável pela liberação de hidrocarbonetos, isto é, compostos formados por hidrogênio e carbono e compostos orgânicos voláteis dentre os quais estão muitas substâncias tóxicas (CASTRO, 2013).

As emissões veiculares tem uma participação acentuada no lançamento de poluentes atmosféricos, onde os veículos a diesel tem uma participação maior na emissão de poluentes do que aqueles á gasolina e álcool. No veículo a diesel o principal tipo de material particulado emitido consiste na fuligem originada da combustão (LOUREIRO, 2005).

Ainda segundo Loureiro (2005), a fumaça negra associada à fuligem tem origem na deficiência de oxigenação que pode ocorrer durante a combustão, sendo que as fumaças cinza, branca e azul são causadas pela condensação do hidrocarboneto (HC) na exaustão dos veículos. Já a fumaça branca também pode ser proveniente da partida do motor em tempos frios enquanto a azul e cinza pode resultar da vaporização de óleos lubrificantes.

Outra fonte comum de material particulado é o solo, através do processo de resuspensão da poeira do solo pelo vento (LIMA, 2007).

As indústrias contribuem com a emissão de material particulado através da queima de combustíveis fósseis, geralmente lançados na atmosfera por chaminés, além de lançarem outros componentes tóxicos na atmosfera (SAMPAIO, 2012).

3.1.4 Legislação Ambiental e Índices de Qualidade do Ar

Os padrões de concentração de poluentes atmosféricos foram definidos para auxiliar no controle da poluição atmosférica. A primeira legislação referente à poluição atmosférica foi criada em 1965 pela Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente (USEPA), intitulada Clean Air Act (EPA, 2015). No ano de 1971 foi criada a Agência Americana de Proteção Ambiental, Environmental Protection Agency (EPA), estabelecendo os primeiros padrões de qualidade do ar com base no Clean Air Act (ALMEIDA, 1999). Essa legislação criou o primeiro padrão referente às partículas inaláveis, ou seja, menores que 10 µm (LIMA, 2007).

No Brasil os limites de concentração de poluentes são definidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Esses limites representam as concentrações acima das quais as substâncias podem causar danos à saúde, materiais e ambiente (FEAM, 2013).

Existem dois tipos de padrão de qualidade do ar: o primário e o secundário. O padrão primário é aquele que quando suas concentrações forem excedidas poderão causar danos à

saúde humana, isto é, são os limites máximos aceitáveis. Já o padrão secundário é aquele cuja concentração está abaixo da qual se prevê o mínimo efeito adverso. Sendo que ambos os padrões são corretivos, enquanto apenas o padrão primário é preventivo (VIEIRA, 2009).

Em 15 de junho 1989 o Conselho Nacional de Meio Ambiente publicou a resolução 05 de 1989, intitulada de Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR). Esse programa foi criado visando a melhoria da qualidade do ar, o atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas e tem como estratégia limitar as emissões em âmbito nacional a emissão de poluentes por tipologia da fonte e poluentes prioritários, além de usar os padrões de qualidade do ar como instrumento de controle (CONAMA, 1989).

Em 1990, o CONAMA publicou uma nova resolução, a Resolução CONAMA 03/1990, estabelecendo padrões primários e secundários de qualidade do ar (ALMEIDA, 1999). Essa nova resolução também estabelece os métodos de referências mais indicados para avaliação da qualidade do ar (CONAMA, 1990).

A Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) é o órgão responsável pela proteção ambiental no estado de Minas Gerais. Esse órgão segue os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990, cujos limites podem ser visualizados na Tabela 1.

A Resolução CONAMA 003/90 (1990) também define os Níveis de Qualidade do ar para elaboração de Planos de Emergência para episódios Críticos de Poluição do Ar, no seu artigo 5º. Estes episódios críticos estão dispostos na Tabela 2 e são definidos como a exposição a uma substância por até 24 horas.

Os padrões de qualidade do ar devem ser constantemente avaliados e caso necessário pode ser modificado pelos órgãos responsáveis por essa avaliação. Estudos sobre a caracterização da poluição atmosférica de centros urbanos têm sido desenvolvidos o que resulta em legislações cada vez mais restritivas em diversos países (MAGALHÃES, 2005).

Em dezembro 2006 o CONAMA publicou a Resolução CONAMA 382 que estabeleceu limites máximos de emissão de poluentes por fontes fixas (CONAMA, 2006). Segundo Lima (2007), essa resolução definiu estratégias para o controle, a recuperação e a prevenção da degradação da qualidade do ar através do controle da fonte geradora. Sendo os limites definidos por poluentes e por tipologia da fonte geradora.

Tabela 1 - Padrões nacionais de qualidade do ar e métodos de referência.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de medição
Partículas totais em suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostradores de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Refletância
	MAA (3)	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separador inercial / Filtração
	MAA (3)	60	50	
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas (3)	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
	1 hora (1)	160	160	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
Dióxido de Nitrogênio	1 horas (1)	320	190	Quimioluminescência
	MAA (3)	100	100	

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

(2) Média geométrica anual

(3) Média aritmética anual

Fonte: Adaptado de CONAMA, 1990.

Tabela 2 -. Episódios críticos segundo a Resolução CONAMA 003/90.

Parâmetros	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	375	625	875
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	250	420	500
Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	800	1.600	2.100
Monóxido de carbono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	400	800	1.000
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	1.130	2.260	3.000
SO ₂ x PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	65.000	261.000	393.000

Fonte: Adaptado de CETESB, 2014

Em 2013 a Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo publicou o Decreto nº59.113 que estabelecia os novos padrões de qualidade do ar e dava providências correlatas. Esses novos padrões foram divididos em Metas Intermediárias (MI) e Padrão Final (PF), sendo que as metas intermediárias são valores temporários a serem cumpridos e são compostas de 3 metas, a Meta Intermediária 1 (MI1), que compreende os valores de concentrações que devem ser respeitados a partir da publicação do Decreto, a Meta Intermediária 2 (MI2), que são os valores de concentrações que devem ser respeitados subsequentemente a MI1 e, que entrará em vigor após avaliações reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual competente e a Meta Intermediária 3 (MI3), que são os valores de concentração que entrarão em vigor subsequentemente á MI2, sendo que o seu prazo de duração deve ser definido pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), com base em avaliações realizadas e; por fim o Padrão Final que é o valor de concentração final de poluentes definidos pelo melhor método científico. O padrão

final estabelecido pelo Decreto é o mesmo estabelecido como meta pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

São considerados os seguintes poluentes: MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_2 , O_3 e Pb , no qual o último era o chumbo encontrado no MP e monitorado apenas em locais específicos, ainda trazia valores referentes ao PTS, apesar deste não apresentar mudanças se comparada a Resolução CONAMA 03/90. A Tabela 3 apresenta os valores de concentração definidos para alguns desses poluentes (SÃO PAULO, 2013).

Tabela 3 - Concentração de poluentes definidos pelo Decreto nº 59.113.

	Tempo de amostragem	MI1	MI2	MI3	PF
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	120	100	75	50
	MGA	40	35	30	20
$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	60	50	37	25
	MGA	20	17	15	10
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	---	---	---	240
	MGA	---	---	---	80
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	120	100	75	50
	MAA	40	35	30	20
Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	---	---	---	---	0,5

Fonte: Adaptado de SÃO PAULO, 2013

No estado de São Paulo o Relatório de Qualidade do Ar, realizado no ano de 2010, elaborado pela CETESB relacionou valores de concentração de poluentes atmosféricos com valores relacionados á índices de qualidade do ar, gerando valores adimensionais referentes à uma escala que tem como base os padrões nacionais de qualidade do ar. Esses índices, juntamente com a qualidade do ar e seus efeitos estão relacionados na Tabela 4 (CETESB, 2012).

Tabela 4 - IQA em relação á saúde humana.

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0-50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51-100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2012.

3.1.5 Metais Associados ao Material Particulado

Os metais tem a capacidade de se acumularem no ambiente, pelo fato de não serem degradáveis, o que os diferem dos compostos orgânicos tóxicos (MAGALHÃES, 2010). Metais pesados são aqueles que possuem densidade maior que os demais materiais e são, muitas vezes, transportados de um local para outro através da atmosfera. Segundo Magalhães (2005) esses metais podem ser transportados na forma de gases ou então, absorvidos ou adsorvidos em materiais particulados em suspensão.

Vários estudos foram realizados com o intuito de se estudar a presença de metais nas partículas em suspensão no ar atmosférico. Pereira et al. (2007) estudou a presença de metais em poeiras de diversas frações na atmosfera do ar de Salvador-BA, encontrando

principalmente a presença de ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu), onde esses elementos foram associados às atividades de mineração e tráfego de veículos.

Já Vasconcellos et al. (2007) também analisaram a presença de metais em São Paulo, Araraquara e Piracicaba, sendo encontrando em grande quantidade além dos metais solúveis em água, sódio (Na), potássio (K) e Magnésio (Mg), outros metais como ferro (Fe), alumínio (Al), titânio (Ti), cobre (Cu) e zinco (Zn), nessa respectiva ordem. Esses elementos foram atribuídos à ressuspensão do solo, queima de derivados do petróleo e indústrias metalúrgicas.

Magalhães et al. (2010), encontrou no ar atmosférico de Ouro Preto-MG diversos metais traços, como: alumínio (Al), ferro (Fe), cromo (Cr), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e cobre (Cu), onde apenas o último apresentou concentrações significativas em um dos pontos de amostragem, sendo este relacionado ao impacto causado pelo tráfego no local. Al e Fe foram encontrados em todas as análises, sendo relacionados à ressuspensão do solo, uma vez que o solo local é rico em minério de ferro, além da presença de uma empresa de ferroligas e outra de alumínio. A concentração de Cu foi elevada em apenas 1 dos pontos, que é o ponto mais impactado pela frota veicular, sendo esse apontado como a principal fonte desse elemento.

Lima (2007) analisou os metais presentes no PTS coletado na cidade de Uberlândia-MG e encontrou 12 elementos: alumínio (Al), cobre (Cu), cromo (Cr), cálcio (Ca), ferro (Fe), fósforo (K), manganês (Mn), chumbo (Pb), titânio (Ti), zinco (Zn), fósforo (P) e enxofre (S). As maiores concentrações, em ordem crescente, foram: Al, Ca, Fe, Zn, K e S. Os metais K, Al, Ca e Fe foram associados à ressuspensão do solo e o S foi associado à queima de combustíveis fósseis, que é comum na região.

Sampaio (2012) avaliou os elementos presentes no material particulado em Goiania-GO, sendo encontrados os seguintes metais: alumínio (Al), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), titânio (Ti) e zinco (Zn). Destacaram-se Al e Fe (acima de $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguidos de Ti, Zn, Cu e Mn. As concentrações dos primeiros foram relacionadas à ressuspensão do solo.

Queiroz (2007) estudou a composição mineralógica do material particulado na cidade de Sete Lagoas – MG e percebeu que a calcita estava presente em uma frequência maior que 30%. Além desse componente os elementos mais abundantes fora o alumínio (Al) e ferro (Fe), seguidos de cloro (Cl), cobre (Cu), potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na). O Al e Fe foram associados, principalmente, a elementos traços do solo e a presença de uma indústria siderúrgica no local.

Fontenele (2009) analisou os íons encontrados em água de chuva na cidade de São Paulo, onde foram encontrados 14 elementos, dos quais o amônio (NH_4^+), o nitrato (NO_3^-) e o cálcio (Ca^{2+}) foram os íons predominantes. Entre os metais traços observou-se a predominância de cobre (Cu^{2+}), seguindo de chumbo (Pb^{2+}) e cádmio (Cd^{2+}), sendo que a presença de cobre foi associada à queima de combustíveis fósseis.

Pereira Junior (2014) fez um estudo sobre a caracterização dos sedimentos em sarjetas urbanas na cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais, e teve como resultado a presença dos seguintes metais cromo (Cr), cádmio (Cd), zinco (Zn), níquel (Ni) e cobre (Cu), além de arsênio (As) e estanho (Sn). Sendo que o Pb foi o metal pesado com maior concentração.

A queima de combustíveis fósseis é uma das fontes mais comuns de M.P., gerando partículas que podem estar associadas a espécies químicas com alta toxicidade. Aderidos a superfície dessas partículas podem ser encontrados diversos metais como níquel (Ni), cromo (Cr), chumbo (Pb), cádmio (Cd), ferro (Fe), manganês (Mn), entre outros (CARAVALHO, 2000).

Ainda segundo Pereira Junior (2014) os metais pesados mais comumente relacionados as fontes móveis e estacionárias são o Pb, Cu, Zn, Cd e, algumas vezes, Ni e Cr. Muitas vezes, essas partículas, em especial o Pb podem ser emitidas pelo escapamento de veículos, uma vez que esse elemento é utilizado para melhorar o desempenho dos combustíveis (FONTENELE, 2009).

As frações inaláveis do material particulado muitas vezes contem substâncias tóxicas em altas concentrações, como cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn), chumbo (Pb) e cádmio (Cd), dentre outros (MAGALHÃES, 2005).

3.1.6 Monitoramento Atmosférico nas Cidades

Alguns trabalhos já foram realizados com o intuito de avaliar a poluição atmosférica nas cidades, destacando-se o material particulado que é um dos poluentes mais comuns em centros urbanos (DERISIO, 2012).

Carvalho (2000) estudou a concentração de partículas totais em suspensão nas cidades de Charqueadas e Sapucaia do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, no período de maio de 1997 a maio de 1998. De acordo com os resultados o município a cidade de Sapucaia do Sul apresentou uma concentração de PTS mais elevado, fato que foi atribuído à proximidade do município com a rodovia BR-116. Porém os limites diários estabelecidos como padrão primário pela legislação brasileira ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado 9 vezes em Sapucaia do Sul e

4 vezes em Charqueadas, chegando aos valores máximos de $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Outro estudo foi realizado na cidade de Sete Lagoas em Minas Gerais. Queiroz (2007) realizou amostragens de material particulado no período de 11 de janeiro de 2005 á 14 de fevereiro de 2005, efetuando aproximadamente 30 amostragens, das quais 77% ultrapassaram o padrão primário para amostragens de 24 horas ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$), estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90.

Magalhães (2010), analisou a concentração de partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto –MG no período de 1 ano, utilizando 3 pontos de amostragem, o que resultou em 288 amostragens validas. Dessas amostragens 3 estiveram acima do padrão primário diário ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e 16 estiveram acima do padrão secundário diário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A concentração em longo prazo, ou seja, a média geométrica anual para o padrão secundário ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) não foi ultrapassada em nenhum ponto.

Ainda segundo Magalhães (2010) foi observado que as maiores concentrações foram obtidas nos meses de junho à agosto, que caracteriza o período do inverno, o período de maior estiagem, o que foi comprovado que a concentração de PTS possui variação sazonal, já que as precipitações tiveram influencia direta nos valores encontrados.

Já Martinis (1997) analisou a concentração da fração inalável grossa, PM_{10} na cidade de São Paulo- SP. Foi encontrada a concentração média de $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que esse valor variou de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ até $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para esse poluente a Resolução CONAMA 03/90 apresenta como padrão primário e secundário diário o valor de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que não foi ultrapassado em nenhum dos dias amostrados, já a média aritmética anual é de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o padrão primário e de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o padrão secundário, neste caso do padrão foram excedidos.

De acordo com Martinis (1997), as concentrações mais altas foram coletadas durante os dias úteis da semana, o que indicou que o trafego veicular é a principal fonte no local. Além disso, as amostragens próximas a períodos onde ocorreram chuvas foram menores que nos demais dias.

Lima (2007) estudou as concentrações de partículas totais em suspensão na cidade de Uberlândia - MG. As coletas foram realizadas no período de 2003 á 2006, totalizando 5 pontos de amostragens. Para o PTS o padrão anual secundário ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado em todos os períodos de estudo enquanto o padrão primário anual ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado nos anos de 2003 e 2004. Foi observado que as maiores concentrações foram obtidas no período do inverno para todos os anos.

Ainda para a análise de PTS o padrão secundário diário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado 4 vezes em 2003, 2 vezes em 2004 e 4 vezes em 2005 e 2006. Tais elevações da concentração ocorreram nos períodos mais secos que coincidem com o aumento das queimadas. No ano de 2004 o padrão primário estabelecido pela legislação de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi ultrapassado atingindo o valor de $514 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porém a maioria dos resultados ficaram dentro dos limites padrões na faixa entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (LIMA, 2007)

Sampaio (2012) realizou os estudos de concentração de M.P. na cidade de Goiânia-GO, sendo a coleta realizada no período do inverno e totalizando 22 amostras validas. A concentração média encontrada foi de $111,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ultrapassando o padrão primário a longo prazo (MGA) estabelecido de Resolução. As concentrações diárias variaram de $54,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ á $188,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, onde 3 dias ultrapassaram o padrão secundário estabelecido para curto prazo.

Em 2013 a FEAM publicou um relatório técnico do monitoramento da qualidade de ar na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) tendo como ano base 2011. A RMBH possui 33 municípios e o monitoramento ocorreu em 9 estações. Foi aferida a concentração de PM_{10} em todas as estações tendo como resultado que 7 ultrapassaram o padrão primário diário estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90 ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Todas essas ultrapassagens foram observadas na região de Betim, sendo que 5 ocorreram no mês de setembro que é o mês onde as precipitações pluviométricas são mais escassas. Além disso, pode-se perceber que em todas as estações a concentração teve uma elevação a partir do mês de julho (FEAM, 2013).

Em 2013 a CETESB lançou um relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo para o ano de 2012. Nesse relatório foi estudada a concentração da fração inalável grossa do material particulado (PM_{10}) através de monitoramento em 88 redes distribuídas pelo estado. Os resultados encontrados foram: (CETESB, 2013)

- a) Na região metropolitana não houveram ultrapassagens do padrão secundário diário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nem do padrão secundário a longo prazo ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sendo a média aritmética anual mais elevada na cidade de Osasco, cuja concentração foi de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na RMSP, onde as emissões veiculares são as principais fontes de poluição do ar percebeu-se uma pequena melhora, já que no relatório apresentado para o ano de 2010 o padrão secundário diário foi ultrapassado em 6 ocasiões.
- b) Em Cubatão as maiores concentrações foram observadas na estação Cubatão - Vale Do Mogi, que atingiu nível de atenção ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$), chegando ao valor de $281 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na estação Cubatão - Vila Parisi ocorrerão 27 ultrapassagens do padrão secundário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), porém sem atingir os níveis de atenção. Na estação Santos – Ponta da

Praia a concentração superou em 5 amostragens desse padrão, mas também sem atingir o nível de atenção.

- c) Dos demais pontos de monitoramento, apenas a estação de Santa Gertrudes – Jardim Luciana foi a que ultrapassou o padrão a longo prazo de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo como média a concentração de $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.1.7 Efeitos do Material Particulado na saúde pública

Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana pode se dar em escala local, regional e em alguns casos até global, sendo o material particulado um dos principais causadores de danos (ALMEIDA, 1990).

O material particulado pode ocasionar desde desconforto respiratório até a morte, podendo causar irritação nos olhos e nas vias respiratórias, enrijecimento pulmonar, aumento de infecções virais, doenças cardiovasculares, cansaço físico, agravamento crônico de doenças do aparelho respiratório como asma, bronquite e enfisema, além de danos ao sistema nervoso central e até câncer (PHILIPPI PEREIRA JÚNIOR; MALHEIROS, 2005).

Quando o poluente penetra no organismo ele pode atingir o pulmão, os brônquios, os alvéolos, ou ainda atingir a corrente sanguínea e chegar ao sistema nervoso central, fígado e medula óssea causando efeitos adversos e até tóxicos. A figura 1 mostra diferentes locais de deposição do MP no pulmão (BRANCO; MURGEL, 2004).

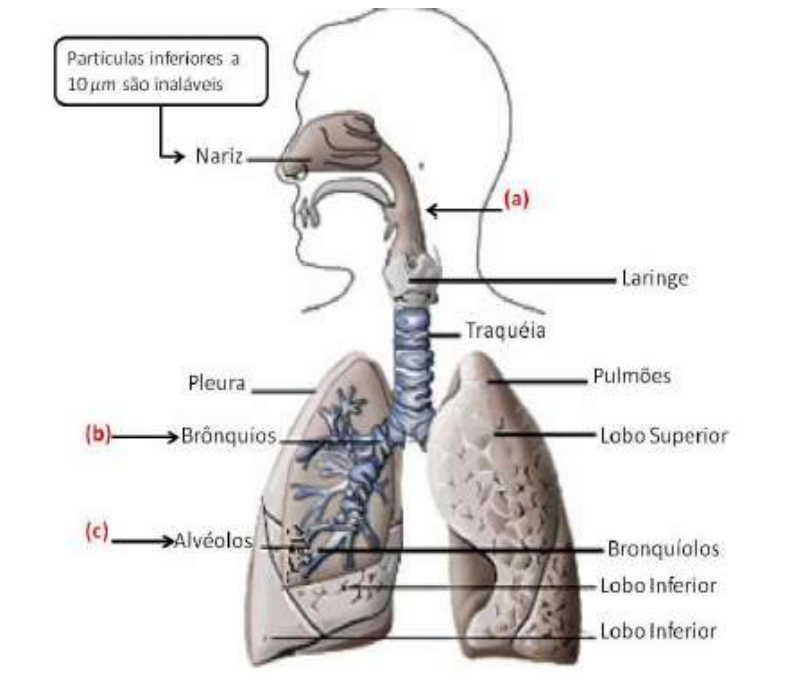


Figura 1 - Locais de deposição do MP no pulmão de acordo com seu tamanho.

Fonte: MARQUES; SANTOS, 2012

3.2 Meteorologia e sua Influência Sobre a Poluição Atmosférica

A meteorologia estuda os fenômenos que ocorrem na atmosfera e está relacionado às interações entre os processos físicos, químicos e dinâmicos que ocorrem entre essa e a superfície da Terra (INMET, 2005). A poluição atmosférica é diretamente afetada pelas condições meteorológicas, destacando-se a influência sobre o transporte e a dispersão dos poluentes sofrem influência significativa (CARVALHO et al. , 2000).

Em uma determinada região a emissão pode ser constante durante todo o ano, mas as condições do tempo podem modificar a qualidade do ar, alterando a concentração do material particulado presente na atmosfera (LIMA, 2007). Em períodos chuvosos a concentração de poluição tende a ser menor que em períodos secos, devido ao fato de que, pois segundo Almeida (1999) a chuva é um importante agente de depuração da atmosfera. Em períodos secos, a ressuspensão tem grande influência na concentração de materiais particulados, influência esta que é minimizada durante períodos chuvosos (CARVALHO, et al. , 2000).

O MP é também influenciado pela direção e velocidade do vento. A direção do vento determina a direção que o material particulado vai se dispersar, enquanto a velocidade

determina a distância que essas partículas podem percorrer e, além de influenciar no grau de diluição da pluma de poluição (LIMA, 2007).

As condições meteorológicas podem ainda interferir diretamente nas possíveis reações químicas entre poluentes, uma vez que este pode sofrer reações com a água proveniente da chuva ou outros elementos naturais da atmosfera (VIEIRA, 2009).

3.3 Análise Química de Material Particulado

A determinação da concentração de elementos químicos pode ser realizada por diferentes métodos. Algumas das técnicas empregadas são Espectrômetro de Emissão Atômica por Plasma de Acoplamento Induzido, Espectroscopia em Infravermelho, Microscopia Eletrônica por Varredura, Espectroscopia Fotoeletrônica De Raios X, Difração por Raio X e Fluorescência de Raios X.

O Espectrômetro de Emissão Atômica por Plasma de Acoplamento Induzido (ICP-AES) é um método de análise capaz de determinar a concentração de elementos em diferentes quantidades e diferentes amostras (ALMEIDA, 1999). Nesse equipamento as amostras são introduzidas através de um plasma de argônio por uma fonte de radiofrequência, permitindo a determinação simultânea da concentração de vários elementos (CARVALHO, 2000).

A Espectroscopia no infravermelho (IRS) pode ser utilizada para um vasto número de análises. Através dele é possível conhecer as estruturas atômicas dos materiais e descobrir os elementos e substâncias presentes na amostra e suas concentrações. Essa técnica produz espectros através de um feixe de luz na região do infravermelho que incide sobre o material e determinando as frequências absorvidas ou transmitidas, é possível medir diretamente o quanto cada elemento absorve (ou transmite) da radiação (LEITE, 2012).

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é um método capaz de produzir imagens de alta resolução e ampliação. Seu princípio de funcionamento consiste na emissão de feixes de elétron por filamento de tungstênio (ou outras fontes), mediante a aplicação de um diferencial de potencial (SANTIAGO, 2013). Ele possibilita a caracterização química e morfológica das partículas individualmente (LOPES, 2003).

A Espectroscopia Fotoeletrônica De Raios X (XPS) é um método de caracterização química que, segundo Silva Filho (2006), fornece especialmente a análise elementar da superfície da amostra e o estado de oxidação dos elementos. Ele utiliza um feixe de raios x, que provoca a ejeção dos elétrons das camadas dos átomos da amostra, sendo a energia fotoelétrica característica para cada elemento. Como a energia dos elétrons é muito baixa e

somente os elétrons das primeiras acamadas podem ser detectados, dessa forma é essencial executar a análise em ambiente á vácuo (ALVES, 2005).

O método de Difração de Raios x (DRX) é uma das técnicas mais utilizadas para análise das fases cristalinas presentes nos materiais. Essa técnica tem como vantagem a simplicidade, rapidez e confiabilidade, além de possibilitar a análise de materiais compostos em uma mistura de fases (ALBERS et. al., 2002). De acordo Antoniassi (2010) o DRX representa o fenômeno da interação entre um feixe de raios x e os elétrons dos átomos, sendo detectados os fótons que são difratados.

Para o presente trabalho foi escolhida a técnica de Fluorescência de Raios X. Este método foi escolhido pelo fato de eliminar a necessidade de ataques químicos a amostra. Segundo Queiroz (2007) o método tem como vantagem o fato de poder ser realizado em uma pequena fração da amostra, assim como a precisão, exatidão e sensibilidade na detecção da concentração dos elementos, podendo ser encontrados concentrações na ordem de parte por bilhão (ppb) até porcentagens do elemento na amostra, além de permitir a avaliação de concentração de diferentes elementos de modo simultâneo (ITO, 1999).

Ainda de acordo com Ito (1999) o FRX se baseia na medida do comprimento de onda ou nas energias e intensidade do raio x característico emitidos pelos elementos que estão presentes na amostra. Como ilustrada na Figura 2.

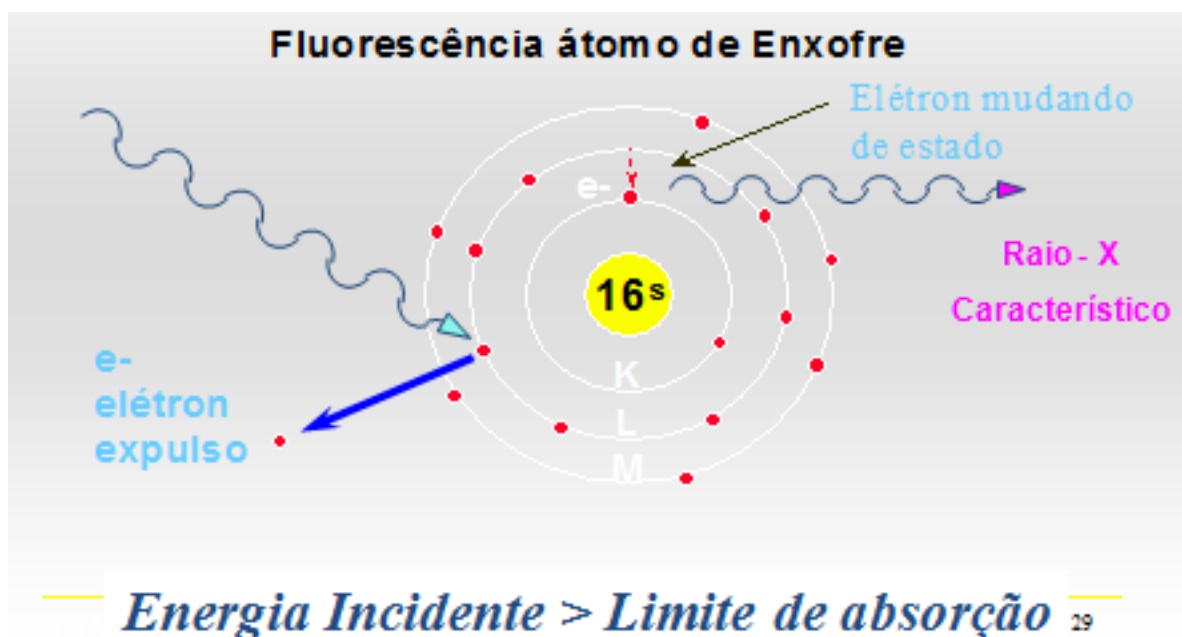


Figura 2 - Esquema de FRX

Fonte: ELFUSA, 2015

O método da Fluorescência de Raio-X consiste em irradiar a amostra obtendo o comprimento de onda ou energia emitida por cada componente, isto é, segundo Almeida (1999) a técnica consiste basicamente na excitação da amostra com raio-x e análise da fluorescência característica obtida.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

O município de Poços de Caldas está situado ao sul do estado de Minas Gerais, fazendo divisa com o estado de São Paulo, como pode ser observado na Figura 3. A cidade está inserida na região sul do estado onde é o polo de maior expressividade socioeconômico. Ocupa uma área territorial urbana de 544 km², a 1186 metros de altitude média, possuindo pontos com altitude superior á 1500 metros, segundo Tiritam et al (2014) . Poços de Caldas tem como limite oito municípios: Botelhos, Bandeira do Sul, Caldas, Andradas, Águas da Prata, São Sebastião da Gramma, Caconde e Divinolândia, onde as últimas quatro cidades fazem parte do estado de São Paulo (SOUZA, 2012).

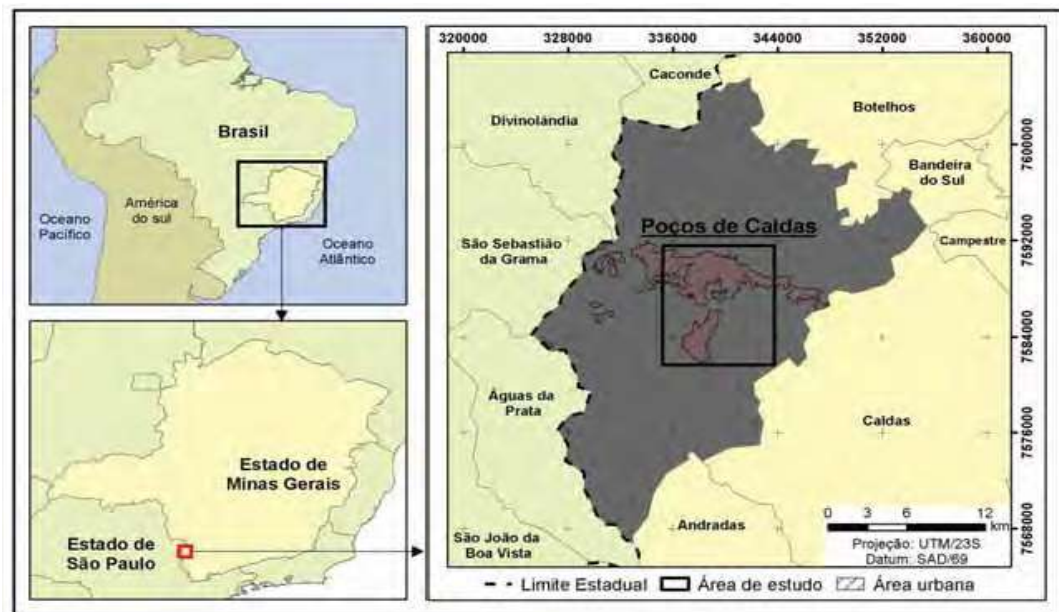


Figura 3 - Localização da cidade de Poços de Caldas

Fonte: TINÓS, 2011

Poços de Caldas possui localização estratégica, pois se encontra entre as grandes cidades dos estados de Minas Gerais e São Paulo, como Belo Horizonte (460 km), Pouso Alegre (102 km), São Paulo (250 km), Campinas (160 km) e Ribeirão Preto (200 km), estando a distâncias privilegiadas da capital destes dois estados e suas cidades satélites (OLIVEIRA, 2012).

Serão apresentadas a seguir algumas características geológicas e ambientais do município, bem como atividades econômicas em destaque e frota veicular.

4.1.1 *Clima, Relevo, Vegetação e Hidrografia*

O clima local é tipicamente subtropical, caracterizado como sendo tropical úmido, com verões amenos e invernos frios. A temperatura média é de 7,4 °C no inverno e 24°C no verão, sendo a temperatura média anual de 17,6 °C (NAPPO et al., 2000). O índice pluviométrico anual é de 1695 mm, sendo aproximadamente 53% do ano com chuva, resultando numa média próxima de 190 dias chuvosos, com ventos em torno de 10 a 15 km/h e umidade relativa do ar de 78% (TINÓS, 2011).

A cidade possui bioma de Mata Atlântica de alta altitude, tendo como vegetação natural campo e floresta tropical (SOUZA, 2012). Ocupa um sítio urbano conformado pela intrusão magmática alcalina e situado em um planalto levemente ondulado, onde o solo é caracterizado principalmente pela presença de argila e possuindo, segundo Doranti et al. (2008), um dos maiores corpos alcalinos do mundo com pequenas ocorrências de arenitos.

Ainda segundo Nappo et al (2000), os solos da região são constituídos de associações predominantes de Latossolos vermelho-amarelos e vermelho-escuros distróficos, Podzólicos vermelho-amarelos e Cambissolos álicos e distróficos.

Para Moreira (2004) o solo se destaca pela presença de bauxita que, segundo este é resultante de um processo de decomposição de rochas alcalinas, onde os álcalis e a sílica também são liberados da rocha-mãe. A bauxita encontrada em Poços de Caldas é composta por um alto teor de alumínio e pequena concentração de titânio e ferro (MONIZ, 1964).

Poços de Caldas faz parte da bacia hidrográfica do Rio Grande, sendo localizada na sub-bacia do Rio Pardo e tem como principal afluente na região o Rio Lambari, formado pela junção do Ribeirão das Antas e do Ribeirão de Poços (SOUZA, 2012). Segundo Tinós (2011) ainda destacam-se o Córrego do Cipó, Ribeirão de Caldas, Ribeirão da Serra, Córrego do Chiqueirão, Córrego do Vai-e-Volta e o Córrego das Vargens, além da Represa do Bortolan e da Represa Saturnino de Brito.

A paisagem urbana é influenciada pela Serra de São Domingos, também conhecida como Mata do Cristo, localizada as margens da cidade (SOUZA, 2012). O local possui uma área de 271 hectares e altitude que varia de 1.200 metros a 1.575 metros (COSTA et al., 2011).

4.1.2 *População, Atividade Industrial, Economia e Turismo*

O IBGE realizou uma estimativa populacional para 2014, onde a cidade de Poços de Caldas teria em torno de 162 mil habitantes, sendo o crescimento populacional anual em torno de 2,66% ao ano, desde 1991, como mostra a Figura 4 (IBGE, 2014).

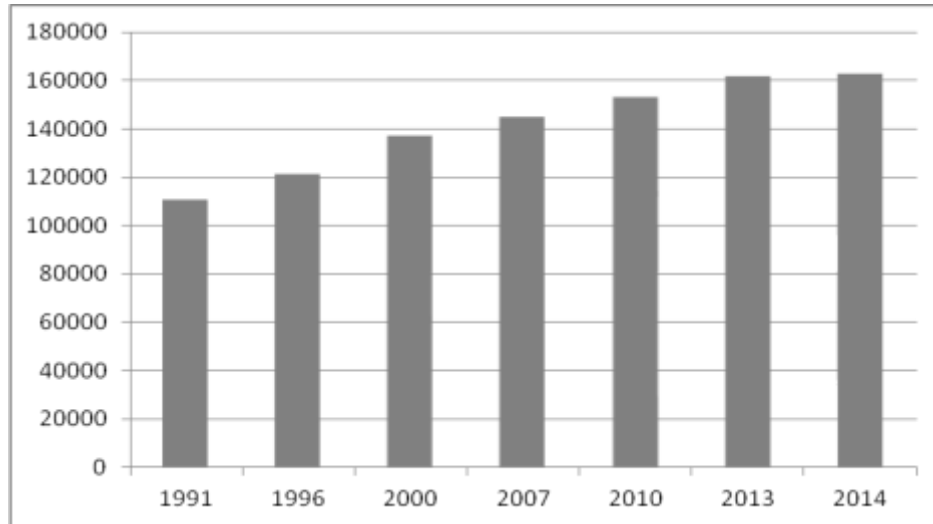


Figura 4 - Crescimento Populacional de Poços de Caldas-MG

Fonte: Adaptado IBGE, 2014

A arrecadação do município ocupa o 8º lugar dentro do estado. A economia local é dividida da seguinte forma: 1,3% é ocupado pelo setor primário, que é o setor ligado a atividades de produção através de recursos naturais como agricultura e pesca, 28,8% é ocupado pelo secundário, que é o setor ligado á indústria e 69,9% é ocupado pelo setor terciário, que se refere ao setor de comércio e prestação de serviços (IBGE, 2012).

As principais empresas instaladas na cidade são: ALCOA, Ferrero do Brasil, Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), Mitsui Fertilizantes, Mineração Curimbaba, Togni S/A Materiais Refreatários, Sanitez, Cristais São Marcos, Yorin Fertilizantes, Danone, entre outras (OLIVEIRA, 2012).

As características topográficas, climáticas e os recursos naturais estão diretamente ligados ao potencial turístico da região, destacando-se o clima de altitude, as quedas d'águas - como o Véus das Noivas, a Cascata da Antas e a Fonte dos Amores - e, ainda, as fontes de águas hidrotermais (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Crestani (2007) a rede hoteleira do município é bastante densa possuindo 42 hotéis, pousadas e resorts, o que representa aproximadamente 5.000 leitos.

4.1.3 *Frota Veicular do Município*

O Departamento Nacional de Transito (DENATRAN) realizou um estudo em conjunto com Ministério das Cidades e o Sistema Nacional de Estatísticas de Trânsito (SINET) acerca da frota veicular dos municípios brasileiros. Esse levantamento foi feito no mês de dezembro de 2013 e indicou que a cidade de Poços de Caldas contava com uma frota de veicular de 92046 veículos, sendo 59930 automóveis, 3721 caminhões e 456 ônibus, com uma média de 1 veículo para cada 1,75 habitantes, sendo de 1 carro para cada 2,7 pessoas (DENATRAN, 2013).

Sendo que a frota teve um crescimento de aproximadamente 84 % entre os anos de 2004 e 2013. A Tabela 5 traz o histórico da frota nos últimos 10 anos, enquanto a Figura 5 traz o comparativo da quantidade total de veículos com a quantidade de veículos leves (VL), representados por carros e motos e veículos pesados (VP), representados por caminhões e ônibus. (DENATRAN, 2015)

Tabela 5 - Histórico da Frota veicular de Poços de Caldas nos últimos 10 anos

Ano	Frota Total	Automóveis	Caminhões	Ônibus
2004	50 026	34 392	2 845	292
2005	52 385	35 734	2 974	318
2006	55 396	37 637	2 990	324
2007	59 988	40 370	3 022	345
2008	65 080	43 296	3 204	389
2009	70 188	46 257	3 340	392
2010	76 059	49 763	3 363	403
2011	81 942	53 200	3 563	411
2012	87 273	56 687	3 695	430
2013	92 046	59 930	3 721	456

Fonte: Adaptado de DENATRAN, 2015.

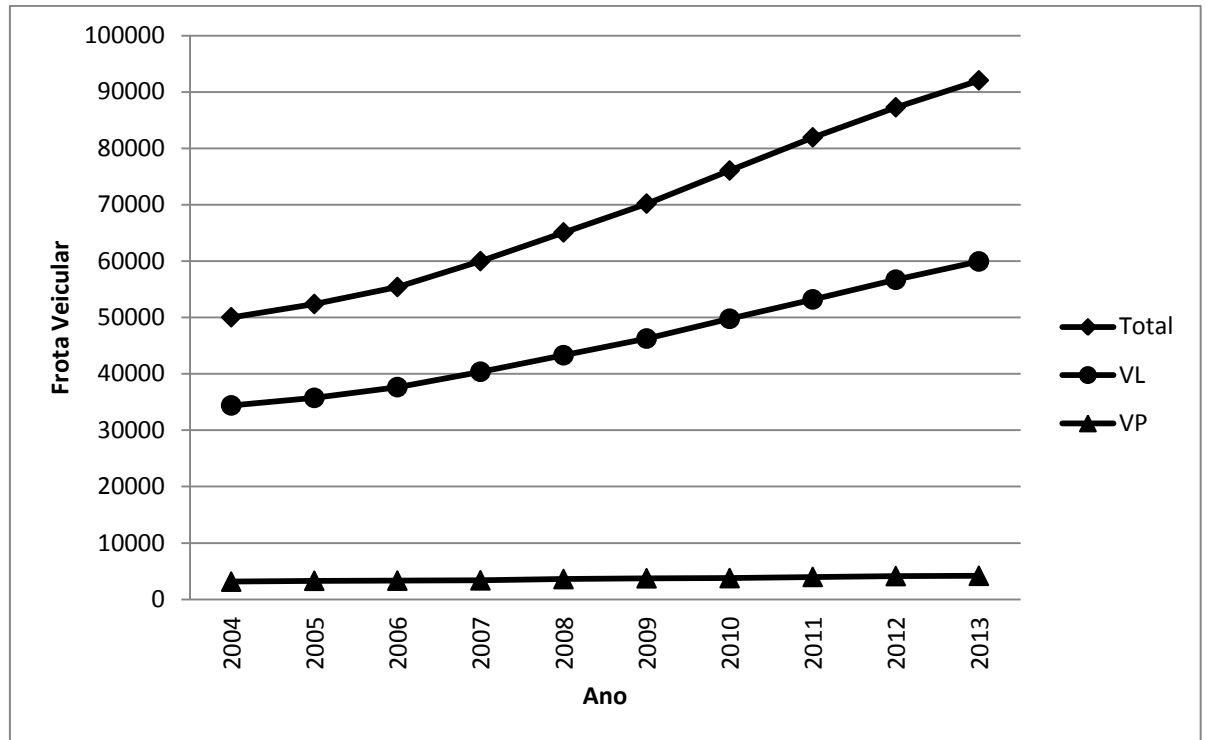


Figura 5 – Gráfico comparativo da quantidade total da frota veicular, VL e VP.

Fonte: Adaptado de DENATRAN, 2015

4.2 Pontos de Monitoramento

O monitoramento foi realizado escolhendo-se 11 pontos na região urbana da cidade de Poços de Caldas para a amostragem. Os pontos foram escolhidos de forma a abranger a área urbana, observando os critérios de uso e ocupação do solo. Selecionaram-se locais com intenso fluxo de veículos e pessoas, bairros residenciais e locais onde se praticam atividades físicas. A Figura 6 apresenta a localização dos pontos de monitoramento na cidade de Poços de Caldas.

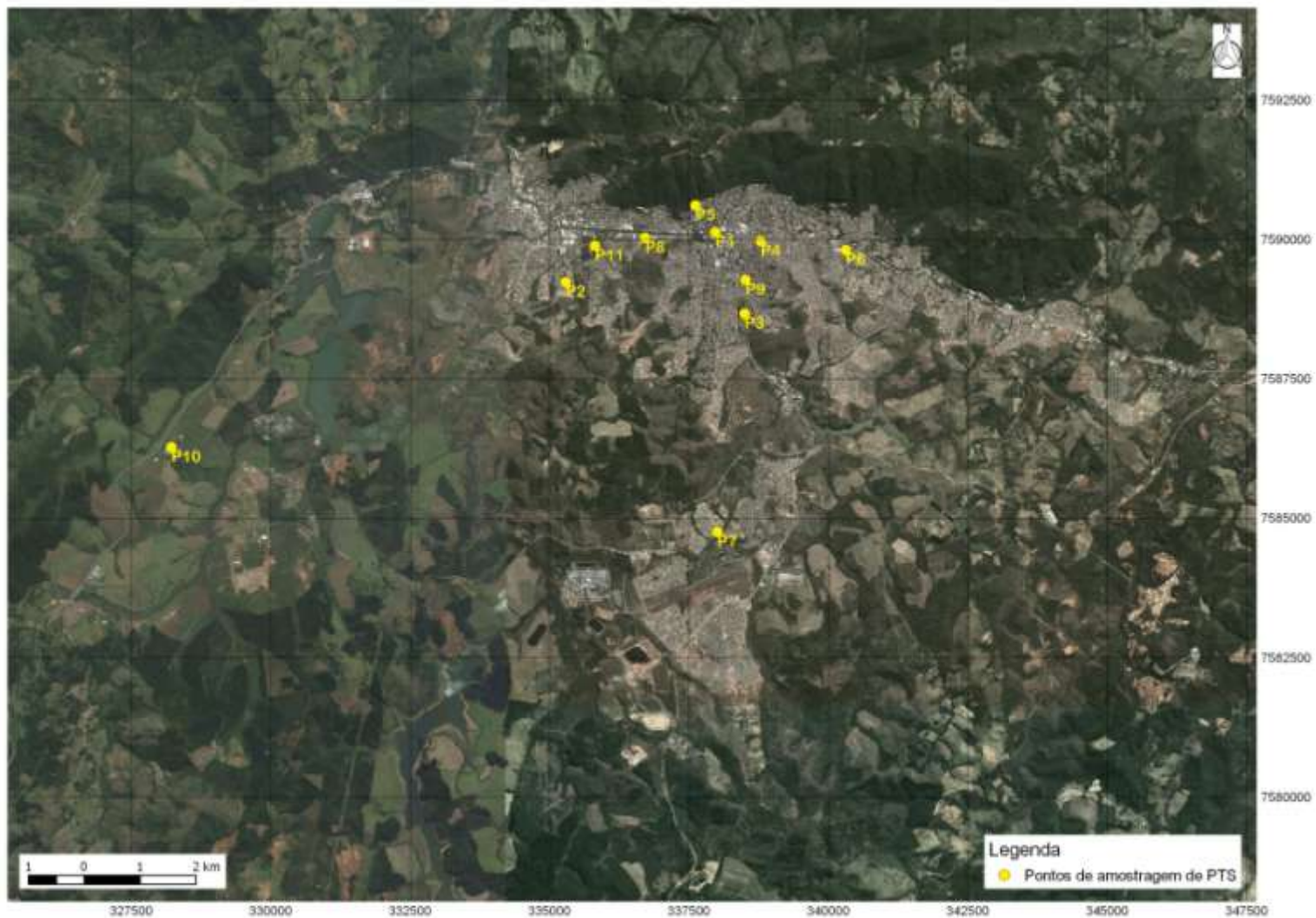


Figura 6 - Identificação dos pontos de amostragens na cidade de Poços de Caldas – MG.

Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH,2015, imageamento de 05/12/2014

Desse modo os pontos selecionados foram:

a) Ponto 1(P1) – Prefeitura Municipal de Poços de Caldas

O primeiro ponto de monitoramento foi a Prefeitura Municipal, localizada na Avenida Francisco Salles, 1155. O local de amostragem foi escolhido levando em consideração o fluxo de pessoas e veículos, além da intensa atividade comercial. A prefeitura está localizada no centro urbano de Poços de Caldas e junto a um dos cruzamentos mais movimentados da cidade, entre a Avenida Francisco Salles e as ruas Marechal Deodoro e Minas Gerais. O local pode ser observado na Figura 7.



Figura 7 - Vista superior da Prefeitura Municipal de Poços de Caldas

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH (2015), imageamento de 05/12/2014

b) Ponto 2 (P2) – Condomínio Residencial Postal do Sol

O segundo ponto de monitoramento está localizado em área residencial no bairro Jardim Country Club: condomínio Residencial Portal do Sol, rua Assunta Veronese Bernardo,

220. O local foi escolhido de forma a representar áreas com pouco fluxo de veículos e pessoas. O local pode ser observado na Figura 8.



Figura 8 - Vista superior da residência do professor Marcos

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

c) Ponto 3 (P3) - Posto Floresta

O terceiro ponto é o Posto Floresta que fica localizado na Av. Vereador Edmundo Cardillo, 56, Parque Vivaldi Leite Ribeiro, ao lado do Hotel Floresta. O ponto foi escolhido por ser uma avenida movimentada que dá acesso á alguns bairros e indústrias da cidade, como a ALCOA, tendo, portanto um grande fluxo de veículos. O local pode ser observado na Figura 9.



Figura 9 - Vista superior do posto Floresta

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

d) Ponto 4 (P4)- Posto do Toninho 1

O quarto ponto é o Posto do Toninho, localizado na Av. Marechal Deodoro, 519, esquina com a Av. Francisco Salles. O ponto foi escolhido por representar uma avenida com fluxo constante de veículos e pessoas. O local pode ser observado na Figura 10.



Figura 10 - Vista superior do posto do Toninho 1

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

e) Ponto 5 (P5) – Águas Poços de Caldas

O quinto ponto é a empresa municipal Águas Poços de Caldas, localizada rua Piauí, 02, em frente ao ponto turístico Fonte dos Amores. O ponto escolhido, apesar de estar localizado no centro, representa uma área tipicamente residencial que fica próximo à Serra de São Domingos. O local pode ser observado pela Figura 11.

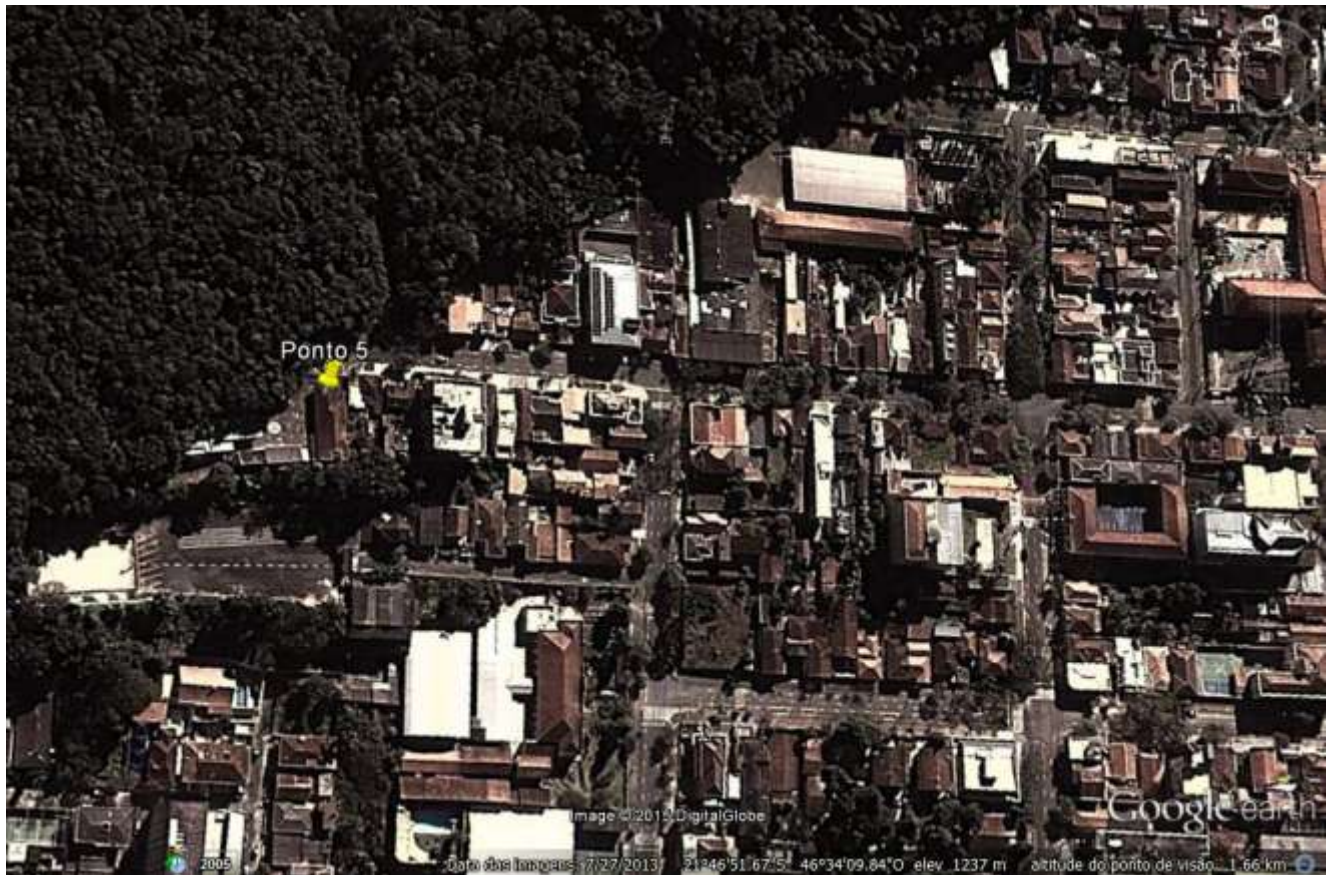


Figura 11 - Vista superior do posto da empresa Águas Poços de Caldas

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

f) Ponto 6 (P6)- Creche

O sexto ponto fica localizado no Centro Educacional Infantil Municipal Maria do Rosário Bastos, na rua Coronel Virgílio Silva. O ponto apresenta um grande fluxo de veículos e pessoas, pelo fato de possuir um ponto de ônibus em frente ao local e estar localizado do lado do antigo Instituto Federal do Sul de Minas (IF Sul de Minas). O local pode ser observado na Figura 12.



Figura 12 - Vista superior da CEI Maria do Rosário Bastos

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

g) Ponto 7 (P7)- Bairro Santa Teresa

O sétimo ponto fica localizado na residência da senhora Alessandra Oliveira Gomes da Silva, localizado no bairro Santa Tereza, rua Nilza Maria Botelho Megali, n° 499. O ponto representa uma área residencial, a aproximadamente 2,16 quilômetros (km) da empresa ALCOA (Aluminium Company of America). O local pode ser observado na Figura 13.



Figura 13 - Vista superior da residência da Sr. Alessandra

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

h) Ponto 8 (P8)- SulBat

O oitavo ponto é a empresa SulBat, localizado na Av. João Pinheiro, 753. O ponto foi escolhido devido ao grande fluxo de veículos e pessoas que passam por esta avenida possui. Além disso, muitas pessoas utilizam a avenida para a prática de exercícios físicos podendo estar expostas a poluição atmosférica oriundo dos veículos que trafegam nesta via. O local pode ser observado na Figura 14.



Figura 14 - Vista superior da empresa Sulbat

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

i) Ponto 9 (P9)- Posto do Toninho 2

O nono ponto é o Posto do Toninho, localizado na Av. Santo Antônio, 540. O ponto foi escolhido devido ao grande fluxo de veículos e pessoas que passam por esta avenida possui. O local pode ser observado na Figura 15.



Figura 15 - Vista superior do posto do Toninho 2

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

j) Ponto 10 (P10)– UNIFAL – *campus* Avançado de Poços de Caldas, MG

O décimo ponto fica localizado na Rodovia José Aurélio Vilela, n. 11999, Poços de Caldas, MG. O local, apesar de ser mais afastado do centro urbano, possui um grande fluxo de pessoas. O local pode ser observado na Figura 16.



Figura 16 - Vista superior da UNIFAL

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

k) Ponto 11 (P11)- Parque Municipal Antônio Molinari

O décimo primeiro ponto fica localizado entre a avenida João Pinheiro e a rua Senador Salgado Filho, Jardim Country Club. Localizado próximo ao ponto 8 (aproximadamente 700 metros de distância). O local, apesar de possuir duas vias com intenso fluxo de veículos e pessoas, fica em uma área arborizada onde pessoas praticam de exercícios físicos. O local pode ser observado na Figura 17.



Figura 17 - Vista superior do Parque Municipal Antônio Molinari

Fonte: Adaptado do GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

4.3 Equipamento de Monitoramento

Para a amostragem foi utilizado um Amostrador de Grande Volume para Partículas Totais em Suspensão (AGV-PTS), que é o equipamento mais indicado para o monitoramento da qualidade do ar, uma vez que é portátil, de fácil manutenção e fornece boa precisão no resultado da amostragem, sendo por esses motivos o equipamento recomendado pela Resolução CONAMA 003/90. O esquema do equipamento pode ser visualizado pela Figura 18 (CONAMA, 1990).

Os dados técnicos do amostrador de grandes volumes para amostragem de partículas totais em suspensão se encontram na Tabela 5.

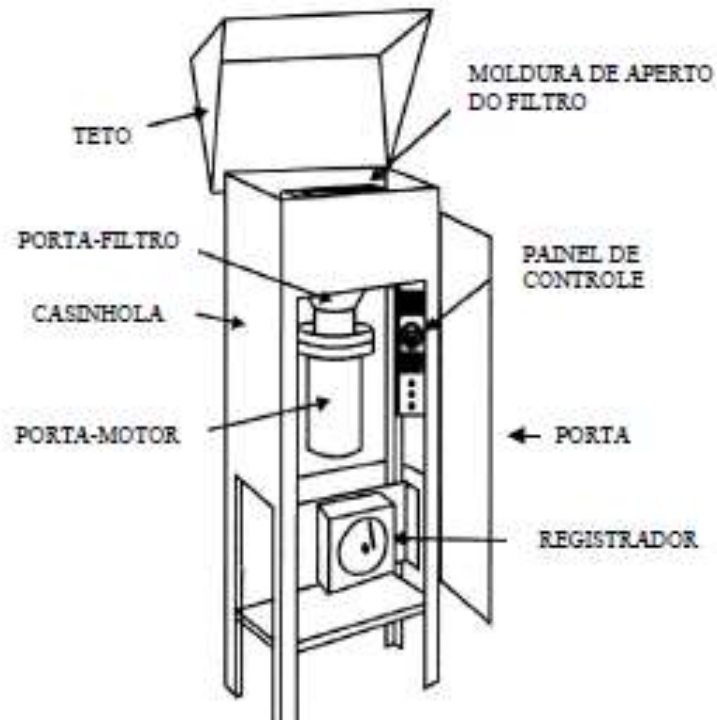


Figura 18 - Amostrador (AGV) PTS.

Fonte: ENERGÉTICA, 2014

Tabela 6 - Dados técnicos do AGV/PTS

DADOS TÉCNICOS	
Faixa de vazão	1,1 m ³ /min. a 1,7 m ³ /min.
Motoaspirador	Dois estágios, refrigeração direta, 120 ou 220 V
Faixa de consumo	760-841 W (120V) ou 778-848 W (220V)
Faixa amperagem	6,7-7,4 A (120 V) ou 3,6-3,9 A (220 V)
Faixa rotação	17.700-18.700 rpm (120 V) ou 18.736-18.800 rpm (220 V)
Porta-filtro	Para filtros de 203 mm x 254 mm
Registrador de eventos	Transdutor de pressão, giro 24 h, carta circular de 102 mm
Programador	Digital, com programação semanal de tempo
Horâmetro	Eletromecânico
Dimensões	136 cm (altura); 47 cm; 47 cm
Peso	30 Kg
Referência	AGVPTS1 (110V) e AGVPTS2 (220V)

Fonte: Adaptado de ENERGÉTICA (2014)

Os amostradores são formados basicamente por motor aspirador de ar, porta filtro, indicador de vazão, regulador de tensão, programador de tempo (timer) e horâmetro, Para o

monitoramento é necessário, inicialmente, realizar a calibração do AGV-PTS, utilizando um kit de calibração (ENERGÉTICA, 2014).

Esse calibrador padrão de vazão (CPV) contém um manômetro de tubo em U, um copo com um orifício, 5 placas de resistência com diferentes número de furos 5, 7, 10, 13 e 18 respectivamente, uma mangueira flexível para ligação do copo ao manômetro e placa adaptadora utilizada para instalação no amostradores (ENERGÉTICA, 2014).

4.4 Método de Amostragem

Para o presente trabalho foram utilizados os métodos de amostragem indicados pela Norma ABNT NBR 9547:1997 e pelo Manual Técnico do equipamento (ENERGÉTICA, 2014).

Antes da amostragem foi necessário realizar a calibração do equipamento. Para tanto é necessário preenchimento da Planilha de Calibração, contendo a indicação do ponto de amostragem, os dados do equipamento, os dados ambientais (temperatura e pressão) e as medições da calibração (diferencial de pressão e deflexão). Essa planilha está disponível no anexo A. Essa calibração é responsável por gerar os dados correspondentes á correlação entre a vazão de ar que passa pelo equipamento durante o monitoramento e os valores marcados no registrador gráfico.

A calibração foi realizada acoplado-se ao amostrador um manômetro e uma unidade (copo) e 5 placas com diferentes quantidade de furos, como pode ser observado na Figura 19. Uma carta gráfica é colocada no indicador de vazão, a primeira placa com 18 furos é inserida e, então o equipamento é ligado durante aproximadamente 1 minuto. A carta gráfica é levemente girada a fim de registrar claramente a deflexão. Através desse procedimento é possível obter valores de deflexão e a correspondente pressão na saída do amostrador. O manômetro de tubo em U gera dois valores de perda de carga, um indicado para cima e outro indicado para baixo. Depois a placa é trocada para outra com 13 furos e o mesmo procedimento é repetido. Isto é feito também para as placas de 10, 7 e 5 furos, sempre anotando os valores de pressão e deflexão (ABNT, 1997).



Figura 19 - Calibrados padrão com copo e placas de diferentes unidades de furos.

Fonte: ALMEIDA, 1999

Depois da calibração deu-se início ao monitoramento, no qual a amostragem de PTS foi feita com o equipamento em funcionando ininterrupto durante 24 horas.

Para a amostragem foram utilizados filtros de fibra de vidro com eficiência mínima de coleta de 99% para o PTS. Os filtros foram secos em dessecador contendo sílica gel por 48 horas e, em seguida pesados em balança analítica antes das amostragens para se obter a massa inicial do filtro limpo. Todos os filtros foram identificados para posterior análise química. Em seguida os filtros foram colocados na parte superior do Hi-Vol (AVG-PTS) equipamento para dar início à amostragem. Dessa forma quando o ar é succionado pelo equipamento as partículas em suspensão são retidas no filtro (ABNT, 1977).

Após a amostragem, o filtro foi novamente colocado em dessecador contendo sílica gel por 48 horas a fim de remover a umidade do material particulado e novamente pesado em balança analítica para obtenção da massa do filtro sujo.

O volume de ar amostrado foi determinado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem. Em seguida foi calculada a quantidade de material particulado (PTS) que foi expressa em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. A relação para obtenção da concentração de MP consiste na razão entre a massa de PTS coletada e o volume de ar que passou pelo equipamento corrigido para as condições padrão (ALMEIDA, 1999).

4.5 Cálculo da Vazão de Ar Amostrada

Com os dados de pressão e deflexão obtidos na calibração foi feita a curva de calibração do equipamento. Essa curva possibilita determinar a vazão de ar que passou pelo filtro. Para a construção da curva é preciso calcular os valores de x e y, sendo os valores de x dados pela Equação (1) (ABNT, 1997).

$$(x) = \sqrt{D * \frac{T_p}{P_p} * \frac{P}{T}} \quad (1)$$

Em que, T_p é a temperatura nas condições normais, isto é 298 K (25°C), P_p é a pressão nas condições normais, 760 mmHg (1 atm), D é a deflexão da carta gráfica, T é a temperatura medida no local, em K e P é a pressão medida no local em mmHg.

Para o cálculo do y é utilizada a Equação (2), em que Q_p é vazão de ar que passa pelo equipamento durante a calibração (ABNT, 1997).

$$(y) = Q_p = \frac{1}{a_1} * \left(\sqrt{dH * \frac{P}{P_p} * \frac{T_p}{T}} - b_1 \right) \quad (2)$$

Onde, T_p é a temperatura nas condições normais em K, P_p é a pressão nas condições normais, em mmHg, dH são as perdas de cargas obtidas para cada placa durante a calibração, T é a temperatura medida no local, em K e P é pressão medida no local, em mmHg e a_1 e b_1 são valores dados no laudo de calibração do calibrador. Neste caso, os valores dados são respectivamente 2,877 e 0,031 para as duas primeiras amostragens e 2,818 e -0,044 para as demais amostragens.

Com os valores de estimados, foi possível encontrar a curva de calibração do AGV-PTS e encontrar os valores de a_2 e b_2 da curva de calibração. O valor da vazão de ar que passou pelo equipamento durante a amostragem é então calculado através da Equação (3) (ABNT, 1997).

$$Q_p = \frac{1}{a_2} * \left(\sqrt{D * \frac{P}{T} * \frac{T_p}{P_p}} - b_2 \right) \quad (3)$$

Em que, T_p é a temperatura segundo as condições normais em K, P_p é a pressão segundo as condições normais, em mmHg, D é o valor médio das deflexões em cada intervalo de tempo, T é a temperatura medida no local, em K e P é pressão medida no local, em mmHg, e o a_1 e b_1 encontrados na regressão linear da curva de calibração.

Após esse cálculo foi encontrado o volume de ar amostrado. Esse volume foi calculado através da razão entre a vazão ar medida e o tempo amostrado. A vazão obtida por meio de uma correlação com a variação na deflexão da pena do registrador ao longo do tempo

de amostragem sobre a carta gráfica. Em seguida foi estimada a totalização dos volumes. Simplificadamente, os volumes foram obtidos através da Equação (4) (ABNT, 1997).

$$Var = \sum Q * t \text{ (m}^3\text{)} \quad (4)$$

Ao fim da amostragem o filtro foi levado ao dessecador para remover o excesso da umidade do MP para então ser encontrada a massa de material particulado em suspensão, que é a diferença entre a massa do filtro limpo pela massa do filtro sujo.

Com os valores de volume e massa de partículas totais em suspensão, os cálculos para a concentração de PTS puderam ser efetuados. A relação para este cálculo está apresentada na Equação (5) (ABNT, 1997).

$$[PTS] = \frac{m}{V} \left(\frac{\mu g}{cm^3} \right) \quad (5)$$

Em que, m é a massa de PTS, isto é, a massa final do filtro (m_f) menos a massa inicial dos filtros (m_i), em μg e V é o volume de ar amostrado em m^3 , corrigido para as condições padrões .

O tratamento dos dados foi então realizado avaliando-se a concentração de partículas totais em suspensão na cidade e verificando seu enquadramento na legislação vigente.

4.6 Campanhas de Monitoramento

Em cada ponto de monitoramento foram realizadas 2 amostragens sequenciais (2 dias seguidos). Os pontos onde a emissão de poluentes é mais intensa a amostragem foi realizada a cada 15 dias e nos demais pontos a frequência das amostragens foi menor a cada 30 dias, sempre observando as condições de uso e ocupação do solo e de forma a facilitar a logística do processo. Cada amostragem teve duração de 24 horas, como recomendado pela Norma ABNT NBR 9547:1997 (ABNT, 1997).

Foram realizadas 2 medições, no período de 12 a 14 de junho de 2014 , porém o equipamento apresentou um defeito e teve que ser enviado para manutenção, retornando apenas no dia 10 de dezembro de 2014. Nesta data também houve o empréstimo de mais 2 equipamentos, a partir daí as amostragens passaram a ser realizadas com 3 hi-vols e seguiu até 29 de maio de 2015, totalizando 136 medições validadas.

Para a realização das amostragens é necessário o preenchimento da Planilha de Campo, contendo a identificação do ponto, dados ambientais (temperatura e pressão), data inicial e final da amostragem, horário inicial e final da amostragem, valores do horâmetro e identificação da calibração. Esta planilha está disponível no Anexo A.

4.7 Análise Química do Material Particulado

A análise de metais no material particulado foi realizada em 2 filtros de cada ponto de amostragem totalizando 22 análises químicas. Para a análise da composição química do material particulado retido no filtro foi utilizado o método fluorescência de raio-x (FRX) para a determinação da concentração de elementos e óxidos.

Para este trabalho utilizou-se o equipamento AXIOS XRF spectrometer, que pode ser visualizado nas Figuras 20 e 21, sendo detectados os seguintes compostos: fluór (F), óxido de sódio (Na_2O), óxido de magnésio (MgO), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de silício (SiO_2), pentóxido de fósforo (P_2O_5), sulfeto (SO_3), cloro (Cl), óxido de potássio (K_2O), óxido de cálcio (CaO), óxido de titânio (TiO_2), óxido de cromo (Cr_2O_3), óxido de manganês (MnO), óxido de ferro III (Fe_2O_3), óxido de níquel (NiO), óxido de cobre (CuO), óxido de zinco (ZnO), óxido de rubídio (Rb_2O), óxido de estrôncio (SrO), óxido de ítrio (Y_2O_3), óxido de zircônio (ZrO_2), trióxido de molibdênio (MoO_3), óxido de bário (BaO), óxido de chumbo (PbO), e carbono (C).



Figura 20 - FRX spectrimeter

Fonte:ELFUSA, 2015



Figura 21 - Amostras dos filtros sendo analisados pelo FRX

Fonte:Da Autora

No presente trabalho a amostragem foi realizada através do corte em um formato próximo de círculo de parte do filtro sujo, como pode ser visualizado na Figura 22. Esse corte, denominado anel de amostragem foi levado ao equipamento e, então irradiado por um tubo posicionado em um ângulo de 2θ , onde os raios x penetram aproximadamente 3 milímetros da amostra. O software, então, fez uma varredura na tabela periódica encontrando os compostos acima citados. Vale ressaltar que a unidade utilizada foi em porcentagem (%) da massa da amostra e o limite de detecção foi de 0,001%.



Figura 22 - Anel de amostragem

Fonte:Da Autora

4.8 Avaliação das Principais Fontes de Materiais Particulados

Durante o período de monitoramento foi realizada a avaliação das principais fontes de materiais particulados, tanto fonte móveis quanto fontes fixas. Segundo Magalhães (2010) entre as fontes móveis destacam-se as emissões veiculares, dessa forma foi realizado a contagem da do volume horário de tráfego nas principais vias do município e a determinação do grau de enegrecimento da fumaça liberada por veículos a diesel.

Para as fontes fixas foi realizada avaliação de quais teriam mais influência na qualidade do ar através do levantamento das principais fontes, se destacando: obras de construção civil, marmorarias, áreas descampadas, queimadas e algumas empresas.

4.9 Metodologia De Amostragem de Fumaça Preta e Contagem do Fluxo Médio de Veículos

A contagem veicular foi realizada em algumas das principais vias do município, sendo feito contagens em dias e horários diferentes por um período de 1 hora. Para esta contagem foram escolhidas as principais ruas e avenidas próximas aos pontos amostrados. Para as demais vias o fluxo de veículos foi fornecido pela por um colaborador do Departamento de trânsito.

Foram contados os seguintes veículos: carros, motos, vans, ônibus, caminhões de pequeno porte, caminhões de médio porte e caminhões de grande porte, sendo depois divididos entre veículos leves (carros e motos) e veículos pesados (vans, ônibus e caminhões), além da contagem foi realizada a análise comparativa de cor de fumaça através da escala de Ringelmann. Essa escala é constituída de 6 campos de densidade (0%, 20%, 40%, 60% e 100%), conforme pode ser observado na Figura 23.



Figura 23 - Escala de Ringelmann

Fonte: CETESB, 2015

Esta escala pode ser utilizada para a fiscalização de fumaça em veículos do ciclo diesel e do ciclo Otto, motocicletas e semelhantes de acordo com a Portaria nº 38 de 01 de abril de 2014 que define emissões de gases e os procedimentos para a fiscalização de veículos, conforme a Resolução CONTRAN nº 542 de 26 de setembro de 2013 (DENATRAN, 2014).

A ABNT: NBR 6016:1986 prescreve o método de avaliação do teor de fuligem utilizando a escala de Ringelmann reduzida (ABNT, 1986). A aferição da fumaça é realizada através da observação e comparação do ponto de escapamento do cano dos gases expelidos pelo escapamento com a escala em tons de cinza da Figura 23 (DENATRAN, 2014).

A norma 6016:1986 traz ainda as instruções de uso da escala, sendo elas: (ABNT, 1986)

- 1° - Posicione-se de tal forma que a luz do sol não incida diretamente os seus olhos;
- 2° - Segure o cartão com o braço totalmente estendido e compare a fumaça (vista pelo orifício) com o padrão colorimétrico, determinando qual a tonalidade da escala que mais se assemelha com a tonalidade (densidade) da fumaça.
- 3° - Para a confirmação do padrão de emissão de fumaça emitida por veículos, o observador deverá estar a uma distância de 20 a 50 metros do tudo do escapamento.

Ainda de acordo com a Portaria n° 38/2014 é permitido a emissão de fumaça até a tonalidade número 2 da escala, exceção para altitudes superiores á 500 metros onde admite-se o padrão número 3 (DENATRAN, 2014). Vale indicar que a Portaria n° 58/1996 do IBAMA estabelece que para veículos de circulação restritos a centros urbanos, mesmo para altitudes de 500 m, a emissão fica limitada ao padrão n° 2 da escala Ringelmann (IBAMA, 1996).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão analisados os dados meteorológicos e a concentração de material particulado, sendo os resultados comparados com os valores normativos e com outros estudos relacionados com este trabalho encontrados na literatura. Em seguida serão apresentadas as análises químicas do material particulado retido nos filtros, o levantamento do volume médio de tráfego veicular em conjunto com a análise de fumaça preta e, por último, apontadas as principais fontes identificadas nas áreas em estudo.

5.1 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados para os cálculos e para as análises foram obtidos por meio do banco de dados do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) e pelo banco de dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), pelo Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA), ambos controlados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados meteorológicos referentes aos dias de amostragem podem ser visualizados no ANEXO B.

A figura 24 apresenta a precipitação mensal média dos últimos 10 anos da cidade de Poços de Caldas.

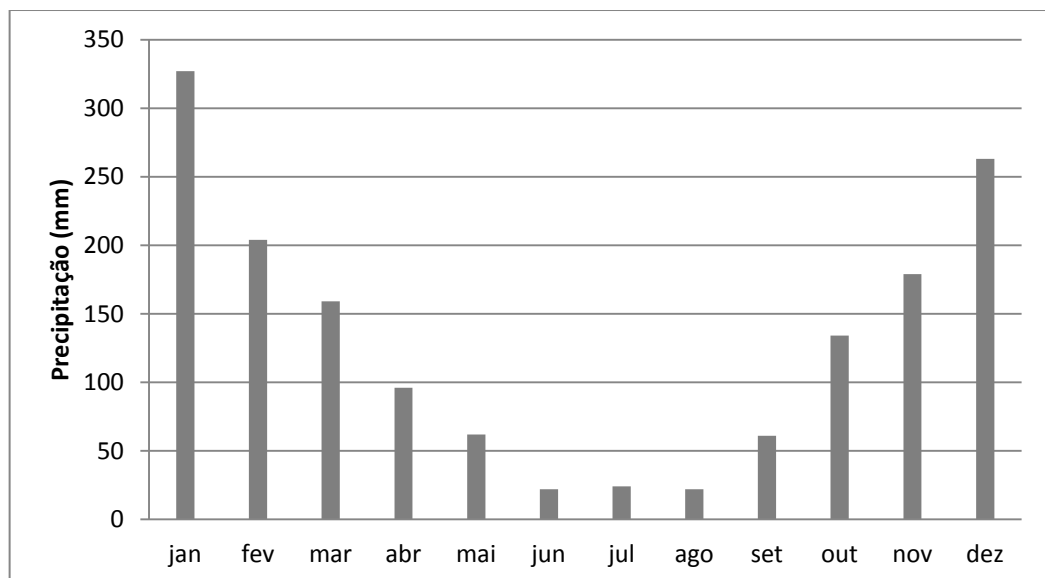


Figura 24 – Gráfico da precipitação mensal

Fonte: Adaptado do INMET, 2015

Durante o período de amostragem a temperatura média diária variou entre 9°C e 38°C, sendo que a temperatura média foi de 21°C. A umidade relativa do ar mais baixa foi de 43% e a mais alta de 99%, enquanto a umidade média foi de 74%, valor próximo ao apresentado por Nappo (2000), cujo trabalho indicava que a umidade relativa média anual do município seria de 78%. A velocidade dos ventos variou na faixa de 3,0 km/h a 20,9 km/h a, sendo classificados como moderados (TINÓS, 2011). A velocidade média dos ventos foi de 9,0 km/h. Sendo que todos os dados foram coletados em vários horários do dia e realizada a média diária de temperatura, umidade relativa do ar, pressão, direção e velocidade dos ventos.

Conforme a Figura 25 verificou-se que as direções predominantes do vento foram: 33,6% nordeste (NE), 25,5% noroeste (NO) e 11,7% leste (E). Observou-se que esses dados são compatíveis com o estudo de Tinós (2011) que indicou a direção NE como a direção predominante dos ventos na cidade. Vale ressaltar que a direção dos ventos indica de onde o vento sopra. No trabalho de Magalhães (2010) a direção preferencial dos ventos teve contribuição direta no aumento da ressuspensão e concentração de PTS. Com esses dados foi possível a elaboração de uma rosa dos ventos para a cidade de Poços de Caldas.

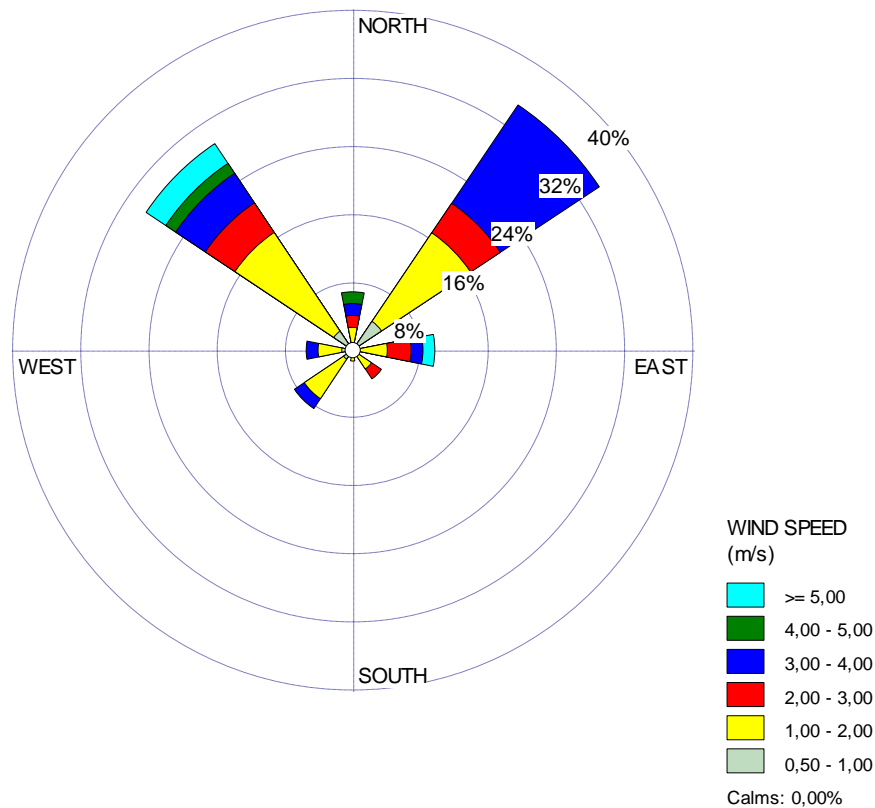


Figura 25 - Rosa dos Ventos para o município de Poços de Caldas.

Fonte: Da Autora

Como os ventos foram classificados como moderados (9,0 km/h) os mesmos não favorecem tanto a dispersão dos poluentes. Para Loureiro (2005) a baixa velocidade dos ventos faz com que haja menor dispersão dos poluentes, favorecendo o aumento da concentração de material particulado.

As Figuras 26 e 27 apresentam comparativos dos dados meteorológicos com os valores de concentração de PTS. A Figura 26 compara a umidade relativa do ar em % enquanto a Figura 27 compara os dados de precipitação pluviométrica com a concentração de MP suspenso

Para Carvalho, et al., (2000) os fatores meteorológicos possuem influência direta na concentração e dispersão de poluentes atmosféricos. Como pode ser visualizada nas Figuras 26 e 27 a concentração de PTS variou durante os períodos amostrados, sendo mais elevada nos dias em que a umidade relativa do ar foi menor e, menores valores de concentração nos dias chuvosos (e nos dias subsequentes aos dias de chuva) e com maior volume de chuva.

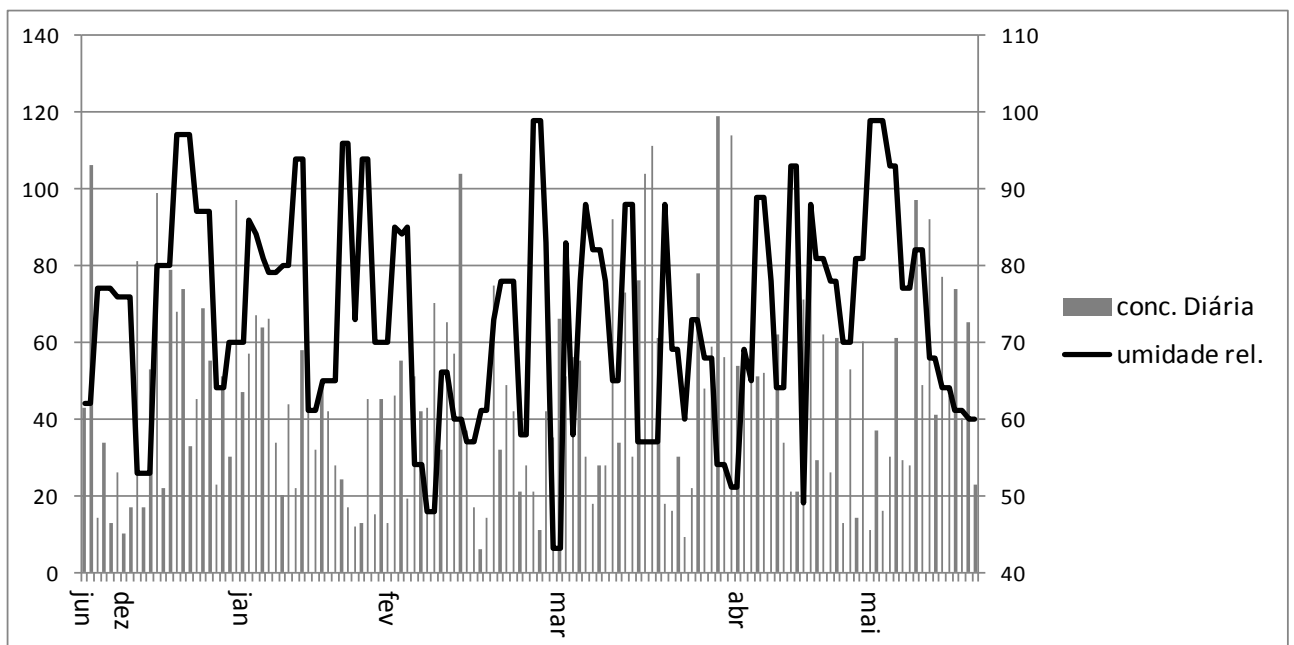


Figura 26 - Gráfico da concentração de M.P. versus a umidade relativa do ar

Fonte: Da autora

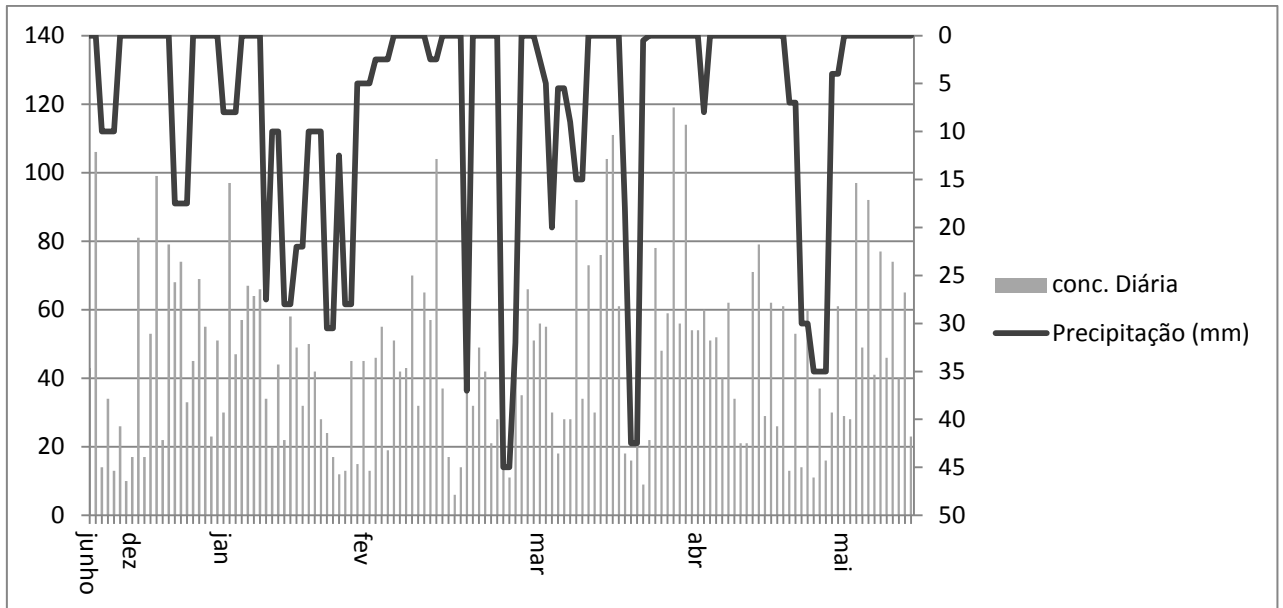


Figura 27 - Gráfico da concentração de MP versus a precipitação pluviométrica.

Fonte: Da Autora

Esse comportamento também foi observado por Magalhães (2010) e Martinis (1997), que constataram que as concentrações de MP foram mais elevadas no período de maior estiagem. De acordo com Lima (2007) a umidade relativa do ar, quando mais elevada, provoca aumento na velocidade de sedimentação das partículas em decorrência da aglomeração das mesmas devido à adsorção de água pelas partículas. A precipitação faz com que haja diminuição da influência da ressuspensão do solo, devido à fixação deste pela água. Dessa forma a chuva funciona como um lavador de ar (SAMPAIO, 2012).

5.2 Concentração de partículas totais em suspensão

Conforme detalhado no item 4.5, foram realizadas as amostragens nos pontos de monitoramento P1 a P11 no mês de junho de 2014 e depois entre os meses de dezembro de 2014 e maio de 2015. A listagem com todos os valores de concentração de PTS obtidos pode ser vista no ANEXO B.

A Figura 28 apresenta todos os valores de concentrações medidos a curto prazo, 24 horas, comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90.

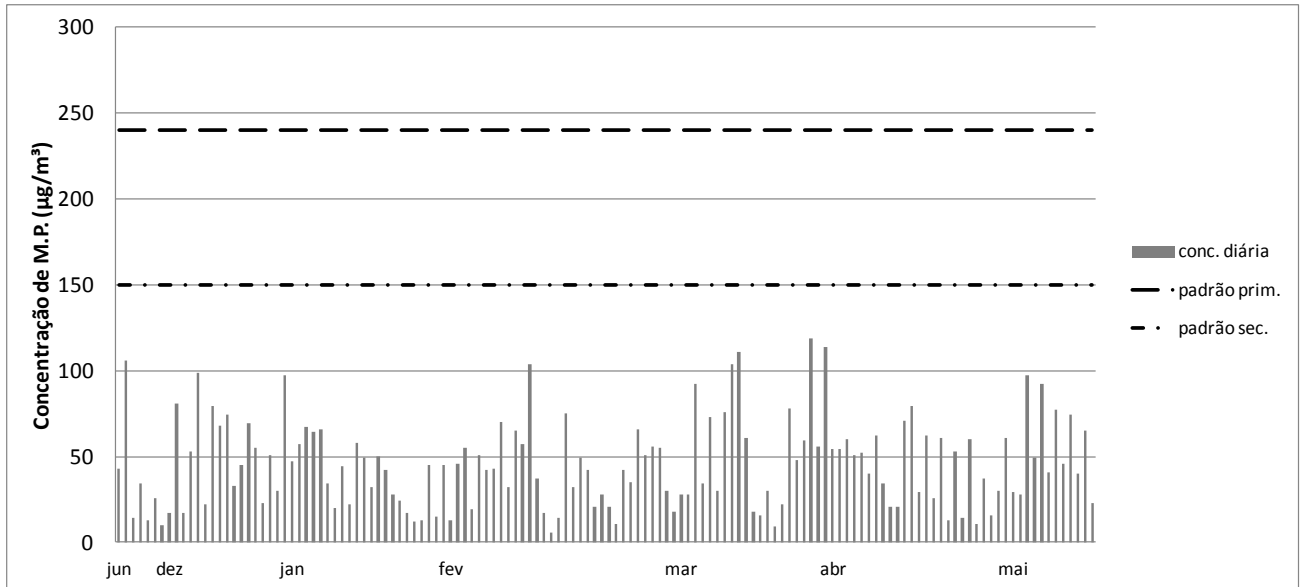


Figura 28 - Gráfico da concentração diária de MP amostrado.

Fonte:Da Autora

Como pode ser visualizado na figura 28, em nenhum momento as concentrações ultrapassaram o padrão secundário de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido na Resolução CONAMA 03/90, diferentemente do observado por Carvalho (2000), Queiroz (2007), Magalhães (2010), Lima (2007) e Sampaio (2007), onde esse padrão secundário foi ultrapassado em alguns dias nas cidades de Charqueadas, Sapucaia do Sul, Sete Lagoas, Ouro Preto, Uberlândia e Goiania, respectivamente. Sendo que nas cidades de Charqueadas, Sapucaia do Sul e Ouro Preto foi verificado concentrações acima do padrão primário de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A Tabela 6 mostra as concentrações em algumas cidades brasileiras.

Pode ser observado na Tabela 7 que a concentração máxima obtida na cidade de Poços de Caldas foi de $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estando abaixo das concentrações máximas de cidades brasileiras onde o mesmo monitoramento foi realizado. A concentração média de PTS em Poços de Caldas foi de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estando abaixo do padrão secundário para MGA apresentado na Resolução CONAMA 03/90.

O Box-plot apresentado na Figura 29 traz o menor e o maior valor de concentração de cada um dos pontos de monitoramento, sendo representados pelas barras inferiores e superiores respectivamente. Além disso apresenta a mediana de cada um dos pontos, que é o intervalo de 50% de valores centrais (LIMA, 2007). Com esses dados é possível observar que o ponto P4 apresentou a maior variabilidade nas amostragens, enquanto o ponto P5 apresentou a menor variabilidade.

Tabela 7 - Concentração máxima e média de PTS em algumas cidades.

Local	Concentração máx. de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentração média de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Período de Amostragem	Referência
Poços de Caldas/MG	119	39	junho/2014, dez/2014 á maio/2015	Este trabalho
Goiânia/GO	188	111	31/07/2011 á 24/08/2011	Sampaio (2012)
Sete Lagoas/MG	647	349	11/01/2015 á 14/02/2005	Queiroz (2007)
Uberlândia/MG	514	82	2003 á 2006	Lima (2007)
Ouro Preto/MG	285	44	1 ano	Magalhães (2005)
Charqueadas/RS	300	ND	maio/97 a maio/98	Carvalho (2000)
Sapucaia do Sul/RS	700	ND	maio/97 a maio/98	Carvalho (2000)

ND = não disponível

Fonte: Da Autora

A Figura 30 mostra a concentração média de cada mês amostrado, comparada aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 como média geométrica anual.

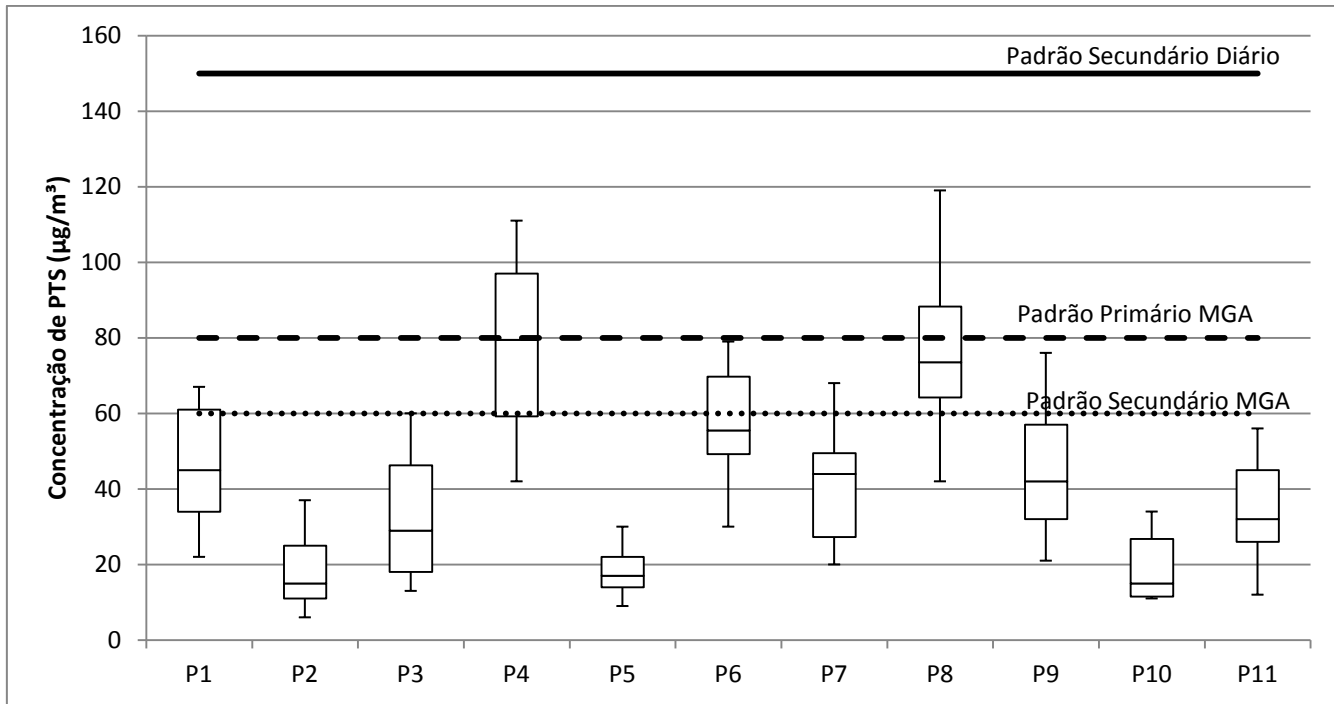


Figura 29 - Boxplot da concentração de PTS por ponto amostrado

Fonte:Da Autora

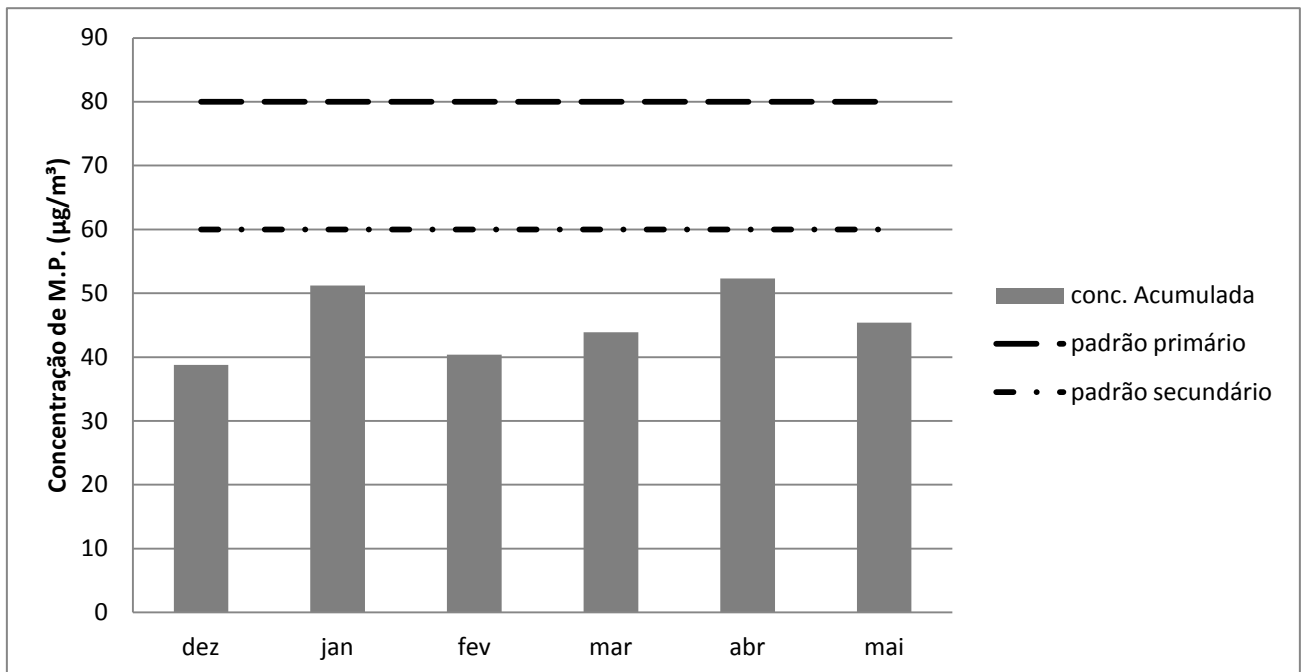


Figura 30 - Gráfico da concentração média de MP para cada mês amostrado

Fonte:Da Autora

É possível observar que em nenhum dos meses amostrados a MGA ultrapassou o padrão primário estabelecido para a média geométrica anual de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nem o padrão secundário de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo os meses de janeiro e abril os que apresentaram maiores valores de concentração de PTS. Conforme observado na Figura 27, nesses meses de janeiro e abril houve significativa redução da ocorrência de chuvas em comparação aos demais meses amostrados. Vale observar que as amostragens não foram realizadas no período de 1 ano, como já descrito, e, por esse motivo, os valores obtidos das médias geográficas foram comparados apenas qualitativamente com a média geométrica anual indicada pela Resolução CONAMA 03/90.

A Figura 31 mostra a concentração média de cada ponto de amostragem, comparada aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 para média geométrica anual.

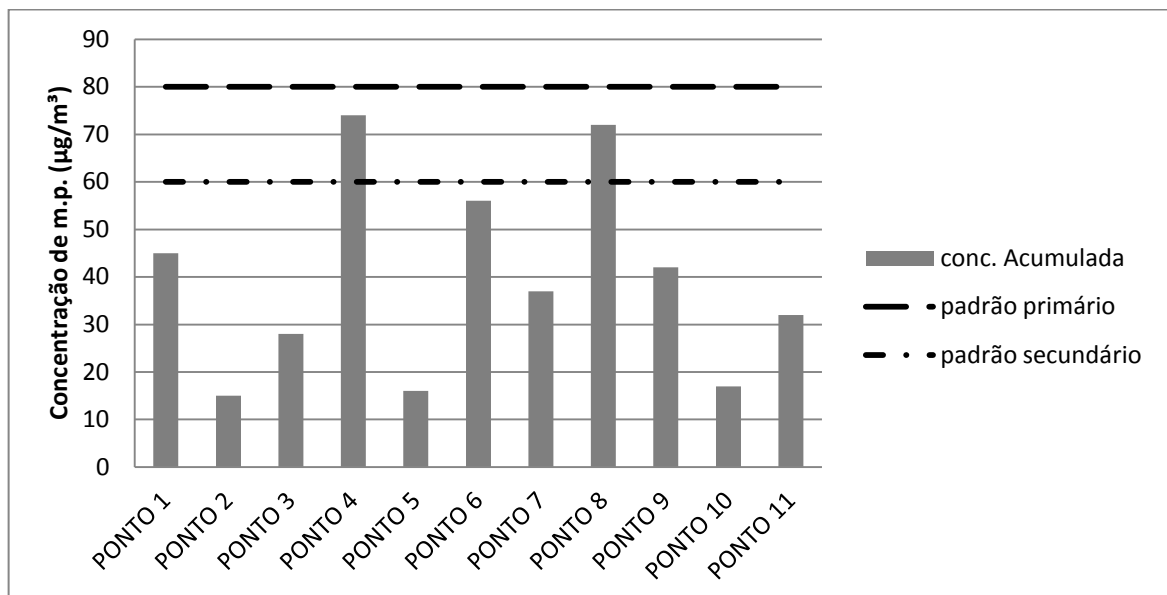


Figura 31 - Gráfico da concentração de PTS por ponto amostrado.

Fonte:Da Autora

Pode-se observar que os pontos P4 e P8 ultrapassaram o padrão secundário de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, porém o padrão primário de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ não foi ultrapassado em nenhum dos pontos. Nota-se que nesses pontos onde o padrão secundário foi excedido ocorre maior circulação de veículos conforme pode ser observado mais adiante na Tabela 10 e na Figura 34.

Foi realizada também a análise das concentrações de PTS em cada ponto por mês amostrado. Essa análise pode ser observada pela Figura 32.

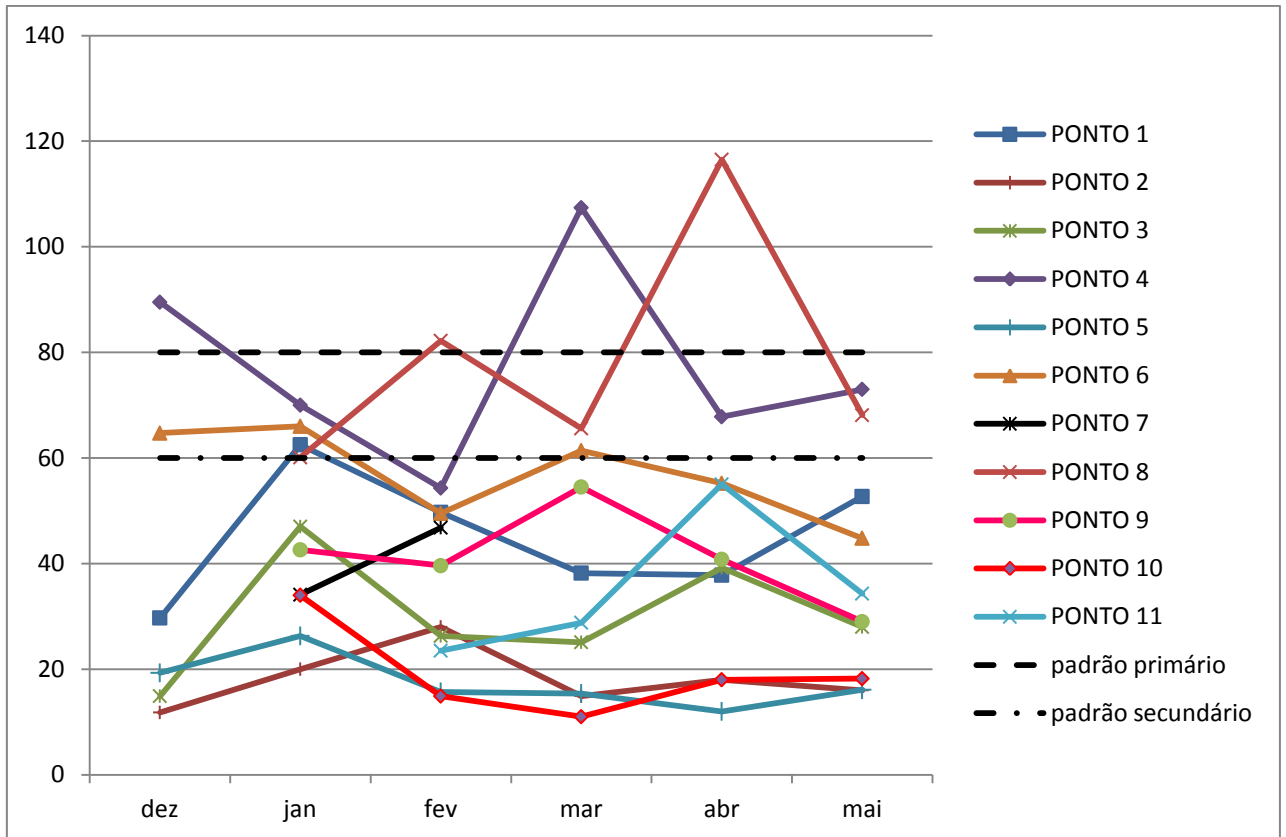


Figura 322 - gráfico da concentração de PTS em cada ponto amostrado por mês amostrado.

Fonte: Da Autora

A partir da Figura 32 é possível observar que o ponto 4 (Posto do Toninho 1) e o ponto 8 (Sulbat) ultrapassaram o padrão primário de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mais de uma vez e os pontos 1 (Prefeitura Municipal) e 6 (CEI) ultrapassaram o padrão secundário de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Assim como observado anteriormente, todos esses pontos estão próximos à vias com intenso fluxo veicular.

A Figura 33 apresenta a localização dos pontos de amostragem juntamente com suas respectivas concentrações. Apresentando para cada ponto a sua concentração máxima, mínima e média.

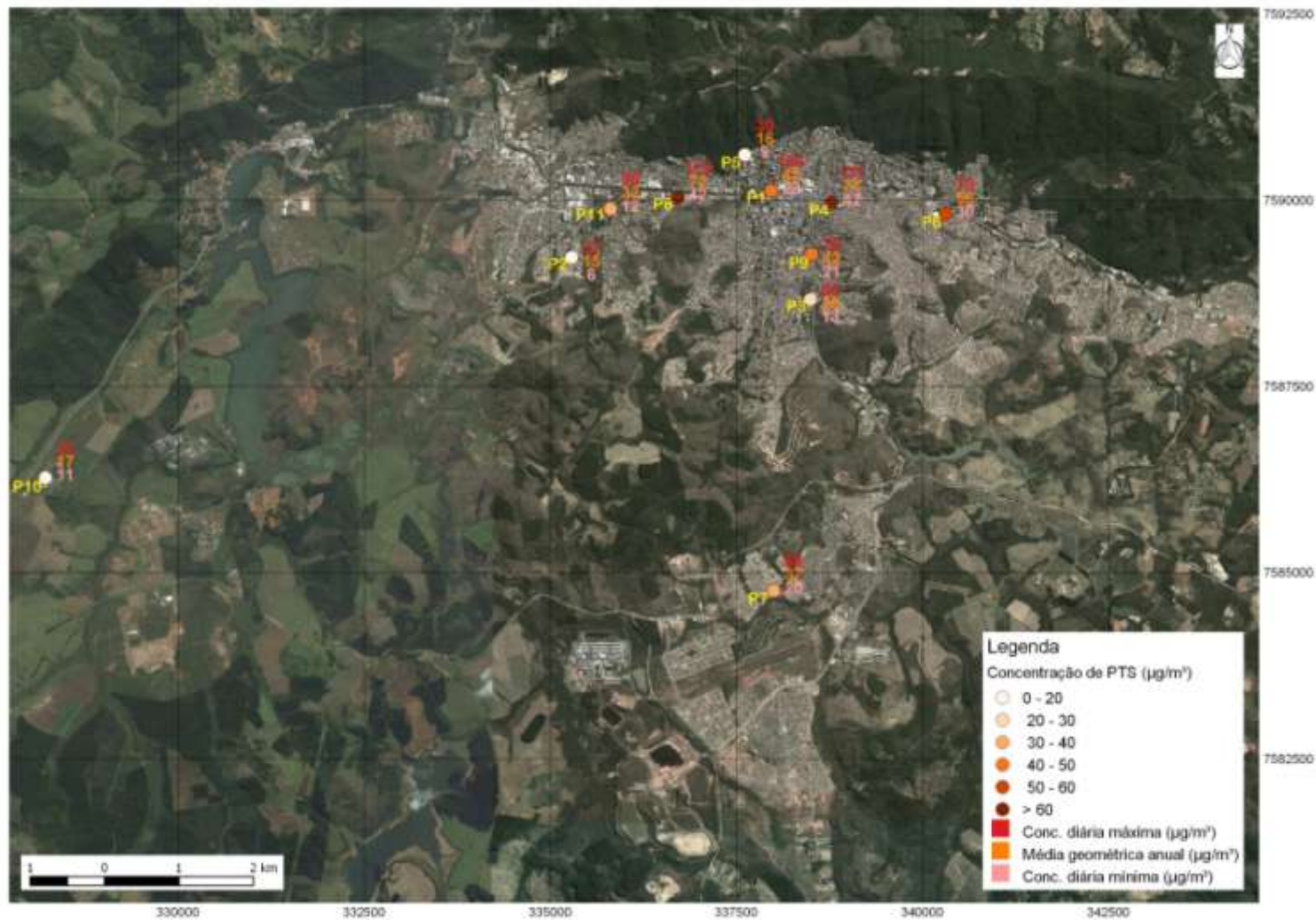


Figura 33 - Pontos de amostragens com suas respectivas concentrações

Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH, 2015, imageamento de 05/12/2014

5.3 Análise química

A caracterização química do material particulado foi realizada através do método de FRX. Os resultados encontrados da análise química do material particulado estão dispostos no Anexo C.

Os elementos encontrados foram óxido de silício (SiO_2), óxido de sódio (Na_2O), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de bário (BaO), óxido de cálcio (CaO), óxido de potássio (K_2O), óxido de zinco (ZnO), óxido de cobre (CuO), carbono (C), óxido de magnésio (MgO), sulfeto (SO_3), fluór (F), trióxido de molibdênio (MoO_3), pentóxido de fósforo (P_2O_5), cloro (Cl), óxido de titânio (TiO_2), óxido de cromo (Cr_2O_3), óxido de zircônio (ZrO_2), óxido de ferro III (Fe_2O_3), óxido de manganês (MnO), óxido de níquel (NiO), óxido de rubídio (Rb_2O), óxido de estrôncio (SrO), óxido de chumbo (PbO) e óxido de ítrio (Y_2O_3), sendo estes apresentados de acordo com a porcentagem de cada elemento na análise química do MP suspenso.

As análises indicaram os componentes principais de cada ponto de amostragem, sendo que os óxidos SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , BaO , CaO , K_2O , ZnO estão presentes em todos os pontos analisados em concentração acima de 1% da massa total da amostra. Os demais componentes encontrados na mesma proporção em cada um dos pontos estão dispostos na Tabela 7, juntamente com as possíveis fontes.

Além desses elementos também foram encontrados os outros componentes já citados, porém estes em porcentagem menor que 1%. Sendo que em todos os pontos o óxido de silício apresentou proporções entre 40% e 50%, isto é, de 40 a 50% do peso total da amostra é formado por este composto.

De acordo com alguns estudos foi possível associar tais componentes às fontes citadas na Tabela 7. Segundo Santiago (2012), essas fontes podem ser assim associadas pois os elementos Al, Si, Ti, Fe e Ca são típicos de ressuspensão da poeira do solo, enquanto Zn, Cu, S e C são típicos de emissão veicular.

Lima (2007) associou a ressuspensão do solo aos elementos K, Al, Ca e Fe. Para Magalhães (2005) as emissões veiculares são fontes importantes para a emissão de Cu na atmosfera. Já Sampaio (2012) associou os metais Al e Fe à ressuspensão da poeira do solo.

Dessa forma a ressuspensão do solo foi associada diretamente aos componentes que fazem parte da composição do solo de Poços de Caldas, sendo eles: óxido de silício, óxido de sódio, óxido de cálcio e óxido de potássio, além do trióxido de alumínio que, segundo Moniz (1964) é o principal componente da bauxita, mineral abundante no solo do município.

De acordo com a literatura, sulfeto, óxido de cobre e carbono são associados diretamente a fontes veiculares. Como pode ser visto na Figura 32, os pontos P1, P4, P6, P7, P8 e P9 estão próximos a locais com intenso fluxo veicular. Por esse motivo os três compostos citados anteriormente apresentaram concentrações em porcentagem superior aos demais pontos (acima de 1%).

É possível observar que o CuO e SO₃ foram encontrados em maiores porcentagens apenas nos pontos onde o fluxo veicular é mais intenso, com exceção do ponto P10 (UNIFAL-MG). Neste ponto o equipamento de amostragem ficava perto da guarita da universidade (a 2 metros de distância), sofrendo grande influência das emissões veiculares, embora o fluxo veicular não fosse intenso.

Foi encontrada também uma discrepância entre os pontos P8 (Figura 13) e P11 (Figura 16): apesar de estarem localizados próximo à Av. João Pinheiro, afastados entre si aproximadamente 700 metros, o ponto P11 (Parque Municipal Antônio Molinari), com grande área arborizada, apresentou concentrações de C e CuO bem inferiores que o P8 (Sulbat). A concentração de C variou de 0,99% no P8 para 0,38% no P11, enquanto a concentração de CuO variou de 1,06% para 0,43%, respectivamente. Isso pode ser atribuído ao fato do hi-vol estar mais distante da Av. João Pinheiro no P11 (200 m) do que no P8 (10 m). O mesmo foi observado no ponto P3 (Posto Floresta), já que o amostrador foi posicionado a 35 metros de distância da Av. Vereador Edmundo Cardillo.

A cor dos filtros pode ser relacionada à presença do elemento C, sendo possível observar que nos pontos onde a porcentagem de carbono era mais elevada, a cor dos filtros era mais escura. Adicionalmente, filtros com coloração cinza claro apresentaram baixas concentrações de material particulado.

A Tabela 9 apresenta alguns estudos sobre metais associados ao MP e componentes encontrados em análises químicas realizadas no material particulado presente na atmosfera de algumas cidades do Brasil.

Tabela 8 - Componentes químicos, principais fontes e cor predominante dos filtros amostrados.

Ponto	Principais elementos	Possíveis fontes	Cor predominante do filtro amostrado
1	C e CuO	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza escuro
2	--	Ressuspensão do solo	Cinza claro
3	--	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza claro
4	C	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza escuro
5	--	Ressuspensão do solo	Cinza claro
6	C	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Preto
7	MoO ₃ , e SO ₃	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza claro
8	C e CuO	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza escuro
9	SO ₃	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza escuro
10	CuO e SO ₃	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza claro
11	--	Ressuspensão do solo e emissões veiculares	Cinza

Fonte: Da Autora

Pereira Junior (2014) realizou análise química dos sedimentos presentes nas águas de chuva em Poços de Caldas, utilizando como ponto de coleta o bairro Santa Teresa, mesmo local onde fica localizado o P7. De acordo com essa análise foram encontrados os seguintes elementos: Ni, Cr, Pb, Cd, Fe e Mn. Sendo estes associados, principalmente a ressuspensão do solo e a fontes veiculares.

Tabela 9 - Componentes encontrados no MP em algumas cidades e suas principais fontes

Local	Elementos associados ao PTS	Principais Fontes	Referência
Salvador – BA	Fe, Zn e Cu	Atividades de mineração e veiculares.	Pereira et. al. (2007)
São Paulo – SP, Araraquara – SP e Piracicaba – SP	Na, K, MG, Fe, Al, Ti, Cu e Zn	Ressuspensão do solo, queima de petróleo e indústrias metalúrgicas.	Vasconcelos et. al. (2007)
Ouro Preto – MG	Al, Fe, Cr, Mn, Ni, Pb e Cu	Tráfego e ressuspensão do solo.	Magalhães et. al. (2010)
Uberlândia – MG	Al, Cu, Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Ti, Zn, P e S	Ressuspensão do solo e queima de combustíveis fósseis	Lima (2007)
Goiania – GO	Al, Cd, Co, Cu, K, Mn, Ni, Ti e Zn	Ressuspensão do solo	Sampaio (2012)
Sete Lagos – MG	Al, Fe, Cl, Cu, K, Mg e Na	Ressuspensão do solo e indústria siderúrgica	Queiroz (2007)
São Paulo – SP	NH ₄ , NO ₃ , Cu, Pb e Cd	Queima de combustíveis fósseis	Fontenele (2009)

Fonte: Da Autora

Além desses elementos citados acima, outros compostos foram encontrados por Pereira Júnior (2014), sendo os mais abundantes: SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, TiO₂, SO₄ e BaO. Desses componentes todos foram encontrados neste trabalho. Sendo que algumas concentrações variaram em relação as concentrações encontradas por Pereira Junior (2014). A Tabela 9 apresenta as concentrações desses compostos no estudo de Pereira Junior (2014) e no presente trabalho.

Através da Tabela 9 foi possível observar que os elementos mais abundantes encontrados por Pereira Júnior (2007) também foram encontrados no P7, porém em proporções diferentes.

No trabalho de Pereira Júnior (2014) foi realizada a coleta de sedimentos acumulados sobre a área de sarjetas de vias de tráfego, através do método de varrição á seco, já para este trabalho foi utilizado o método de amostragem do material particulado em suspensão por amostradores de grande volume. Para a análise química Pereira Júnior (2014) utilizou o método DRX, enquanto as análises deste estudo foram realizadas por meio de FRX.

Tabela 10 - Concentrações encontrados por Pereira Junior (2014) e no ponto P7

(continua)

Componente químico	Concentração média em % encontrada por PEREIRA JÚNIOR (2014)	Concentração média em % encontrada no ponto 7
SiO ₂	29,0984	46,4545
CaO	26,221	2,808
Al ₂ O ₃	16,1332	7,9975
Fe ₂ O ₃	6,735	0,3655
K ₂ O	1,9606	2,5085
TiO ₂	1,3232	0,0775
BaO	0,6786	1,954
MgO	0,6144	0,7615
ZrO ₂	0,4488	0,0395
MnO	0,3296	0,0055

Fonte: Adaptado de PEREIRA JÚNIOR (2014) e da Autora

Tabela 11: Concentrações encontrados por Pereira Junior (2014) e no ponto P7.

(conclusão)

Componente químico	Concentração média em % encontrada por PEREIRA JÚNIOR (2014)	Concentração média em % encontrada no ponto 7
SrO	0,093	0,005
ZnO	0,0268	1,1745
CuO	0,013	0,1015
NiO	0,009	0,0045
Rb ₂ O	0,0086	0,001
PbO	0,0082	0,001

Fonte: Adaptado de PEREIRA JÚNIOR (2014) e da Autora

5.4 Volume médio de tráfego e fumaça preta

A análise do volume médio de tráfego foi realizada conforme explicado na metodologia, sendo os resultados obtidos disponíveis na tabela 11.

Pode-se observar o fluxo mais intenso de veículos pesados na Av. José Remígio Prézia, na Av. Francisco Salles, na Av. João Pinheiro e na Av. Vereador Edmundo Cardillo.

Com os dados de contagem do volume médio de tráfego foi possível mapear as vias de maior fluxo, principalmente de veículos pesados que são movidos a diesel, pois segundo Loureiro (2005) esses veículos tem uma contribuição maior na emissão da material particulado. Para o mapeamento as vias foram coloridas, sendo marcadas com a cor vermelha as vias com o fluxo de veículos pesados maior que 100 veículos por hora enquanto as demais vias analisadas foram marcadas com a cor laranja. Esse mapeamento pode ser visualizado nas Figuras 34 e 35.

Tabela 12 - Contagem da frota veicular no município de Poços de Caldas-MG

	Vias	Horários	Veículos leves		Veículos pesados
			Carros	Motos	
v1	R. Coronel Virgílio Silva	9:10 às 10:10	504	135	87
		13:00 às 14:00			
		17:00 às 18:00			
v2	Av. José Remígio Prézia	10:20 às 11:20	1124	187	140
		15:05 às 16:05			
		17:00 às 18:00			
v3	Av. Francisco Salles	8:30 às 9:30	1054	177	114
		15:50 às 16:50			
		17:56 às 18:56			
v4	Av. Marechal Deodoro	8:00 às 9:00	681	681	90
		13:00 às 14:00			
		17:20 às 18:20			
v5	R. Minas Gerais	9:00 às 10:00	460	62	12
		15:50 às 16:50			
		17:00 às 18:00			
v6	Av. João Pinheiro	7:31 às 8:31	1323	214	157
		13:20 às 14:20			
		16:50 às 17:50			
v7	Av. Santo Antônio	8:01 às 9:01	678	164	95
		12:55 às 13:55			
		17:00 às 18:00			
v8	Av. Vereador Edmundo Cardillo	7:47 às 8:47	1698	282	137
		13:12 às 14:12			
		17:10 às 18:10			

Fonte: Da Autora

Nestas mesmas vias de tráfego foram realizadas análises de fumaça preta, cujos resultados podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 13 - Análise de fumaça preta em algumas vias de Poços de Caldas-MG

	Vias	Horários	Fumaça Preta				
			n°1 dens. 20%	n°2 dens. 40%	n°3 dens. 60%	n°4 dens. 80%	n°5 dens. 100%
v1	R. Coronel Virgílio Silva	9:10 às 10:10	84	3	---	---	---
		13:00 às 14:00					
		17:00 às 18:00					
v2	Av. José Remígio Prézia	10:20 às 11:20	138	2	---	---	---
		15:05 às 16:05					
		17:00 às 18:00					
v3	Av. Francisco Salles	8:30 às 9:30	111	2	1	---	---
		15:50 às 16:50					
		17:56 às 18:56					
v4	Av. Marechal Deodoro	8:00 às 9:00	90	---	---	---	---
		13:00 às 14:00					
		17:20 às 18:20					
v5	R. Minas Gerais	9:00 às 10:00	12	---	---	---	---
		15:50 às 16:50					
		17:00 às 18:00					
v6	Av. João Pinheiro	7:31 às 8:31	143	12	2	---	---
		13:20 às 14:20					
		16:50 às 17:50					
v7	Av. Santo Antônio	8:01 às 9:01	94	1	---	---	---
		12:55 às 13:55					
		17:00 às 18:00					
v8	Av. Vereador Edmundo Cardillo	7:47 às 8:47	125	6	6	---	---
		13:12 às 14:12					
		17:10 às 18:10					

Fonte: Da Autora

Conforme a Tabela 12, é possível observar que em nenhuma via foram visualizadas densidades de fumaça preta acima de 80%. Vale ressaltar que todos os dados de análise de fumaça preta e contagem de veículos foram coletados durante o período diurno.

Pode ser verificado que o índice de densidade de fumaça preta está dentro do limite aceitável para a Portaria n° 38/2014, para locais com altitude superior a 500 m, onde é permitida a emissão de fumaça preta até o padrão n° 3 da escala (DENATRAN, 2014). Entretanto, se considerarmos o caráter urbano dos locais de medição, vale ressaltar que foi excedido o padrão n° 2 da escala de Ringelmann definido pela Portaria n° 58/1996 do IBAMA (IBAMA, 1996).

5.5 Levantamento das Principais Fontes

No intuito de identificar as principais fontes de material particulado nas proximidades dos pontos de coleta de partículas totais em suspensão efetuou-se uma pesquisa de campo. Foram selecionadas as obras de construção civil e as áreas descampadas que tinham maior

impacto na ressuspensão de PTS do solo através da ação dos ventos e/ou veículos. As áreas descampadas, isto é, áreas sem cobertura vegetal e sem edificações, foram as fontes fixas encontradas em maior número.

De forma geral, não se identificaram fontes industriais próximas aos pontos de monitoramento. Além disso, as principais indústrias estão localizadas na região sul da cidade e, levando em consideração que a principal direção dos ventos na cidade é a direção norte, os ventos sopram do norte para o sul minimizando possíveis impactos dessas fontes.

Identificou-se as marmorarias como única atividade comercial em que se destaca a emissão de material particulado no centro urbano de Poços de Caldas. Entretanto, não foi possível observar uma influencia direta na qualidade do ar das áreas de entorno, uma vez que não se identificou variação significativa na concentração de CaO no ponto 6 (CEI).

Algumas queimadas podem ser observadas em alguns pontos da área urbana, porém não foi observado uma influencia direta desta fonte na qualidade do ar das áreas próximas á esses locais.

A Figura 34 apresenta a localização das principais fontes de material particulado identificadas durante as visitas de campo e as vias de acesso com maior fluxo de veículos. Na Figura 35 é possível visualizar o posicionamento dos amostradores de grande volume frente às fontes de material particulado.

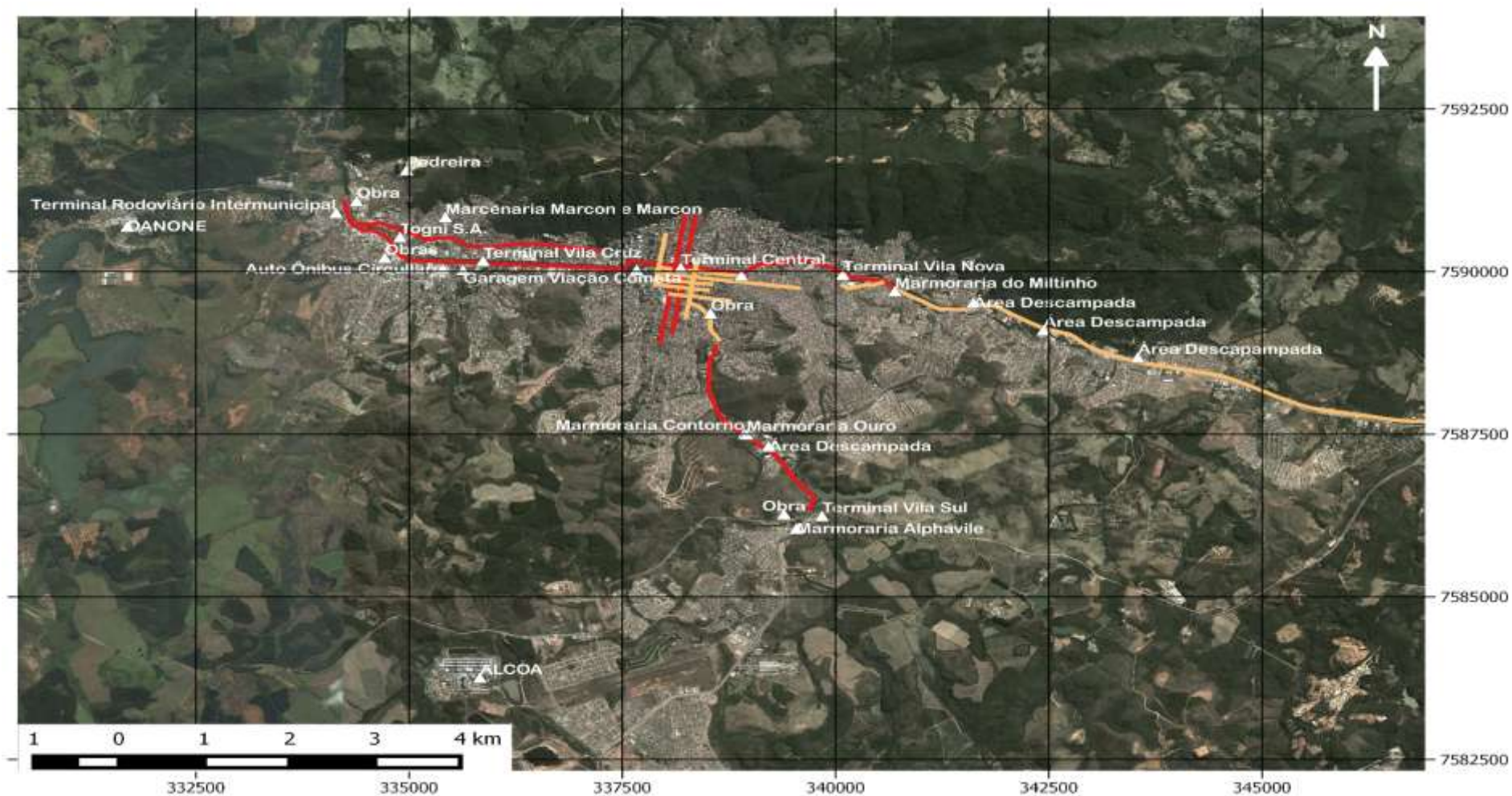


Figura 34 - Localização das principais fontes de MP e vias de acesso mais movimentadas.

Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH (2015), imageamento de 05/12/2014.

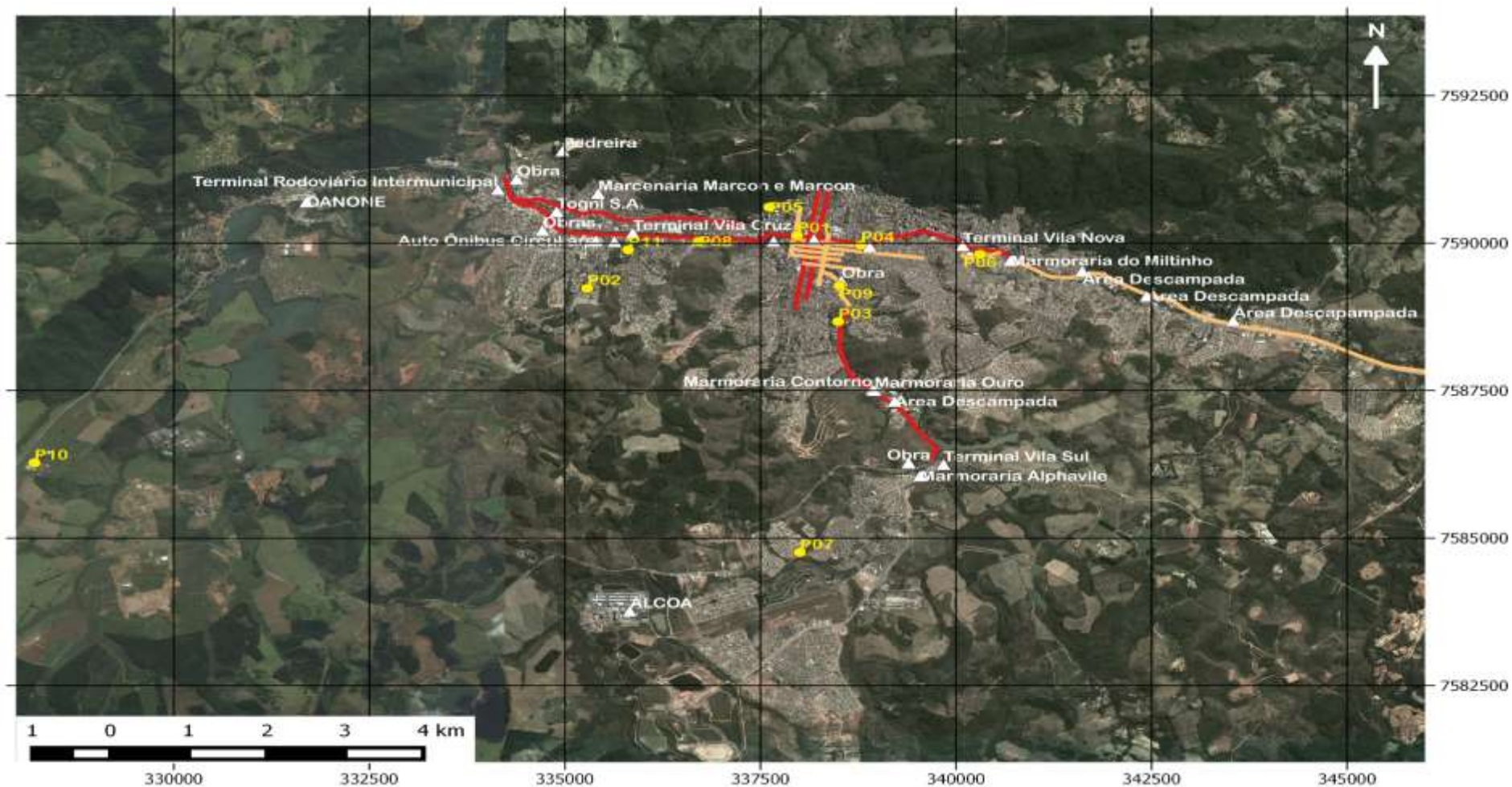


Figura 35 - Principais fontes de MP, vias de acesso e pontos de monitoramento.

Fonte: Da Autora, fonte da imagem: GOOGLE EARTH, imageamento de 05/12/2014

6 CONCLUSÃO

Pode-se notar que nenhum dos pontos amostrados apresentou concentrações de partículas totais em suspensão acima dos valores diários máximos permitidos pela Resolução CONAMA 03/90 (padrão primário de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e padrão secundário de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

As médias geométricas das concentrações de material particulado nos pontos P4 (Posto do Toninho 1) e P8 (SulBat) atenderam ao padrão primário de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média anual, porém excederam o limite de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido como padrão secundário. Os demais pontos de monitoramento apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 para o padrão secundário.

As condições meteorológicas, com destaque para a umidade relativa do ar e para as precipitações pluviométricas, tiveram influência direta nas concentrações de PTS, já que os maiores valores foram medidos durante os períodos de baixa umidade do ar e de menor precipitação, isto é, em períodos mais secos.

A técnica de fluorescência de raios x se mostrou eficiente na caracterização química do material particulado, podendo ser encontrados 25 compostos químicos. Pôde-se perceber que as concentrações relativas variaram em função do ponto amostrado. Entretanto, os compostos predominantes foram: SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , BaO , CaO , K_2O , ZnO , CuO e C.

Foi possível observar que a ressuspensão do solo é responsável por parte dos compostos identificados no material particulado em suspensão, sendo os principais SiO_2 , Na_2O , Al_2O_3 , BaO , CaO e K_2O , uma vez que fazem parte da composição mineralógica do solo de Poços de Caldas.

Já as concentrações de Zn, CuO , SO_3 e C estão relacionadas aos pontos de maior fluxo veicular, sendo as emissões dos motores a combustão interna a principal fonte desses elementos.

7 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Para trabalhos futuros, sugere-se a continuidade do monitoramento nos pontos amostrados neste trabalho a fim de acompanhar a variação da qualidade do ar com o crescimento do município de Poços de Caldas – MG.

Alguns tópicos não foram abordados neste trabalho e ficam como sugestão para trabalhos futuros:

- l) Amostragem do material particulado inalável (PM_{10} e $PM_{2,5}$) e a comparação destes resultados com os limites indicados pela Organização Mundial da Saúde (OMS);
- m) Análise química de compostos danosos à saúde humana, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA);
- n) Levantamento de interações decorrentes de problemas respiratórios nos períodos amostrados.

REFERÊNCIAS

ALBBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADOR, R., BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. Um Método Simples de Caracterização de Argilominerais por Difração de Raios X. **Rev. Cerâmica**, v. 48, n 305, p. 34-37, 2002.

ALLEN, T. **Particle size measurement**, 5.ed. London, Chapman and Hall, 1997. 524p.

ALMEIDA, I. T. **A Poluição Atmosférica Por Material Particulado na Mineração a Céu Aberto**. 1999. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – São Paulo, 1999.

ALVES, V. A.; BRETT, C. M. A.; MONTEMOR, M. F. Caracterização por XPS de Filmes Passivos Formados Sobre Aços De Baixa Liga Em Meio De Bicarbonato. **Rev. Química Nova**. Diamantina. v. 28, n. 2, p. 204-210, 2005.

ANTONIASSI, J. L. **A difração de Raios X com o método de Rietveld aplicada a bauxitas do Porto Trombetas, PA**. 2010. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9547**: Material particulado em suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 6016**: Gás de escapamento de motor diesel- Avaliação de teor de fuligem com a escala de ringelmann. Brasília, 1986.

BRANCO, S. M; MURGEL, E. **Poluição do ar**. 2. Ed. São Paulo: Moderna, 2004

CARVALHO, F. G., JABLONSKI, A., TEIXEIRA, E. C. Estudo das Partículas Totais em Suspensão e Metais Associados em Áreas Urbanas. **Rev. Química Nova**, Porto Alegre, v.23. n. 5, p. 614-617. 2000.

CASTRO, A. H. S., ARAÚJO, R. S., SILVA, G. M. M. Qualidade do Ar – Parâmetros de Controle e Efeitos na Saúde Humana: Uma Breve Revisão. [on-line]. **Rev. HOLOS**, ISSN 1807-1600, ano 29, vol. 5, 2013 Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1242>>. Acesso em: 18 mar. 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 7 nov. 2013.

_____. **Padrões e Índices**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp>. Acesso em: 12 out. 2014.

_____. **Escala de Ringelmann**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/emissoes/imagens_emissoes/escala.htm>. Acesso em: 19 mai. 2015.

_____. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2012**. São Paulo, 234 p., CETESB: ISSN 0103-4103. 2013

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Brasília, DF. **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990.**

_____. Brasília, DF. **Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006.**

COSTA, M. P., PEREIRA, J. A. A., FONTES, M. A. L., MELO, P. H. A. de, PÍFANO, D. S., PELLICCIOTTI, A. S., POMPEU, P. N., SILVA, R. A. Estrutura e Diversidade da Comunidade Arbórea de uma Floresta Supermontana, no Planalto de Poços de Caldas (MG). **Rev. Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 711-725. 2011

CRESTANI, V. T. V. **Análise Estrutural da Hotelaria em Poços de Caldas-MG, 2007.** Disponível em: <http://unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2012/analise_estrutural.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSITO (DENATRAN). **Frota de Veículos Segundo os Municípios da Federação.** Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>>. Acesso em: 7 mai. 2014.

_____. Portaria nº 38 de 01 de abril de 2014. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/Portarias/2014/Portaria0382014.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

_____. **Frota.** Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 10 out. 2015

DERISIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental.** 4. ed. São Paulo: Signus, 2012. 224 p.

DORANTI, C., HACKSPACHER, P. C., NETO, J. C. H., RIBEIRO, M. C. S., LIMA, H. C. Evolução do Relevo da Região do Planalto de Poços de Caldas: Correlação Entre Níveis Planálticos e Termocronologia por Traços de Fissão em Apatita. **Rev. Geografias**, Belo Horizonte, v. 04, n. 1, p. 87-92. 2008

ELFUSA (São Paulo) (Org.). **Conceitos de Espectrometria de Fluorescência de Raios X.** São João da Boa Vista: Power Point, 2015. 18 slides, color.

ENERGETICA. **AGV PTS: Amostrador de grande volume.** Disponível em: <http://www.energetica.ind.br/pdf/Manual_PTS_Rev_06.pdf> Acesso em: 08 jan. 2014.

_____. **AVG PTS – Manual de Operação.** Rio de Janeiro, 2012.114 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Air Quality Planning and Standards – The Ambient Air Monitoring Program.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/oaqps/qa/monprog.html>> Acesso em: 23 mar. 2015.

FONTENELE, A. P. G., PEDROTTI, J. J., FORNARO, A. Avaliação de Metais Traços e Íons Majoritários em Águas de Chuva na Cidade de São Paulo. **Rev. Química Nova**, São Paulo, vol. 32, n. 4, p. 839-844. 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM). Belo Horizonte, MG. Disponível em: <<http://www.feam.br/>>. Acesso em: 30 nov. 2013.

_____. **Relatório Técnico: Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte no Ano Base de 2011.** Belo Horizonte, 2013

GOOGLE. **Programas Google Earth.** 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Portaria n° 85 de 17 de outubro de 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=315180&search=minas-gerais|pocos-de-caldas>>. Acesso em: 17 mar. 2015.

_____. **Cidades – Poços da Caldas: infográficos, despesas e receitas orçamentárias e PIB, 2012.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php?lang=&codmun=315180&search=minas-gerais|pocos-de-caldas|info%20graficos:-despesas-e-receitas-or%20ament%20rias-e-pib>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

_____. **Estimativa das Populações nos Municípios Brasileiros com Data de Referência em 1º de Julho de 2013.** Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2013/estimativa_2013_dou.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Meteorologia e climatologia.** Versão em formato digital. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/sobre_meteorologia/meteoro_basica/meteorologia_basica.html>. Acesso em: 28 de novembro de 2013.

_____. **Estações Automáticas.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 28 ago. 2015

ITO, L. X. **Monitoramento da Qualidade do Ar em Ambientes Internos – Bibliotecas.** 2007. 182f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007

Lean Institute Brasil. Disponível em:< <http://www.lean.org.br/encontro-alta-administracao-liderando-transformacao-lean.aspx>>. Acesso em: 01 dez. 2013.

LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no Infravermelho: uma Apresentação para Ensino Médio. **Rev. Brasileira de Ensino de Física**, Cuiabá, v. 34, n. 2, 2012.

LIMA, E. A. P de. **Um Estudo Sobre a Qualidade do Ar de Uberlândia: Material Particulado Suspenso.** 2007. 149f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

LOPES, F. **Caracterização Química do Material Particulado Suspenso na Atmosfera Empregando a Fluorescência de Raios X Dispersiva em Energia (EDXRF).** 2003. 106f. Dissertação (Mestre em Ciência)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica Sobre Emissões Atmosféricas. Avaliação do Inventário Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para Fontes Móveis.** 2005. 171f. Dissertação (Mestrando em Ciências em Planejamento Energético)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo do material particulados atmosférico e metais associados as partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto(MG).** 2005. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2005.

MAGALHÃES, L. C., NALINI JUNIOR, H. A., COUTRIM, M. X., LIMA, A. C. Determinação de Metais Traços no Material Particulado em Suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. **Rev. Química Nova**, Ouro Preto, vol. 33, n. 3, p. 519-523. 2010.

MARQUES, R; SANTOS, E. S. Redes de Monitoramento de Material Particulado Inalável, Legislação e Riscos á Saúde. **Rev. Brasileira de Geografia Médica e da Saúde.** [on-line] v. 8, n14. ISSN 1980 – 1726. HYGEIA, 2012.

MARTINIS, B. S. de. **Caracterização química e biológica das partículas respiráveis (PM₁₀) do material particulado atmosférico urbano coletado em um sítio urbano da cidade de São Paulo.** 1997. 133f. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica)-Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MONIZ, A. C. **Estudo Mineralógico de Argilas do Maciço Alcalino de Poços de Caldas.** Tese (Doutorado em Geologia)-Universidade de São Paulo, São Paulo. 1964

MOREIRA, P. R. **Manejo do Solo e Recomposição da Vegetação com Vistas a Recuperação de Áreas Degradadas pela Extração da Bauxita, Poços de Caldas, MG.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)-Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro. 2004

NAPPO, M. E., FILHO, A. T. O., MARTINS, S. V. A Estrutura do Sub-Bosque de Povoamento Homogêneo de *Mimosa scabrella* Bertham, em Área Minerada, em Poços de Caldas, MG. **Rev. Ciências Florestais**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 17-29. ISSN 0103-9954. 2000

OLIVEIRA, E. M. **Dinâmica Locacional das Indústrias e a Produção do Espaço Urbano em Poços de Caldas (MG).** Dissertação (Mestrado em Geografia)- Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro. 2012.

ONURSAL, B.; GAUTAM, S.P. **Vehicular air pollution: experiences from seven Latin American urban centers.** Washington: The World Bank, 1997.

PEREIRA JUNIOR, J. A. **Estudo da Acumulação e Caracterização de Sedimentos em Sarjetas de Vias Urbanas.** 2004. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas. 2014.

PEREIRA, P. A. P.; LOPES, W. A.; CARVALHO, L. S.; Rocha, G. O.; BAHIA, N. C.; LOYOLA, J.; QUITERIO, S. L.; ESCALEIRA, V.; ARBILLA, G.; de ANDRADE, J. B.; Atmospheric concentrations and dry deposition fluxes of particulate trace metals in Salvador, Bahia, Brazil **Atmos. Environ.** 2007, 41, 7837.

PHILIPPI PEREIRA JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. **Saneamento e saúde pública: Controle da qualidade do ar.** In: PHILIPPI PEREIRA JÚNIOR., A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri – SP: Manole, 2005. cap. 12, p.439-484.

QUEIROZ, P. G. M., JACOMINO, V. M. F., MENEZES, M. A. B. C. Composição Elementar do Material Particulado Presente no Aerossol Atmosférico do Município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Rev. Química Nova**, Sete Lagoas, v. 30, n. 5, p. 1233-1239. 2007.

SAMPAIO, F. E. **Metais Associados ao Material Particulado na Região Central da Cidade de Goiânia e os Possíveis Agravos à Saúde da População.** 2012. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais e Saúde)-Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, 2012.

SANTIAGO, A. **Material Particulado Total Suspenso na Baixa Atmosfera em Cuiabá – MT no Período de Queimadas.** 2013. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

SÃO PAULO. **Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013.** Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. São Paulo – SP, 2013.

SILVA FILHO, A. A. **Caracterização e Comportamento das Espécies Ativas Presentes em um Catalisador ZIGLER-NATTA Heterogêneo na Polimerização de α -olefinas.** 2006. 152f. Tese (Doutorando em Química)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SOUZA, J. D. de. **A Influência das Leis Municipais na Estruturação da Paisagem Urbana da Cidade de Poços de Caldas – Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Geografia Física)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TAZINASSI, M. G., TREVISAN, J. E., BRUNO, R. L., POZA, S. A., COURY, J. R. **Identificação de Fontes de Aerossóis Atmosféricos da Cidade de São Carlos-SP.** In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Campinas, 2005. p. 1-6

TINÓS, T. M. **Mapeamento Geológico-Geotécnico a Partir da metodologia de Análise Integrada: Ensaio de Aplicação no Município de Poços de Caldas – MG.** Dissertação (Mestrado em Geociências em Meio Ambiente)-Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 2011.

TIRITAN, C. D., HACKSPACHER, P. C., RIBEIRO, M. C. S., GLASMACHER, U. A., SOUZA, D. H. de. Evolução do Relevo da Região do Planalto de Poços de Caldas (SP/MG), Baseado em Dados. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, p. 291-310. ISSN 2236-5664. 2014

VASCONCELLOS, P. C.; BALASUBRAMANIAN, R.; BRUNS, R. E.; SANCHEZ-CCOYLLO, O.; ANDRADE, M. F.; FLUES, M.; WATER. **Air, Soil Pollut.** 2007, 186, 63.

VIEIRA, N. R. **Poluição do ar: indicadores ambientais.** Rio de Janeiro: e-papers, 2009. 218 p.

ANEXO A: PLANILHA DE CALIBRAÇÃO

AVG PTS - Calibração		Formulário de Registro de Dados		
		Local:		
DADOS DO EQUIPAMENTO				
AVG PTS n°:		Registrador n°:		
DADOS DA CALIBRAÇÃO				
Ponto:	Data:	Hora:		
DADOS AMBIENTAIS				
Temperatura:		Pressão:		
Nota: As condições de referência da Resolução n° 3 do CONAMA são: 25 °C (298 K) para a temperatura ambiente (Tp) e 760 mm Hg (1013,2 mbar) para a pressão barométrica (Pp).				
MEDIÇÕES DA CALIBRAÇÃO				
Placa n°:		Pressão diferencial – dH em cmH ₂ O		Deflexão - D
		Para cima	Para baixo	
18				
13				
10				
7				
5				

Figura 1- Planilha utilizada para o preenchimento dos dados de calibração.

Fonte: Da Autora

Ponto:	
Data:	Hora:
Temperatura:	Pressão:
INÍCIO	
Data:	Hora:
Horâmetro: _____	
TÉRMINO	
Data:	Hora:
Horâmetro: _____	
Número do Filtro:	Calibração : SIM () NÃO ()

Figura 2 - Planilha utilizada para o preenchimento dos dados colhidos em campo para a amostragem.

Fonte: Da Autora

ANEXO B: PLANILHA DE DADOS GERAIS

(continua)

PLANILHA DE DADOS													
Nº Filtro	Ponto	Data _{início}	Data _{final}	Concentração (µg/m³)	Condições Meteorológicas	Tpt Média (°C)	Tpt mín (°C)	Tpt máx (°C)	Pressão (mmHg)	Vel. Ventos (km/h)	Dir. Vento	Umidade Relativa do Ar (%)	Precipitação Pluviométrica (mm)
1a	1	12/06/2014	13/06/2014	43	seco	15	10	26	667,1	8	NE	62	0
2a	1	13/06/2014	14/06/2014	106	seco	15	10	27	666,7	6	N	62	0
1	2	10/12/2104	11/12/2014	14	chuva	19	18	28	762,36	7,2	NO	77	10
2	1	10/12/2104	11/12/2014	34	chuva	19	18	28	762,36	7,2	NO	77	10
3	3	10/12/2104	11/12/2014	13	chuva	19	18	28	762,36	7,2	NO	77	10
4	1	12/12/2014	13/12/2014	26	chuva	27	20	29	763,56	4	E	76	0
5	2	12/12/2014	13/12/2014	10	chuva	27	20	29	763,56	4	E	76	0
6	3	12/12/2014	13/12/2014	17	chuva	27	20	29	763,56	4	E	76	0
7	4	17/12/2014	18/12/2014	81	seco	27	20	29	760,56	7	SE	53	0
8	5	17/12/2014	18/12/2014	17	seco	27	20	29	760,56	7	SE	53	0
9	6	17/12/2014	18/12/2014	53	seco	27	20	29	760,56	7	SE	53	0
10	4	18/12/2014	19/12/2014	99	chuva	28	23	29	762,06	11	E	80	0
11	5	18/12/2014	19/12/2014	22	chuva	28	23	29	762,06	11	E	80	0
12	6	18/12/2014	19/12/2014	79	chuva	28	23	29	762,06	11	E	80	0
13	7	06/01/2015	07/01/2015	68	seco	25	20	30	767,32	4	NE	97	17,5
14	8	06/01/2015	07/01/2015	74	seco	25	20	30	767,32	4	NE	97	17,5
15	9	06/01/2015	07/01/2015	33	seco	25	20	30	767,32	4	NE	97	17,5
16	7	07/01/2015	08/01/2015	45	seco	25	21	34	767,32	7,2	NE	87	0
17	8	07/01/2015	08/01/2015	69	seco	25	21	34	767,32	7,2	NE	87	0
18	9	07/01/2015	08/01/2015	55	seco	25	21	34	767,32	7,2	NE	87	0
19	5	12/01/2015	13/01/2015	23	seco	21	18	29	767,32	20,9	NO	64	0
20	4	12/01/2015	13/01/2015	51	seco	21	18	29	767,32	20,9	NO	64	0
22	5	13/01/2015	14/01/2015	30	chuva	28	21	33	765,82	5,8	NO	70	8
23	4	13/01/2015	14/01/2015	97	chuva	28	21	33	765,82	5,8	NO	70	8
24	3	13/01/2015	14/01/2015	47	chuva	28	21	33	765,82	5,8	NO	70	8
25	1	15/01/2015	16/01/2015	57	seco	29	21	37	764,32	3,6	NO	86	0
26	1	16/01/2015	17/01/2015	67	seco	22	22	36	768,07	4	O	84	0
27	1	17/01/2015	18/01/2015	64	seco	34	23	37	763,56	4	NO	81	0
28	6	19/01/2015	20/01/2014	66	chuva	28	22	38	773,32	7,2	NO	79	0
30	10	21/01/2015	22/01/2015	34	seco	27	22	33	762,81	14,4	NO	79	27,5
31	7	26/01/2015	27/01/2015	20	chuva	20	19	30	765,82	4	SO	80	10
32	8	26/01/2015	27/01/2015	44	chuva	20	19	29	765,82	4	SO	80	10
33	7	27/01/2015	28/01/2015	22	seco	21	20	30	765,82	3,6	NO	94	28
34	8	27/01/2015	28/01/2015	58	seco	21	20	30	765,82	3,6	NO	94	28
35	6	02/02/2015	03/02/2015	49	seco	25	20	30	764,32	7	SO	61	22
36	9	02/02/2015	03/02/2015	32	seco	25	20	30	764,32	7	SO	61	22
37	6	03/02/2015	04/02/2015	50	seco	23	17	33	765,82	4	SO	65	10
38	9	03/02/2015	04/02/2015	42	seco	23	17	33	765,82	4	SO	65	10
39	2	03/02/2015	04/02/2015	28	seco	23	17	33	765,82	4	SO	65	10
40	11	05/02/2015	06/02/2015	24	chuva	19	18	28	760,56	7	SO	96	30,5
41	10	05/02/2015	06/02/2015	17	chuva	19	18	28	760,56	7	SO	96	30,5
42	11	06/02/2015	07/02/2015	12	seco	24	19	29	759,06	7	NE	73	12,5
43	10	07/02/2015	08/02/2015	13	seco	23	18	29	760,56	10	NO	94	28
44	11	07/02/2015	08/02/2015	45	seco	23	18	29	760,56	10	NO	94	28
45	3	09/02/2015	10/02/2015	15	chuva	26	20	30	762,81	7	O	70	5
46	1	09/02/2015	10/02/2015	45	chuva	26	20	30	762,81	7	O	70	5
47	5	09/02/2015	10/02/2015	13	chuva	26	20	30	762,81	7	O	70	5
48	3	10/02/2015	11/02/2015	46	seco	28	21	31	763,56	4	NO	85	2,5
49	1	10/02/2015	11/02/2015	55	seco	28	21	31	763,56	4	NO	84	2,5
50	5	10/02/2015	11/02/2015	19	seco	28	21	31	763,56	4	NO	85	2,5
51	7	23/02/2015	24/02/2015	51	seco	26	16	27	763,56	4,7	NNE	54	0
52	4	23/02/2015	24/02/2015	42	seco	26	16	27	763,56	4,7	NNE	54	0
53	7	24/02/2015	25/02/2015	43	seco	26	15	27	768,07	10,1	NNE	48	0
54	4	24/02/2015	25/02/2015	70	seco	26	15	27	768,07	10,1	NNE	48	0
55	9	25/02/2015	26/02/2015	32	seco	25	15	28	768,07	11,9	NNE	66	0
56	8	25/02/2015	26/02/2015	65	seco	25	15	28	768,07	11,9	NNE	66	0
57	9	26/02/2015	27/02/2015	57	seco	24	15	25	768,07	14,4	NNE	60	2,5
58	8	26/02/2015	27/02/2015	104	seco	24	15	25	768,07	14,4	NNE	60	2,5
59	2	03/03/2015	04/03/2015	37	seco	24	20	28	764,32	7	NE	57	0
60	5	03/03/2015	04/03/2015	17	seco	24	20	28	764,32	7	NE	57	0
62	2	04/03/2015	05/03/2015	6	chuva	26	16	28	766,57	3	NE	61	0
63	5	04/03/2015	05/03/2015	14	chuva	26	16	28	766,57	3	NE	61	0
64	6	05/03/2015	06/03/2015	75	seco	25	16	28	762,81	7	NE	73	37
65	11	06/03/2015	07/03/2015	32	seco	23	17	26	762,81	9	NE	78	0
66	3	06/03/2015	07/03/2015	49	seco	23	17	26	762,81	9	NE	78	0
67	1	06/03/2015	07/03/2015	42	seco	23	17	26	762,81	9	NE	78	0
68	3	07/03/2015	08/03/2015	21	chuva	26	15	28	762,06	7	NO	58	0
69	1	07/03/2015	08/03/2015	28	chuva	26	15	28	762,06	7	NO	58	0
70	11	09/03/2015	10/03/2015	21	chuva	20	17	27	763,56	7	NO	99	45

CONTINUAÇÃO PLANILHA DE DADOS GERAIS

(conclusão)

PLANILHA DE DADOS													
Nº Filtro	Ponto	Data _{início}	Data _{final}	Concentração (µg/m³)	Condições Meteorológicas	Tpt Média (°C)	Tpt mín (°C)	Tpt máx (°C)	Pressão (mmHg)	Vel. Ventos (km/h)	Dir. Vento	Umidade Relativa do Ar (%)	Precipitação Pluviométrica (mm)
72	10	09/03/2015	10/03/2015	11	chuva	20	17	27	763,56	7	NO	99	45
73	8	10/03/2015	11/03/2015	42	chuva	23	17	26	762,81	11	NE	83	32
74	9	11/03/2015	12/03/2015	35	seco	26	19	31	762,06	7	NE	43	0
75	1	11/03/2015	12/03/2015	66	seco	26	19	31	762,06	7	NE	43	0
76	1	12/03/2015	13/03/2015	51	chuva	23	16	25	764,32	7	NE	83	0
77	6	16/03/2015	17/03/2015	56	chuva	24	16	28	764,32	11	NE	58	2,5
78	6	17/03/2015	18/03/2015	55	chuva	22	17	26	765,82	7	SE	78	5
79	3	19/03/2015	20/03/2015	30	chuva	20	17	23	764,32	3	NE	88	20
80	3	20/03/2015	21/03/2015	18	chuva	21	15	26	762,81	5	NE	82	5,5
81	1	20/03/2015	21/03/2015	28	chuva	21	15	26	762,81	5	NE	82	5,5
82	1	21/03/2015	22/03/2015	28	chuva	17	15	22	763,56	7	NO	78	9
83	8	23/03/2015	24/03/2015	92	seco	23	19	28	764,32	11	O	65	15
84	11	23/03/2015	24/03/2015	34	seco	23	19	28	764,32	11	O	65	15
85	8	24/03/2015	25/03/2015	73	seco	21	13	27	766,57	3	O	88	0
86	11	24/03/2015	25/03/2015	30	seco	21	13	26	766,57	3	O	88	0
87	9	25/03/2015	26/03/2015	76	seco	21	13	28	767,32	11	NE	57	0
88	4	25/03/2015	26/03/2015	104	seco	21	13	28	767,32	11	NE	57	0
89	4	26/03/2015	27/03/2015	111	seco	21	17	29	764,32	11	NE	57	0
90	9	26/03/2015	27/03/2015	61	seco	23	17	29	764,32	11	NE	57	0
91	3	30/03/2015	31/03/2015	18	chuva	24	17	29	765,82	3	NO	88	18
92	5	06/04/2015	07/04/2015	16	seco	20	11	29	760,56	18	NO	69	42,5
93	6	06/04/2015	07/04/2015	30	seco	20	11	29	760,56	18	NO	69	42,5
94	5	07/04/2015	08/04/2015	9	seco	19	12	24	763,56	7	S	60	0,5
95	1	09/04/2015	10/04/2015	22	seco	19	12	26	766,57	5	E	73	0
96	4	09/04/2015	10/04/2015	78	seco	19	12	26	766,57	5	E	73	0
97	1	10/04/2015	11/04/2015	48	seco	18	11	22	767,32	5	NE	68	0
98	4	10/04/2015	11/04/2015	59	seco	18	11	22	767,32	5	NE	68	0
99	8	13/04/2015	14/04/2015	119	seco	20	13	27	766,57	11	NE	54	0
100	11	13/04/2015	14/04/2015	56	seco	20	13	27	766,57	11	NE	54	0
101	8	14/04/2015	15/04/2015	114	seco	19	13	27	764,32	11	NE	51	0
102	11	14/04/2015	15/04/2015	54	seco	19	13	26	764,32	11	NE	51	0
104	3	15/04/2015	16/04/2015	54	chuva	18	14	26	764,32	11	NE	69	0
105	3	16/04/2015	17/04/2015	60	chuva	19	16	26	762,81	11	NO	65	8
106	1	24/04/2015	25/04/2015	51	seco	18	14	24	765,82	11	NO	89	0
107	9	24/04/2015	25/04/2015	52	seco	18	14	24	765,82	11	NO	89	0
108	3	24/04/2015	25/04/2015	40	seco	18	14	24	765,82	11	NO	78	0
109	9	25/04/2015	26/04/2015	62	seco	20	16	24	767,32	11	SO	64	0
110	3	25/04/2015	26/04/2015	34	seco	20	16	24	767,32	11	SO	64	0
111	9	26/04/2015	27/04/2015	21	seco	16	11	24	766,57	5	E	93	0
112	3	26/04/2015	27/04/2015	21	seco	16	11	24	766,57	5	E	93	0
113	6	27/04/2015	28/04/2015	71	seco	17	12	24	765,82	7	NO	49	0
114	6	28/04/2015	29/04/2015	79	chuva	15	10	24	764,32	5	NO	88	0
115	11	04/05/2015	05/05/2015	29	chuva	16	12	20	764,32	11	NO	81	0
116	8	04/05/2015	05/05/2015	62	chuva	16	12	20	764,32	11	NO	81	0
117	11	05/05/2015	06/05/2015	26	chuva	17	13	23	767,32	9	SE	78	0
118	8	05/05/2015	06/05/2015	61	chuva	17	13	23	767,32	9	SE	78	0
119	5	06/05/2015	07/05/2015	13	chuva	16	13	22	767,32	12	NE	70	7
120	4	06/05/2015	07/05/2015	53	chuva	16	13	22	767,32	12	NE	70	7
121	5	07/05/2015	08/05/2015	14	chuva	14	9	20	766,57	2	NE	81	30
122	4	07/05/2015	08/05/2015	60	chuva	14	9	20	766,57	2	NE	81	30
123	10	11/05/2015	12/05/2015	11	chuva	15	13	17	763,56	14	NE	99	35
124	1	11/05/2015	12/05/2015	37	chuva	15	13	17	763,56	14	NE	99	35
125	2	11/05/2015	12/05/2015	16	chuva	15	13	16	763,56	14	NE	99	35
126	10	12/05/2015	13/05/2015	30	chuva	11	8	16	765,82	2	SO	93	4
127	1	12/05/2015	13/05/2015	61	chuva	11	8	16	765,82	2	SO	93	4
128	9	18/05/2015	19/05/2015	29	chuva	14	9	16	769,57	11	NE	77	0
129	3	18/05/2015	19/05/2015	28	chuva	14	9	16	769,57	11	NE	77	0
130	4	20/05/2015	21/05/2015	97	chuva	12	10	17	768,07	9	E	82	0
131	6	20/05/2015	21/05/2015	49	chuva	12	10	17	768,07	9	E	82	0
132	4	21/05/2015	22/05/2015	92	seco	12	10	17	770,32	18	E	68	0
133	6	21/05/2015	22/05/2015	41	seco	12	10	17	770,32	18	E	68	0
134	8	25/05/2015	26/05/2015	77	seco	16	13	21	768,82	3	NO	64	0
135	11	25/05/2015	26/05/2015	46	seco	16	13	21	768,82	3	NO	64	0
136	8	26/05/2015	27/05/2015	74	seco	15	12	21	768,82	5	NE	61	0
137	11	26/05/2015	27/05/2015	40	seco	15	12	21	768,82	5	NE	61	0
138	1	27/05/2015	28/05/2015	65	seco	16	12	20	766,57	10	E	60	0
139	5	27/05/2015	28/05/2015	23	seco	16	12	20	766,57	10	E	60	0

ANEXO C: PLANILHA DE ANÁLISES QUÍMICAS

Amostra	Unidade	AM 49	AM 02a	AM 01	AM 39	AM 24	AM 48	AM 10	AM 52	AM 19	AM 50	AM 12	AM 09	AM 53	AM 51	AM 58	AM 32	AM 57	AM 18	AM 30	AM 41	AM 44	AM 42
Coleta		Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4		Ponto 5		Ponto 6		Ponto 7		Ponto 8		Ponto 9		Ponto 10		Ponto 11	
Massa	%	73,4008	81,1921	75,1729	73,8862	74,2140	74,8212	70,9181	73,1404	74,6830	74,7792	70,6889	72,5676	74,0247	74,5847	74,2782	73,9971	74,3646	74,9762	76,2945	74,7206	74,5681	75,0308
F	%	0,236	0,111	0,211	0,186	0,248	0,232	0,173	0,148	0,312	ND	0,265	0,194	0,251	0,335	0,203	0,203	0,286	0,318	0,254	ND	0,246	0,297
Na ₂ O		6,834	5,416	8,059	7,682	6,598	7,463	6,292	6,559	7,460	8,010	6,732	6,455	6,513	6,986	5,763	6,638	6,644	6,669	7,804	8,267	7,311	7,774
MgO		0,631	0,531	0,754	0,725	0,789	0,831	0,645	0,581	0,623	0,748	0,855	0,855	0,742	0,781	0,627	0,759	0,841	0,822	0,875	0,770	0,734	0,838
Al ₂ O ₃		6,393	5,819	5,177	5,540	8,809	6,115	7,387	6,708	5,852	4,777	6,992	7,650	7,729	8,266	8,922	6,721	7,866	9,362	6,758	4,597	6,318	5,804
SiO ₂		46,663	41,816	49,263	47,628	45,313	47,844	44,053	45,851	47,772	48,611	43,675	44,050	46,205	46,704	45,344	46,475	46,339	44,806	46,987	48,495	47,655	48,490
P ₂ O ₅		0,205	0,077	0,097	0,129	0,111	0,193	0,119	0,097	0,136	0,298	0,130	0,148	0,113	0,128	0,145	0,176	0,118	0,128	0,208	0,162	0,152	0,156
SO ₃		0,655	0,880	0,275	0,621	0,812	0,421	0,902	0,920	0,725	0,352	0,858	1,152	1,089	0,573	0,675	0,729	0,698	1,153	1,264	0,293	0,494	0,460
Cl		0,066	0,185	0,055	0,058	0,085	0,090	0,068	0,102	0,078	0,174	0,059	0,133	0,067	0,121	0,076	0,067	0,073	0,090	0,084	0,061	0,082	0,068
K ₂ O		2,783	2,594	2,439	2,459	2,467	2,573	2,490	2,662	2,716	2,612	2,454	2,561	2,557	2,460	2,767	2,640	2,533	2,511	2,835	2,544	2,626	2,567
CaO		2,515	2,408	2,736	2,698	2,759	2,832	2,834	2,783	2,537	2,689	2,644	2,955	2,897	2,719	2,732	2,738	2,852	2,796	2,835	2,626	2,716	2,788
TiO ₂		0,079	0,085	0,045	0,060	0,106	0,057	0,093	0,079	0,064	0,049	0,076	0,086	0,078	0,077	0,103	0,091	0,096	0,085	0,077	0,055	0,065	0,057
Cr ₂ O ₃		0,052	0,045	0,083	0,065	0,043	0,051	0,073	0,072	0,046	0,062	0,055	0,051	0,045	0,051	0,058	0,058	0,035	0,055	0,051	0,058	0,053	0,054
MnO		0,010	0,012	0,007	0,006	0,018	0,010	0,015	0,018	0,011	0,007	0,010	0,012	0,010	0,001	0,026	0,015	0,008	0,016	0,008	0,000	0,009	0,009
Fe ₂ O ₃		0,371	0,355	0,303	0,320	0,516	0,316	0,530	0,490	0,315	0,219	0,411	0,461	0,396	0,335	0,469	0,387	0,408	0,498	0,330	0,217	0,305	0,265
NiO		0,002	0,004	0,010	0,010	0,006	0,005	0,009	0,010	0,006	0,005	0,004	0,006	0,005	0,004	0,007	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005
CuO		0,304	15,481	0,725	0,548	0,461	0,545	0,254	0,402	0,449	0,744	0,432	0,687	0,198	0,005	0,884	1,087	0,467	0,435	1,251	1,267	0,371	0,395
ZnO		1,346	1,434	1,186	1,230	1,199	1,233	1,233	1,424	1,289	1,278	1,240	1,204	1,214	1,135	1,328	1,216	1,210	1,207	1,182	1,301	1,282	1,166
Rb ₂ O		0,022	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,025	0,001	0,001	0,027	0,001	0,001	0,001	0,001	0,024	0,026	0,001	0,001	0,001
SrO		0,006	0,009	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005
Y ₂ O ₃		ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ZrO ₂		0,002	0,005	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,031	0,002	0,002	0,002	0,002	0,077	0,073	0,002	0,066	0,083	0,002	0,002	0,002	0,002
MoO ₃		ND	ND	0,001	0,001	ND	ND	0,001	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	3,807	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BaO		4,223	3,921	3,739	3,909	3,864	3,998	3,722	4,218	4,228	4,135	3,787	3,869	3,906	0,002	4,038	3,963	3,810	3,902	3,807	3,992	4,135	3,826
PbO		0,001	ND	ND	ND	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	ND	0,001	0,002	0,002	ND	0,002	0,001	0,002	0,002	ND	0,001	ND	0,002
C (Carbono)		0,891	2,32	0,19	0,41	0,64	0,55	1,19	0,82	0,33	0,37	1,30	1,25	0,32	0,73	1,25	0,86	0,94	0,84	0,19	0,38	0,5	0,36
LOI 925 °C		1,88	4,80	5,14	3,88	2,32	1,68	3,88	2,24	2,44	2,04	3,22	4,26	2,72	3,38	1,96	2,36	2,56	2,00	4,64	1,66	1,34	0,74
ND	ND - NÃO DETECTADO OU ABAIXO NO LIMITE DE DETECÇÃO																						