



Universidade Federal da Bahia
Escola Politécnica
Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana - MEAU

Ingrid Priscylla Silva Araújo

**METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM CANTEIROS DE OBRAS**

Salvador – Bahia

2014

Ingrid Priscylla Silva Araújo

**METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO DE MATERIAL
PARTICULADO EM CANTEIROS DE OBRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Orientadora: Dayana Bastos Costa

Salvador - Bahia

2014

A663 Araújo, Ingrid Priscylla Silva.
Metodologia para medição de emissão de material
particulado em canteiros de obras / Ingrid Priscylla Silva Araújo. –
Salvador, 2014.
184f. : il. color.
Orientadora: Prof. Dra. Dayana Bastos Costa.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Escola Politécnica, 2014.

1. Poluição – aspectos ambientais. 2. Material particulado -
medição. 3. Canteiro de obras. 4. Construção civil. I. Costa,
Dayana Bastos. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD: 624

INGRID PRISCYLLA SILVA ARAÚJO

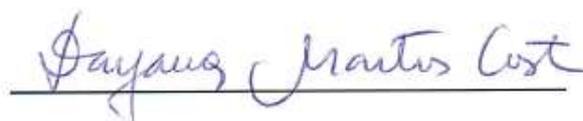
“METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO DE
MATERIAL PARTICULADO EM CANTEIROS DE OBRAS”

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

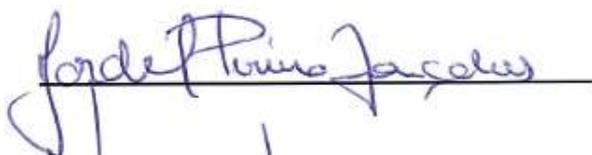
Salvador, 17 de julho de 2014

Banca Examinadora:

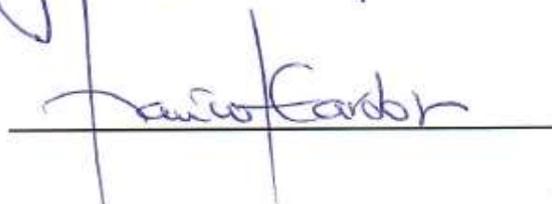
Profa Dra. Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia – UFBA



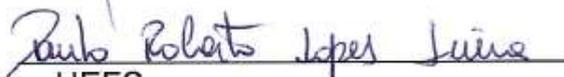
Prof. Dr. Jardel Pereira Gonçalves
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Profº Dr. Francisco Ferreira Cardoso
Universidade de São Paulo – USP



Profº. Drº. Paulo Roberto Lopes Lima
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS



DEDICATÓRIA

A Deus por mais
uma vitória.

AGRADECIMENTOS

A Deus Eterno e Poderoso que me dá forças e me protege aonde quer que eu vá.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo.

À FINEP (Financiadora Nacional de Projetos) pelo financiamento do Projeto CANTECHIS - Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentáveis de Habitação de Interesse Social.

À minha orientadora, Dayana Bastos Costa, que se fez presente me auxiliando e contribuindo para o enriquecimento deste trabalho.

Aos professores da Escola Politécnica da UFBA pelo fortalecimento do conhecimento. Em especial aos professores Jardel Pereira Gonçalves e Ricardo Fernandes Carvalho pelo apoio e colaboração durante a realização deste trabalho.

Aos examinadores externos e professores Francisco Ferreira Cardoso e Paulo Roberto Lopes Lima pela colaboração nesta pesquisa.

Agradeço muitíssimo ao meu noivo por estar sempre ao meu lado me incentivando e me tranquilizando, e pelo seu amor e apoio incondicionais.

À equipe de pesquisadores do SPEMP/UFBA, todos os bolsistas de iniciação científica que fizeram ou fazem parte do CANTECHIS, em especial Danilo e Jair que me deram uma enorme força nas coletas e a grande amiga Rita que sempre esteve presente nos momentos mais difíceis na realização deste trabalho.

À equipe do CANTECHIS da USP, UFScar e UFRGS pelas discussões e aprendizado.

Ao grupo do LAPAT/IA/USP, em especial à Rosana Astolfo, especialista em laboratório e mestre geociências, pela realização das análises químicas e assessoramento na análise dos dados.

Ao químico Jesuino Romano, gerente da Divisão de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB, pelo assessoramento na análise dos dados.

Agradeço também, à empresa construtora que colaborou com a pesquisa de campo, recebendo a nossa equipe de portas abertas.

À minha família, em especial à minha querida Mãe.

“Jesus respondeu: Eu sou o caminho, a verdade e a vida.”

(João 14.6)

RESUMO

A construção civil é reconhecida como uma das barreiras ao desenvolvimento sustentável. Dentre os impactos que a construção civil emite destaca-se à poluição por emissão de Material Particulado (MP). A identificação e caracterização da concentração de particulados emitidos a partir de canteiros de obra apresentam grandes desafios, devido a características diversificadas desse particulado sob vários aspectos tais como concentração produzida, tamanho de partícula e composição de partícula. Além disso, tem-se sobre os particulados a influência dos condicionantes meteorológicos que influenciam diretamente na concentração desses poluentes na atmosfera. Para assegurar a poluição de MP em menores proporções, faz-se necessário que as construções gerenciem sua emissão, identificando riscos e implantando ferramentas de controle desde a etapa inicial do projeto até a conclusão e entrega da edificação. Entretanto, no Brasil, não se tem conhecimento de trabalhos que abordem e que tratem de medições destas emissões de MP em canteiros de obras em suas diferentes fases, com foco de estudo na vizinhança, levantando dados quantitativos e qualitativos do material particulado. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para avaliar a emissão de MP em diferentes fases de atividades dos canteiros de obra, prioritariamente em edificações habitacionais com foco no impacto à vizinhança. A estratégia de pesquisa adotada foi o experimento, onde é aplicado um protocolo, desenvolvido nesta pesquisa, que padroniza critérios durante a fase de seleção dos canteiros, preparação em laboratório, coleta de amostras nos canteiros e encaminhamento das amostras para análise em laboratório. Os resultados das análises gravimétricas e de concentração do MP coletado indicaram que as atividades do canteiro impactaram ambientalmente por maior emissão das Partículas Totais em Suspensão (PTS) no período estudado, que por sua vez, possuem características aerodinâmicas que favorecem sua deposição na vizinhança imediata ao canteiro. A partir das análises químicas foi observado um comportamento similar com a presença mais expressiva dos elementos Ca, Si, Cl, Al e Fe, independente da fase de medição. Por último, alcançou-se uma metodologia estruturada para medição de MP em canteiros de obras que pode ser aplicada em estudos futuros.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica; Material Particulado; Impactos Ambientais e Canteiro de Obras.

ABSTRACT

The construction industry is recognized as one of the barriers for sustainable development. Among of the impacts that the construction site emits, it is possible to highlight the pollution of the emission of Particulate Matter (PM). The identification and characterization of PM concentrations from construction site promote major challenges, due to the diverse characteristics related to different aspects such as concentration, particle size, particle composition and others. Moreover, the characterization of the particulate matter is influenced by meteorological conditions that directly influence the concentration of these pollutants in the atmosphere. To ensure the pollution of PM in smaller proportions, it is necessary to manage the construction's emission, identifying your risks, establishing mitigation measure since the initial stage of the project to completion and delivery of the buildings. However, in Brazil, there is a lack of works addressing the measurements of PM emissions on construction site, considering the different construction phases and focus on the impacts for the neighborhood. Besides, there is a lack of quantitative and qualitative data concerning particulate matter on construction site in the national and international literature. The main objective of this work is to develop a methodology to assess an emission of PM in different construction phases on construction site, especially in residential buildings focusing on the impact for the neighborhood. The research strategy adopted was the experiment, being applied a developed protocol which standardizes criteria during the selection of the construction sites, lab preparation, sample collection, and forwarding samples for lab data analysis. The results of gravimetric analysis and concentration of PM indicated that the construction activities impacted environmentally through a higher emission of TSP during the studied period, which has an aerodynamic characteristic that favor its deposition on the immediate neighborhood of the construction site. Also, it was identified the high concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} which can be dispersed in local, meso and global scales. From chemical analysis it was observed a similar behavior with the more expressive presence of elements Ca, Si, Cl, Al and Fe independent of the phase of the work. Finally, a structured methodology was proposed in order to measure the PM on construction sites that can be applied in future studies.

Keywords: Atmospheric Pollution; Particulate Matter; Environmental Impacts and Construction Sites.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.2	HIPÓTESES	21
1.3	OBJETIVOS.....	22
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	22
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	23
2	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E MATERIAL PARTICULADO	24
2.1	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	24
2.2	MATERIAL PARTICULADO	26
2.2.1	Classificação	28
2.2.2	Propriedades físicas.....	28
2.2.3	Propriedades fisiológicas e químicas	32
2.2.4	Propriedades morfológicas.....	34
2.2.5	Equipamentos para medição de material particulado	36
2.2.6	Influência de fatores meteorológicos.....	38
2.2.7	Legislação	40
3	MATERIAL PARTICULADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	46
3.1	O MATERIAL PARTICULADO E AS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS	48
3.2	MATÉRIAS PRIMAS DA FASE DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	50
3.3	GESTÃO E MONITORAMENTO DO MP EM CANTEIRO DE OBRAS	53
3.3.1	Plano de Gestão	55
3.3.2	Aplicação de boas práticas para redução da emissão	56
4	MÉTODO DE PESQUISA	61
4.1	ESTRUTURA DO EXPERIMENTO	61
4.1.1	Referencial Teórico	62
4.1.2	Instrumentos de coleta.....	63
4.1.2.1	Equipamentos utilizados	63
4.1.2.2	Critérios de medição	69
4.1.2.3	Preparação do Protocolo de campo e laboratório	70
4.1.3	Aplicação da metodologia em um canteiro piloto	75
4.1.3.1	Seleção do canteiro piloto	75
4.1.3.2	Validação, revisão e ajustes dos critérios e instrumentos	75
4.1.3.3	Coletas do Material Particulado nas Fases 1, 2 e 3	76

4.1.3.4	Análises dos dados.....	79
4.1.3.4.1	Análises Físicas: gravimetria e concentração	80
4.1.3.4.2	Análise Química: Fluorescência de Raio-X.....	83
4.1.3.4.3	Análise da taxa de sedimentação	86
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	90
5.1	SELEÇÃO DO CANTEIRO PILOTO.....	90
5.2	SIMULAÇÃO DO EXPERIMENTO	93
5.3	RESULTADOS DA COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO PILOTO	101
5.3.1	Análise quantitativa e qualitativa do Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3.....	105
5.3.1.1	Análise do Ponto 1	105
5.3.1.2	Análise do Ponto 2	109
5.3.1.3	Análise do Ponto 3	113
5.3.1.4	Análise geral dos MP nos Pontos 1, 2 e 3.....	117
5.3.2	Análise quantitativa e qualitativa do Ponto Fixo.....	122
5.3.3	Análise quantitativa e qualitativa Ponto fixo MP ₁₀ (8 horas) x MP ₁₀ (22horas)	127
5.3.4	Análise qualitativa dos <i>sticky pads</i>	130
5.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	132
6	PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO DE MP EM CANTEIROS DE OBRAS	139
6.1	ESTRUTURA DO EXPERIMENTO	139
6.1.2	Simulação do experimento	141
6.1.3	Experimento sem mitigação.....	141
6.1.4	Experimento com mitigação.....	141
6.1.5	Análises dos dados.....	141
7	CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ...	143
7.1	CONCLUSÕES FINAIS.....	143
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	144
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
	APÊNDICES.....	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fração de MP e sua entrada no sistema respiratório	31
Figura 2: Morfologia de MP	35
Figura 3: Morfologia de MP e composição química	36
Figura 4: Gráfico de evolução da fração de MP	47
Figura 5: Delineamento da pesquisa	62
Figura 6: Amostrador Portátil de pequeno volume - MiniVols	63
Figura 7: Baterias e Carregador dos MiniVols	64
Figura 8: Coletores dos MiniVols	65
Figura 9: Filtros	66
Figura 10: Adesivo <i>Sticky Pad</i>	67
Figura 11: Estação meteorológica Davis Vantage Vue	68
Figura 12: Andaime e equipamentos instalados no canteiro	68
Figura 13: Equipamentos utilizados na pesquisa	69
Figura 14: Delineamento do protocolo do experimento	71
Figura 15: Instalação dos equipamentos na simulação do experimento	75
Figura 16: Localização dos pontos de amostragem	78
Figura 17: Equipamentos no (a) Ponto Fixo, (b) Ponto 1, (c) Ponto 2 e (d) Ponto 3	79
Figura 18: Balança analítica Mettler Toledo do LAPAT/IAG/USP	81
Figura 19: Equipamento de Fluorescência de Raio-X modelo EDX 700 HS “Energy Dispersive X-Ray Spectrometer” da Shimadzu do LAPAT/IAG/USP	84
Figura 20: Fonte do Raio-X	84
Figura 21: Carrossel para análise elementar das amostras	85
Figura 22: Leitor dos <i>Sticky pads</i>	86
Figura 23: Mapa esquemático da região do canteiro piloto	91
Figura 24: Canteiro Piloto	92
Figura 25: Medição da estação meteorológica	94
Figura 26: Detalhe da estação meteorológica	94
Figura 27: Implantação do canteiro piloto e marcação do vento predominante	95
Figura 28: Equipamento instalado a montante e a jusante	96
Figura 29: Retirada dos filtros	97
Figura 30: Vazão final do MiniVol	97
Figura 31: Substituição das baterias dos MiniVols	98
Figura 32: Processo de manuseio dos filtros	99
Figura 33: Alocação dos novos filtros nos coletores dos MiniVols	100

Figura 34: Gráfico de evolução comparando as concentrações de PTS, MP ₁₀ e MP _{2,5} em µg/m ³ nos diferentes dias de medição do Ponto 1	106
Figura 35: Percentual dos elementos químicos das amostras de MP _{2,5} e MP ₁₀ do Ponto 1 - Fase 1	109
Figura 36: Gráfico de evolução comparando as concentrações de PTS, MP ₁₀ e MP _{2,5} em µg/m ³ nos diferentes dias de medição no Ponto 2.....	110
Figura 37: Percentual dos elementos químicos das amostras de MP _{2,5} e MP ₁₀ do Ponto 2 - Fase 2.....	113
Figura 38: Gráfico de evolução comparando as concentrações de PTS, MP ₁₀ E MP _{2,5} em µg/m ³ nos diferentes dias de medição no Ponto 3.....	114
Figura 39: Percentual dos elementos químicos das amostras de MP _{2,5} e MP ₁₀ do Ponto 3 - Fase 3.....	117
Figura 40: Gráfico <i>box plot</i> comparando as concentrações de PTS em µg/m ³ nos diferentes pontos de medição.....	119
Figura 41: Gráfico <i>box plot</i> comparando as concentrações de MP ₁₀ em µg/m ³ nos diferentes pontos de medição.....	119
Figura 42: Gráfico <i>box plot</i> comparando as concentrações de MP _{2,5} em µg/m ³ nos diferentes pontos de medição.....	120
Figura 43: MP _{2,5} - Percentual dos elementos químicos (Pontos 1, 2 e 3).....	121
Figura 44: MP ₁₀ - Percentual dos elementos químicos (Pontos 1, 2 e 3).....	122
Figura 45: Gráfico <i>box plot</i> comparando no Ponto Fixo as concentrações de PTS em µg/m ³ nas diferentes fases de medição	123
Figura 46: Gráfico <i>box plot</i> comparando no Ponto Fixo as concentrações de MP ₁₀ em µg/m ³ nas diferentes fases de medição	124
Figura 47: Gráfico <i>box plot</i> comparando no Ponto Fixo as concentrações de MP _{2,5} em µg/m ³ nas diferentes fases de medição	125
Figura 48: MP _{2,5} - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)	126
Figura 49: MP ₁₀ (8 horas) - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)	127
Figura 50: Gráfico <i>box plot</i> comparando no Ponto Fixo as concentrações de MP ₁₀ (22 horas) em µg/m ³ nas diferentes fases de medição	128
Figura 51: MP ₁₀ (22 horas) - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)	130
Figura 52: Pontos <i>Sticky pads</i>	131
Figura 53: Atividades mitigadoras - Demolição e Movimentação de Terra.....	136
Figura 54: Atividades Mitigadoras - Serviços de construção	136
Figura 55: Atividades Mitigadoras - Transporte	137
Figura 56: Delineamento do experimento	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Divisão do trato respiratório pelo mecanismo de deposição das partículas.....	30
Quadro 2: Equipamentos para medição	37
Quadro 3: Relação de materiais e componentes usados na fase de produção da construção civil (continua)	51
Quadro 4: Principais fontes de geração de MP nas atividades dos canteiros de obras ...	54
Quadro 5: Sugestão de ações para plano de gestão.....	56
Quadro 6: Boas práticas para reduzir a emissão de MP na construção civil (continua) ...	57
Quadro 7: Resumo das análises físicas e químicas realizadas na metodologia proposta	89
Quadro 8: Resumo das análises físicas e químicas que devem ser realizadas a partir da metodologia proposta	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Emissão de partículas em algumas cidades brasileiras	27
Tabela 2: Referência de qualidade do ar e metas interinas para MP para concentração média anual	41
Tabela 3: Referência de qualidade do ar e metas interinas para MP da WHO para concentração de 24 horas	41
Tabela 4: Padrões nacionais de qualidade do ar - Resolução 03/1990 do CONAMA.....	42
Tabela 5: Critérios para episódios agudos de poluição do ar - Resolução 03/1990 do CONAMA	43
Tabela 6: Padrões de qualidade do ar adotados pelos EUA.....	44
Tabela 7: Padrões de Qualidade do Ar no Reino Unido.....	45
Tabela 8: Sticky pads - %EAC/day.....	87
Tabela 9: <i>Sticky pads</i> - nível de incômodo	88
Tabela 10: Condições meteorológicas - Fase 1	102
Tabela 11: Condições meteorológicas – Fase 2	103
Tabela 12: Condições meteorológicas – Fase 3	104
Tabela 13: Estatística descritiva das concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do Ponto 1	106
Tabela 14: Estatística descritiva das concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do Ponto 2	110
Tabela 15: Estatística descritiva das concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do Ponto 3	114
Tabela 16: PTS - Concentração e gravimetria médias nas diferentes fases de medição	123
Tabela 17: MP_{10} - Concentração e gravimetria médias nas diferentes fases de medição	124
Tabela 18: $\text{MP}_{2,5}$ - Concentração e gravimetria médias nas diferentes fases de medição	125
Tabela 19: Estatística descritiva no Ponto Fixo das concentrações de MP_{10} (22 horas) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a gravimetria média em μg nas diferentes fases de medição.....	129
Tabela 20: Resultado dos <i>sticky pads</i> da Fase 1	131
Tabela 21: Resultado dos <i>sticky pads</i> da Fase 2.....	132
Tabela 22: Resultado dos <i>sticky pads</i> da Fase 3.....	132

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASS	Espectometria de absorção atômica
BEPAC	Building Environmental Performance Assessment Criteria
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CANTECHIS	Projeto de Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentáveis de Habitação de Interesse Social
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CERQUAL	Certification Qualité Logement
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EDX	Energia Dispersiva de Raio-X
EPA	<i>Environment Protection Act</i> (Reino Unido)
EUA	Estados Unidos
FINEP	Financiadora Nacional de Projetos
GBC Brasil	Green Building Council Brasil
HiVol	Amostrador de Grande Volume
MiniVol	Amostrador de Pequeno Volume
HQE	Haute Qualité Environnementale des Bâtiments
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IC	Cromatografia Iônica
ICP-AES	Espectometria de emissão atômica por plasma induzido

ICP-MS	Espectometria de massa por plasma induzido
LAPAT	Laboratório de Análises e Processos Atmosféricos
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NABERS	National Australian Buildings Environmental Rating System
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
TEOM	Tapered Element Oscilating Monitor
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGBC	United States Green Building Council
USP	Universidade de São Paulo
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MP	Material Particulado
MP_{2,5}	Material Particulado menor que 2,5 µm
MP₁₀	Material Particulado entre 2,5 µm e 10 µm
NAA	Análise por ativação de nêutrons
NIST	National Institute of Standards and Techonology
PIXE	Emissão de raios-x por partículas induzidas
PNOC	Particulates not Otherwise Classifield
PNOS	Partículas não especificadas de outra maneira
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SPEMP	Sub-projeto de Desenvolvimento de Soluções para Redução da Emissão de Material Particulado
US EPA	United States Environmental Protection Agency
XRF	Fluorescência de Raio-X
WinQXAS	Windows X-Ray Analysis

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como uma das barreiras ao desenvolvimento sustentável, com interferências desde a escala local até a escala global (SILVA, 2003; GIBALTRAR, 2010). Um dos impactos ambientais causados pelas construções é a geração de poluição atmosférica. As fontes de poluição resultantes de processos de construção incluem gases nocivos, ruído, poeira e resíduos sólidos (TAH; ABANDA, 2011).

Por outro lado, a construção sustentável busca atuar nestes desafios, na medida em que estabelece parâmetros por meio de políticas nacionais e internacionais, bem como metodologias de certificação ambiental que limitam os impactos ambientais, econômicos e sociais da construção, além de considerar o ciclo de vida da edificação de forma completa, desde a concepção do projeto até o processo de demolição e reciclagem (NASCIMENTO, 2008).

Para tanto, tem-se que o maior desafio deste século XXI para o setor da construção civil é o de construir de forma sustentável, buscando conciliar duas importantes interfaces: o impacto ambiental da construção civil e os seus aspectos econômicos e sociais. Deste modo, construir de forma sustentável representa pensar melhor na qualidade de vida do presente com extensão às gerações futuras (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

A sustentabilidade na construção pode ser implementada de forma gradual em que se aplicam ações estratégicas nos itens prioritários, ou seja, em suas atividades mais impactantes. Além disso, faz-se necessário associar a construção sustentável a um processo dinâmico, no qual metas têm que ser continuamente conferidas e melhoradas (GEHLEN, 2008).

Por este motivo, há a importância de se investigar os impactos ambientais para se nomear prioridades, de acordo com o contexto e a necessidade específica de cada construção. Ao se priorizar os impactos que precisam ser reduzidos ou eliminados, podem ser definidas as tecnologias e as ações necessárias para minimizá-los, e, até, evitar os impactos nocivos, estabelecendo os riscos, as atividades emissoras e, portanto, as ferramentas necessárias para prevenção, controle e monitoramento das atividades (SILVA, 2003).

Um dos impactos ambientais causado pelas construções é a geração de poluição atmosférica por emissão de material particulado (MP) que causa sérios danos aos meios físico, biótico e antrópico (EUROPEAN COMMISSION, 2006). Em vários países, os canteiros de obras são reconhecidos como uma das principais fontes de poluição por partículas (GIBRALTAR, 2010). Apesar dos avanços tecnológicos alcançados pela construção civil com o uso de técnicas de construção inovadoras, estas ainda não são suficientes para reduzir os impactos ambientais gerados pela emissão de material particulado, visto que estas práticas precisam estar associadas a uma boa gestão da obra (AMOR, 2012).

No âmbito das poluições emitidas por atividades dos canteiros de obra, a de MP na atmosfera, segundo Wang, Pereira e Hung (2004), consiste na mistura de partículas sólidas e/ou líquidas (exceto água pura) encontradas no ar, com características químicas e físicas distintas, emitidas por fontes poluidoras ou formadas na atmosfera e que pode ser responsável por uma série de problemas respiratórios e cardíacos, além de danos à flora e à fauna, incômodos à vizinhança, danos ao solo, à água e à qualidade do ar, entre outros aspectos. O Material Particulado (MP) constitui partículas com diâmetro que pode variar de $0,001\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$ que se dividem em 03 grupos: $\text{MP}_{2,5}$ - Partículas respiráveis, partículas com diâmetro aerodinâmico¹ até $2,5\mu\text{m}$; MP_{10} - Partículas Inaláveis, partículas com diâmetro aerodinâmico entre $2,5\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$; e, Partículas Totais em Suspensão - PTS, partículas com diâmetro aerodinâmico até $100\mu\text{m}$.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os impactos ambientais devido à emissão de material particulado decorrente das diversas atividades dos canteiros de obra, como atividades de demolição, movimentação de terra, transporte, remoção de materiais e resíduos, armazenamento e etapas de construção - desde a execução de obra bruta até a etapa de acabamentos - ainda é um tema pouco tratado na literatura e com limitações em suas aplicações práticas, principalmente no Brasil (COLE; ROSSEAU, 1992; MUÑOZ; PALACIOS, 2001; TAM *et al.*, 2005; ARAÚJO; CARDOSO, 2007).

¹ O diâmetro aerodinâmico é o diâmetro de uma esfera de densidade unitária 1g/cm^3 que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação da partícula em estudo. Está relacionado à força gravitacional e à inércia.

A poluição por MP e sua dispersão na atmosfera é um desafio para a construção civil, visto que a grande variedade das suas atividades apresenta grande potencial para desprender e emitir MP no ambiente, criando desta forma, durante o decorrer da obra emissões com características diferenciadas, tais como o seu tamanho, composição, nível de concentração, o tempo de suspensão no ar, entre outras, que são de grande importância para o monitoramento (LIPFERT, 1994; FERREIRA; FELICIANO *et al.*, 2004; FORTI; ALVALA, 2012).

Este particulado ao penetrar no sistema respiratório causa várias doenças, tais como: silicose, asma, bronquite, alergia, arritmia cardíaca e ataque do coração (CHENG; CHIANG; TANG, 2005; ARAÚJO; CARDOSO, 2007). Algumas dessas partículas podem ser vistas a olho nu (poeiras ou fumaças), mas outras somente com o uso de microscópios eletrônicos, como é o caso das partículas com diâmetros iguais ou menores a 10 μ m.

A garantia de controle das emissões de partículas depende de um planejamento adequado, que identifique os riscos envolvidos, as atividades emissoras e as ferramentas de prevenção, controle e monitoramento. Além disso, depende de uma transferência adequada dessas informações às equipes de produção e de um controle contínuo para sua aplicação (RESENDE, 2007). Todos esses fatores só se tornam viáveis se existir um plano de gestão, de modo que garanta que as ações sejam corretamente aplicadas até a fase de conclusão da obra, quando o canteiro é desfeito e a edificação liberada aos moradores, finalizando-se a fase de construção e iniciando-se a fase de operação do edifício (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

Para este planejamento adequado, existe a necessidade de parâmetros sobre a quantificação dessas emissões de MP específicos para a construção civil (TAM *et al.*, 2005). Além disso, faz-se necessário conhecer a relação entre o tipo e teor dessas partículas nas diferentes fases da obra, bem como a intensidade do incômodo provocado na vizinhança (RESENDE, 2007). Entretanto, ainda há escassez de estudos específicos na construção civil, principalmente no Brasil.

A metodologia para medição de MP a partir de um canteiro habitacional apresenta desafios específicos, diferentes de outras metodologias desenvolvidas, por exemplo, para medir emissões de veículos. Além disso, nem sempre é possível adaptar as poucas metodologias existentes para canteiros de obra desenvolvidas em outros países, pois as

tecnologias construtivas empregadas no Brasil e as condições climáticas são por diversas vezes diferentes (RESENDE, 2007).

Outro desafio são as características peculiares de cada canteiro que devem ser avaliadas, levando-se em conta os riscos envolvidos, as atividades emissoras e a existência de ferramentas de prevenção e controle. Esta tarefa é bastante complexa, pois vários aspectos devem ser considerados, tais como: o tamanho da obra, o número de atividades desenvolvidas no canteiro, a duração da obra e a sensibilidade das edificações vizinhas (RESENDE; CARDOSO, 2008).

Não só o MP, mas fatores como a velocidade do vento, condições meteorológicas, a topografia do terreno, as características do canteiro e do seu entorno podem causar variações nos resultados do monitoramento. Pelos motivos expostos, há necessidade de controlar as variáveis climáticas para melhor compreensão do comportamento do MP em cada canteiro, levando em conta a variação no comportamento destas medições de forma a garantir resultados reais dos níveis de emissão de MP dos canteiros na vizinhança (NASCIMENTO, 2008).

Outro desafio presente no canteiro de obras, em relação a outros tipos de fontes emissoras é que o edifício se transforma ao longo de sua construção, não só no tipo de emissão, mas na própria forma e tamanho, causando comportamentos diferenciados frente às influências meteorológicas, entre outras variáveis que precisam ser analisadas e correlacionadas à emissão de MP (UNITED STATES *ENVIRONMENT PROTECTION ACT* – US EPA, 2004).

Neste sentido, faz-se também necessário se preocupar com a etapa de produção da construção, pois os canteiros de obras são capazes de gerar grandes emissões e resíduos nocivos às pessoas e, em grande instância, a vizinhança e os trabalhadores (US EPA, 2004).

Assim, conforme o exposto, esse trabalho se justifica pela necessidade de inicialmente identificar a metodologia apropriada para medição qualitativa e quantitativa da emissão de material particulado em canteiros, levando em consideração as características das obras brasileiras. Além disso, existe a necessidade de caracterizar o MP, avaliar sua concentração no ambiente e a contribuição da emissão de MP do canteiro na vizinhança

como forma de subsidiar a formulação e o desenvolvimento de soluções tecnológicas e gerenciais para a redução das suas emissões.

A presente pesquisa faz parte do Projeto em Rede Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentável de Habitações de Interesse Social (CANTECHIS), apoiada pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), sendo formada pelas Universidades de São Carlos (UFSCar), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Federal da Bahia (UFBA). O objetivo geral deste projeto é caracterizar e analisar tecnologias relativas a sistemas de proteção coletiva, uso racional da água, emissões de material particulado, instalações temporárias e tecnologia de execução de métodos e sistemas construtivos inovadores, aplicadas a canteiros de obras de empreendimentos habitacionais, buscando o aperfeiçoamento e o desenvolvimento de soluções tecnológicas que visem à sustentabilidade ambiental e a melhoria das condições de trabalho.

Especificamente, este estudo integra o sub-projeto Desenvolvimento de Soluções para Redução da Emissão de Material Particulado (SPEMP) que tem como objetivo realizar medições das concentrações de emissão de material particulado nas vizinhanças de canteiros de obra de empreendimentos habitacionais, bem como estabelecer, implantar e avaliar soluções tecnológicas e gerenciais para a sua redução. Este sub-projeto está sendo realizado pela UFBA, USP e UFRGS.

1.2 HIPÓTESES

As hipóteses do presente trabalho são:

- PTS, $MP_{2,5}$ e MP_{10} provenientes das diversas fases da obra impactam na vizinhança;
- a maior concentração de MP proveniente das atividades nos canteiros possui diâmetros aerodinâmicos maiores a $10\mu m$;
- equipamentos instalados na entrada e a na saída da obra, seguindo a linha do vento predominante, coletam a concentração real de MP emitida pelo canteiro;

- adesivos brancos (*sticky pads*) quando instalados na circunvizinhança do canteiro recebem contribuições de partículas tanto das atividades do canteiro de obras quanto das atividades da vizinhança.

1.3 OBJETIVOS

- **Geral**

Este trabalho visa propor e validar uma metodologia para avaliar a emissão de MP proveniente de canteiros de obra com foco no estudo da contribuição desse MP na vizinhança.

- **Específicos**

- Identificar e caracterizar os diferentes tipos de MP proveniente de canteiros de obra;
- Caracterizar as concentrações de emissão de MP proveniente de canteiros de obra;
- Identificar e caracterizar as principais atividades emissoras de MP proveniente de canteiros de obra.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa se limita a propor uma metodologia e validá-la em um canteiro de obra habitacional, que em virtude de suas atividades emita MP na vizinhança em um raio de 100 metros. O canteiro piloto selecionado localiza-se na Região Metropolitana de Salvador. O foco das medições é avaliar a emissão de MP que podem impactar na vizinhança dos canteiros de obra. Para tanto serão estudadas as influências que essa população vem sofrendo ao longo das etapas da construção civil. As emissões decorrentes da fabricação, transporte e manipulação dos materiais de construção anterior à recepção nos canteiros de obra estão fora da abrangência desse projeto. As fases da construção foco de análises são Fase 1 – serviços preliminares, movimento de terra e fundações; Fase 2 – execução de obra bruta; e, Fase 3 – execução de acabamentos.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A dissertação está estruturada em sete capítulos, cujo conteúdo descreve-se a seguir.

O capítulo 1 apresenta a justificativa, o problema de pesquisa, as hipóteses, os objetivos, a delimitação da pesquisa e a estruturação do trabalho.

O capítulo 2 apresenta um levantamento bibliográfico sobre poluição atmosférica e apresenta as principais características do MP. São apresentadas as propriedades do MP, suas principais fontes de emissão e seus diversos efeitos nocivos ao meio.

O capítulo 3 apresenta o MP e suas interfaces na construção civil. Aborda os principais métodos de controle que podem ser aplicados no canteiro de obras para regular a emissão de MP, conforme a sua fonte de geração.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa, de modo a delineá-la, detalhar suas etapas e o procedimento experimental.

O capítulo 5 apresenta os resultados da aplicação e validação da metodologia no canteiro piloto, bem como analisa os dados obtidos.

O capítulo 6 apresenta a metodologia revisada e estruturada a partir da análise e discussão dos dados com especialistas em qualidade do ar de agências ambientais e universidades.

O capítulo 7 apresenta as conclusões sobre a pesquisa, bem como recomendações para futuras pesquisas.

2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E MATERIAL PARTICULADO

A atmosfera é um sistema constituído por gases, partículas sólidas e líquidas, que mantêm, entre si, um processo de interação física e química constante. A atmosfera de um centro urbano pode ser vista como um reator gigante contendo um sistema que consiste de uma mistura complexa de gases e partículas poluentes cuja dinâmica desse sistema depende principalmente de reações atmosféricas, da deposição úmida e seca, e, da meteorologia (MIGUEL, 1992).

O Conselho Nacional dos Engenheiros que estuda a poluição do ar e seu controle define poluição do ar como:

A presença na atmosfera de um ou mais contaminantes, tais como poeira, fumo, gás, névoa, odor, fumaça ou vapor em quantidades, características e de duração prejudiciais aos humanos e plantas, ou que interferem absurdamente no desenvolvimento confortável da vida (WANG; PEREIRA; HUNG, 2004, p. 01).

A poluição atmosférica é decorrente principalmente das atividades humanas que requerem cada vez mais, grandes quantidades de energia para desenvolver sua produção e lançam no ar cargas de poluentes consideráveis, contribuindo para a alteração significativa da atmosfera (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

A poluição atmosférica tem sido um dos principais temas discutidos no meio científico devido as suas implicações na saúde humana e nos ecossistemas, pois a poluição atmosférica é transfronteiriça, já que as condições meteorológicas (temperatura, velocidade do vento, o movimento de sistemas de alta e baixa pressão e a interação destes com a topografia local, entre outros) cuidam de dispersá-las e influenciam na concentração de poluentes no ar.

2.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A US EPA (2006) considera como poluente atmosférico qualquer substância presente no ar que possa causar danos aos seres humanos e ao meio ambiente. Os poluentes atmosféricos podem ser originados de processos naturais ou antropogênicos. Os

poluentes das fontes naturais são os gases emitidos por erupções vulcânicas, decomposição de animais e vegetais, ressuspensão de poeiras do solo pelos ventos, formação de gás metano em pântanos, aerossóis marinhos, pólen de plantas, incêndios naturais em florestas, entre outros. Os poluentes de fontes antropogênicas são provenientes de construções, incineração de lixo, equipamentos de refrigeração e ar condicionado, queima de combustíveis diversos, queimas na agricultura, processos e operações industriais, entre outros (LIPFERT, 1994).

Os poluentes atmosféricos podem afetar a saúde humana de diversas formas, desde o incômodo gerado até a morte (SIELICKI *et al.*, 2011). Alguns destes efeitos incluem irritação dos olhos e das vias respiratórias; redução da capacidade pulmonar; aumento da suscetibilidade a infecções virais e doenças cardiovasculares; redução do desempenho físico; dores de cabeça; alterações motoras e enzimáticas; agravamento de doenças crônicas do aparelho respiratório, tais como asma, bronquite, enfisema e pneumoconioses; danos ao sistema nervoso central; alterações genéticas; nascimento de crianças defeituosas e câncer (LIPFERT, 1994; SCHWARTZ *et al.*, 2003; PETERS; POPE, 2002).

Os poluentes atmosféricos comprometem os processos fotossintéticos onde há prejuízos na vegetação terrestre e aquática, na medida em que são agredidos os ciclos do nitrogênio, oxigênio e carbono, ocasionando mudanças climáticas (LISBOA; KAWANO, 2007).

Além disso, é visível o efeito da poluição sobre os materiais através da deposição de partículas, principalmente poeira e fumaça, nas edificações e monumentos (LONDON COUNCILS, 2006). Os efeitos dessa deposição incluem basicamente descoloração, erosão, corrosão, enfraquecimento e decomposição de materiais de construção (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

Dentre esses poluentes atmosféricos está o MP, que dispersos no ar são chamados de aersóis e podem ser originados de fontes naturais e/ou antropogênicas. Sua emissão pode ser primária (construções, estradas de terra, plantações, entre outros) ou secundária, pela mistura de compostos pré-existentes na atmosfera (EUROPEAN COMMISSION, 2006). O item a seguir detalha as características do Material Particulado.

2.2 MATERIAL PARTICULADO

O MP é o termo que se refere à mistura de partículas sólidas e líquidas (exceto água pura) encontradas no ar, com características químicas e físicas distintas, emitidas por fontes poluidoras ou formadas na atmosfera (WANG; PEREIRA; HUNG, 2004). O MP constitui partículas com diâmetro que pode variar de 0,001 μm a 100 μm .

O MP é o poluente atmosférico mais consistentemente associado a efeitos adversos à saúde humana. Tem por composição básica um núcleo de carbono elementar onde estão agregados gases, compostos orgânicos, sulfatos, nitratos e metais. Assim, ao seu núcleo de carbono estão absorvidos inúmeros poluentes presentes no ar, cuja ação irritante, tóxica ou cancerígena é facilitada pelo transporte destes compostos para o interior do organismo pela inalação do material particulado (CETESB, 2014).

No mundo todo, estima-se que a poluição atmosférica por partículas inferiores a 2,5 μm é responsável por ano a aproximadamente 0,8 milhões de mortes prematuras e 6,4 milhões de anos de vida perdidos (COHEN *et al.*, 2005).

No Brasil, o Banco Mundial estimou, em 1998, que 16,5 milhões de pessoas em São Paulo e no Rio de Janeiro, estão expostas a excessivos níveis de partículas poluentes em suspensão no ar decorrentes das emissões da indústria e dos veículos, causando cerca de 4.000 casos de mortalidade prematura. O mesmo relatório indica que a cidade de Salvador tem a sexta maior emissão de MP inalável (MP₁₀) do país, conforme Tabela 1, onde se observa que as grandes indústrias do município contribuem com 19% do total das emissões (WORLD BANK BRAZIL, 1998).

Tabela 1: Emissão de partículas em algumas cidades brasileiras

Município (Estado)	Pop. (1000)	Total MP ₁₀ (Mg)	Transp. MP ₁₀ (Mg)	Transp. % do total	Ind. MP ₁₀ (Mg)	Gr. Ind. % do total	Peq. Ind. % do total
São Paulo (SP)	9.646	41.204	24.081	58	17.123	41	1
Rio de Janeiro (RJ)	5.481	16.684	9.727	58	6.957	41	1
Belo Horizonte (MG)	2.020	10.140	4.934	49	5.206	50	1
Curitiba (PR)	1.315	9.759	6.053	62	3.706	36	2
Porto Alegre (RS)	1.263	6.107	4.694	77	1.413	21	2
Salvador (BA)	2.075	6.104	4.796	79	1.308	19	2
Brasília	1.601	6.089	3.628	60	2.461	39	1

Fonte: WORLD BANK BRAZIL (1998)

Salvador comanda a terceira região metropolitana mais populosa do Brasil, detém o maior PIB metropolitano do nordeste (CARVALHO; PEREIRA, 2008; IBGE, 2012). Seu relevo acentuado e clima tropical quente alteram as características de dispersão das partículas liberadas no ar. Por outro lado, sua urbanização desordenada interfere sobre a forma de incidência da poluição no ambiente construído e sobre os danos materiais causados, condição que a depender da meteorologia pode potencializar as alterações provocadas na qualidade do ar, por isso é importante reconhecer sob quais condições estas condicionantes são favoráveis ou não.

No Brasil existem diversos estudos acerca da atmosfera urbana, emissões industriais e de tráfego veicular, tais como: Castanho e Artaxo (2001) – São Paulo, Miranda *et al.* (2002) – São Paulo, Braga *et al.* (2005) – Rio de Janeiro, Sanchez-Ccoyllo e Andrade (2002) – São Paulo e Albuquerque (2005) – São Paulo. Mais tarde, Godoy *et al.* (2009) – Rio de Janeiro, Oyama (2010) – São Paulo, Maioli (2011) – Espírito Santo. Porém, no Brasil não foram realizados estudos empíricos ou aprofundados acerca das emissões de material particulado advindos das atividades de canteiro de obra habitacional.

Enquanto que no mundo há um número restrito de referências bibliográficas sobre emissões de material particulado especificamente para canteiros de obras, onde se destaca o estudo de Feliciano *et al.*(2004) que realizou um estudo em Bragança – Portugal sobre partículas em suspensão na Praça Camões (Bragança) durante a construção do Parque do estacionamento. Devido ao restrito desenvolvimento do tema no Brasil e no mundo, para este trabalho, foram realizadas consultas a publicações informativas e

científicas internacionais, tais como publicações da *World Health Organization* (WHO), da *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), do *Building Research Establishment* (BRE) e do *Greater London Authority*.

2.2.1 Classificação

Segundo Assunção (1998), Seinfeld e Pandis (2006) e Saliba (2012) os particulados podem ser classificados de acordo com sua formação em líquidos ou sólidos. Ainda de acordo com Assunção (1998) e Saliba (2012) o MP pode ser classificado devido a seu método de formação em quatro classes: poeiras, fumos, fumaça, névoas e neblinas.

- **poeiras:** são partículas sólidas produzidas por desintegração mecânica (moagem, britagem, etc). As partículas formadas são geralmente não esféricas com diâmetro equivalente a $1\mu\text{m}$. São exemplos de poeiras as partículas de cimento, agregados, amianto, asbesto e carvão.
- **fumos:** são partículas sólidas resultantes da condensação ou sublimação de substâncias gasosas originadas da vaporização/sublimação de sólidos. As partículas formadas são de pequeno tamanho, em geral formato esférico. São exemplos de fumos as partículas de zinco, alumínio, cloreto de amônia e ferro.
- **fumaças:** são formadas por partículas sólidas a partir da queima de combustíveis fósseis, materiais asfálticos e madeira, e, as partículas líquidas são formadas a partir das fuligens. São caracterizadas por partículas de diâmetro muito pequeno.
- **névoas e neblinas:** são partículas líquidas produzidas por condensação, dispersão de um líquido ou por ruptura de mecânica de líquido. Apresentam tamanho, em geral, maior que $5\mu\text{m}$. São exemplos as névoas de óleo de operações de cortes de metais e as névoas de tanques de tratamento superficial.

2.2.2 Propriedades físicas

O tamanho das partículas de MP está classificado em duas principais modas: a fração fina, com diâmetro que varia de $0,001\mu\text{m}$ a $2,5\mu\text{m}$ que frequentemente possui tempo de permanência de dias a semanas na atmosfera e pode ser transportada a longas distâncias e a fração grossa com diâmetro maior que $2,5\mu\text{m}$ que frequentemente têm grandes velocidades de sedimentação, ficando retidas por um período curto na atmosfera (MAIOLI, 2011).

A maior parte da literatura faz menção ao MP e utiliza os termos PTS, MP₁₀ e MP_{2,5}, que também são conhecidas como partículas totais em suspensão, partículas grossas e partículas finas e ultrafinas, respectivamente (MAIOLI, 2011).

As PTS representam o grupo que possui diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 100µm, geradas a partir de processos mecânicos de fragmentação de partículas maiores, como exemplo a poeira do solo. Estas partículas possuem menor tempo de residência na atmosfera, tendo deposição perto das fontes emissoras (MAIOLI, 2011). As partículas em suspensão são compostas por núcleos inertes carbonáceos com múltiplas camadas de diferentes moléculas, incluindo metais, poluentes orgânicos, sais de ácidos, e elementos biológicos, tais como endotoxinas, alérgenos e fragmentos de pólen (VALLIUS, 2005; GUALTIERI *et al.*, 2009).

As partículas de MP₁₀ possuem diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 10µm, podendo ser depositadas desde as vias nasais até os pulmões e, por isso, representam um fator de risco para o desenvolvimento ou agravamento de doenças cardiovasculares e respiratórias. Essas partículas têm como principais fontes os processos mecânicos como ressuspensão de solo, do sal marinho, das cinzas de combustão e das emissões biogênicas naturais (FREITAS; SOLCI, 2009).

As partículas de MP_{2,5} são aquelas que possuem diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 2,5µm. Essas partículas são geradas por processos de combustão industrial, veículos automotores, usinas termoelétricas, metalúrgicas, fábricas de cimento e papel, refinarias de óleo e queimadas de florestas (BRAGA *et al.* 2004).

A diferenciação do tamanho do MP é de grande importância para avaliação da qualidade do ar, na determinação do transporte, deposição, tempo de residência e propriedades químicas (MATEUS, 2012). Segundo a CETESB (2014) o tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que, quanto menores, maiores os efeitos provocados.

Sua toxicidade está relacionada ao seu tamanho e a sua composição química. Geralmente os mecanismos de defesa são adequados para remover as partículas inaladas maiores que 10µm. As menores que 2,5µm causam sérios danos à saúde dos humanos e animais, pois podem se alojar mais profundamente no sistema respiratório (GODISH, 1997).

Portanto, a faixa de poeira dita mais perigosa para o organismo humano e animais tem diâmetro de 0,001 μm – 2,5 μm , para o qual o organismo não possui proteção.

De acordo com a US EPA (2004), a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) definiu frações de tamanho de MP de acordo com a sua entrada no trato respiratório e sua deposição (Quadro 1) classificando a partícula em inalável, torácica e respirável. As partículas inaláveis e torácicas (MP₁₀) entram no trato respiratório passando pela laringe atingindo as vias aéreas pulmonares. As partículas respiráveis (MP_{2,5}) são subconjunto das partículas torácicas que são mais propensas a atingir a região das trocas gasosas do pulmão, ou seja, os alvéolos, conforme Quadro 1 e Figura 1.

Segundo Santos (2001), o conhecimento do tamanho das partículas determina a inalabilidade (fração em massa que realmente entra pela boca e nariz durante a inalação) e a região de deposição das partículas. Por este motivo, existe a importância da determinação do tamanho das partículas para permitir o conhecimento do risco ocupacional oferecido pelos aerodispersóides inalados (SANTOS, 2001).

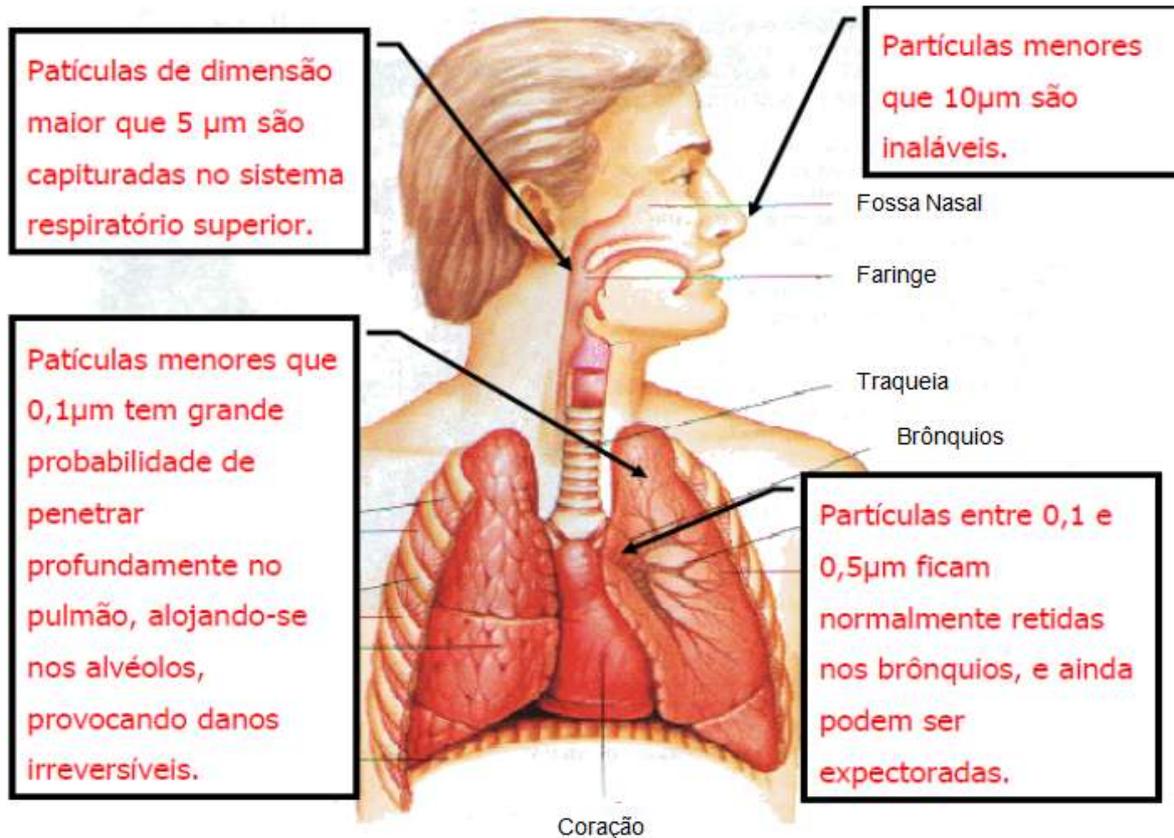
Quadro 1: Divisão do trato respiratório pelo mecanismo de deposição das partículas

REGIÃO	ESTRUTURAS ANATÔMICAS	LOCALIZAÇÃO	DOENÇAS RELACIONADAS
Vias aéreas superiores (fração inalável, entrada pelo nariz e boca)	Nariz Boca Nasofaringe Orofaringe Laringofaringe Laringe	Extratorácica	Irritação do septo nasal, laringe e faringe Câncer de faringe Câncer de laringe
Região traqueobronquial (fração torácica, penetração além da laringe)	Traquéia Brônquios Bronquíolos	Torácica (pulmonar)	Broncoconstrição Bronquite crônica Câncer bronquial
Região de troca de gases (fração respirável, penetração além dos bronquíolos)	Bronquíolos respiratórios Dutos alveolares Sacos alveolares Alvéolos	Alveolar	Pneumoconioses Efisema Alveolite Câncer pulmonar

Fonte: SANTOS (2001)

A Figura 1 apresenta de forma esquemática e ilustrativa a deposição das partículas no sistema respiratório humano.

Figura 1: Fração de MP e sua entrada no sistema respiratório



Fonte: US EPA (2004)

De acordo com a Figura 1, as partículas MP_{10} ficam retidas na parte superior do sistema respiratório e as $MP_{2,5}$ penetram mais profundamente. Além disso, têm-se as $MP_{2,5}$ submicrônicas que podem inclusive atingir os alvéolos pulmonares.

Segundo estudos nacionais e internacionais de Martins (2009), Saldiva *et al.* (1995), Schwartz *et al.* (1999), Pope *et al.* (2002) e Lewtas *et al.* (2007) os grupos populacionais mais significativamente afetados pelo MP são fetos, crianças abaixo dos 5 anos de vida e idosos. Estes autores apresentam, ainda, que algumas doenças predispõem a uma maior suscetibilidade aos efeitos adversos do MP como asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, pneumonias, infecções do trato respiratório, arritmias cardíacas e quadros isquêmicos coronarianos.

2.2.3 Propriedades fisiológicas e químicas

O MP apresenta uma considerável variabilidade de elementos em sua composição, chegando a ser constituído por centenas de compostos ou substâncias químicas diferentes (ALMEIDA, 1999). De acordo com Kunzli *et al.* (2000) e Fernandes (2005) os contaminantes particulados são classificados de acordo com os seus efeitos fisiológicos no organismo, da seguinte forma:

- incômodas ou PNOC (*Particulates not Otherwise Classified*) partículas não contendo asbesto ou com teor de sílica cristalina abaixo de 1%, sem efeito conhecido. Ex.: gesso, amido celulose e calcário;
- fibrogênicas - alteram a estrutura celular dos alvéolos restringindo a capacidade de troca de oxigênio. Ex: sílica cristalina, amianto, belírio e ferro;
- irritantes – irritam, inflamam e ulceram o trato respiratório. Ex.: névoas ácidas ou alcalinas;
- produtoras de febre – produzem calafrios e febre intensa. Ex.: fumos de cobre e zinco;
- sistêmicas - provocam danos em órgãos ou sistemas do organismo humano. Ex.: cádmio, chumbo e manganês;
- alergênicas – provocam reações alérgicas devido à formação de anticorpos mesmo em pessoas sem predisposição. Ex.: pólen, pelos de animais, resinas, epóxi, platina, fungos e especiarias;
- cancerígenas – provocam câncer após um período latente. Ex.: amianto e cromatos eradionucleídeos;
- mutagênicas e teratogênicas – induzem mutação em nível celular (mutagênicas), ou alterações genéticas (teratogênicas). Ex.: chumbo e mercúrio.

Na legislação ambiental brasileira – Resolução 03/1990 do CONAMA e nas metas interinas da *World Health Organization* (WHO) só existem padrões de qualidade do ar que estabelecem concentração em massa do MP não apresentando um estudo qualitativo acerca das partículas. No entanto, tem-se que ao considerar partículas de emissões de

veículos diesel, por exemplo, apresentam potencial tóxico significativamente maior do que a mesma massa de aerossol marinho (MARTINS, 2009). Por isso há a necessidade de análises físico-químicas deste poluente para estimar o risco de exposição ambiental sob os agentes químicos do MP (WHO, 2006). Saliba (2007) relaciona alguns agentes químicos que são encontrados em ambientes de trabalho e na construção civil evidenciando a ocorrência de alguns, tais como:

- sílica (SiO_2) - constitui a maior parte da crosta terrestre, podendo ser encontrada na sua fórmula simples ou combinada com outros óxidos na forma de silicatos. A sua fórmula química permite a formação de estruturas cristalizadas diferentes: quartzo, cristobalita, tridimita e amorfa. A presença de sílica em ambientes de trabalho é abundante em diversos ramos de atividade onde haja matérias primas de origem mineral, tais como: construção civil, fundição, indústria de refratários, siderúrgicas, mineração, entre outros;
- asbesto - são fibras de minerais silicatos do gênero anfibólio (provenientes de rochas ígneas). A exposição ocupacional ao asbesto se dá principalmente nas indústrias de fabricação de telhas, chapas, caixas d'água, na confecção de roupas para bombeiros e pilotos de carro de corrida, entre outros;
- caulim - é um tipo de argila branca refratária. A exposição ocupacional à poeira de caulim ocorre principalmente na sua mineração, ou seja, na extração e na utilização;
- celulose - considera-se poeira de madeira qualquer tipo de particulado em suspensão devido ao manuseio da madeira. A exposição ocupacional da poeira de madeira é mais relacionada a confecção de móveis, operações com serra circular, operações de desengrosso, plaina, tupia e lixadeira, em indústria de reflorestamento e fabricação de celulose, na construção civil, entre outros;
- partículas não especificadas de outra maneira (PNOS) - para estas partículas, não há evidências de efeitos tóxicos específicos. Eram chamadas no passado de partículas incômodas. No entanto, em altas concentrações essas partículas têm sido associadas a uma condição ocasionalmente fatal conhecida como proteinase alveolar. E, em baixas concentrações, atrapalham a eliminação de partículas tóxicas do pulmão. Algumas pneumoconioses provocadas pelas partículas PNOS podem

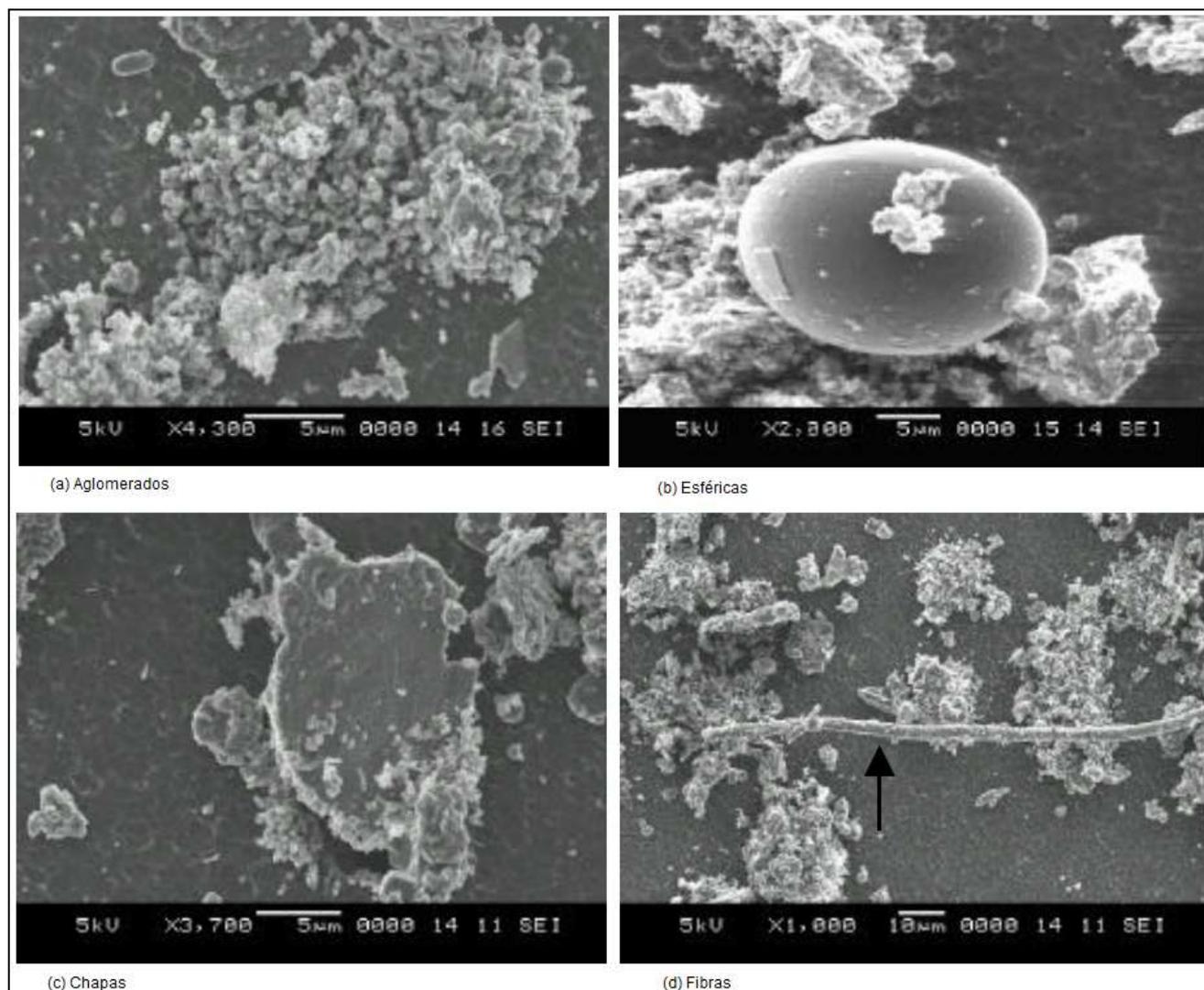
provocar depósitos opacos nos pulmões, mas não provocam reações nos tecidos pulmonares, a não ser que a exposição seja em altas concentrações;

- partículas metálicas - são partículas sólidas na forma de fumos ou poeiras proveniente de metais, cuja exposição ocupacional de poeiras pode ocorrer em: mineração, operações de rebarbação de peças metálicas e fabricação de baterias. A exposição ocupacional dos fumos metálicos é mais frequente nas operações de soldagem, fundição, nas aciarias, dentre outras. A névoa de tinta, proveniente de operação com pistola pode conter pigmentos metálicos como o de chumbo e cromo;
- negro de fumo - é um pó escuro, obtido da fuligem ou da combustão. A exposição ocupacional à poeira do negro de fumo ocorre com maior frequência na fabricação de borracha e, também, pelo tráfego de veículos e a combustão dos seus combustíveis.

Contudo o diagnóstico de doenças acarretadas por estas partículas tende a ser sempre mais difícil, pois algumas doenças e intoxicação provocadas por MP se manifestam por meio de sintomas que podem ser muito semelhantes aos sintomas de doenças comuns (FERNANDES, 2005).

2.2.4 Propriedades morfológicas

As características morfológicas do MP em consonância à composição química também contribuem para uma melhor compreensão de propriedades e origem do MP. Segundo Jacobson (2002), Lopes (2003) e Maioli (2011) a composição química dos particulados influenciam diretamente na sua morfologia, que podem ser aglomerados, esféricas, chapas, fibras, lisas, globulares, biogênicas, entre outras (Figura 2). Se uma partícula é higroscópica, então esta absorve água em umidade relativa alta e se torna esférica, por exemplo. Já, se existirem íons e a umidade relativa diminuir, esta partícula pode formar cristais sólidos em seu interior (MAIOLI, 2011).

Figura 2: Morfologia de MP

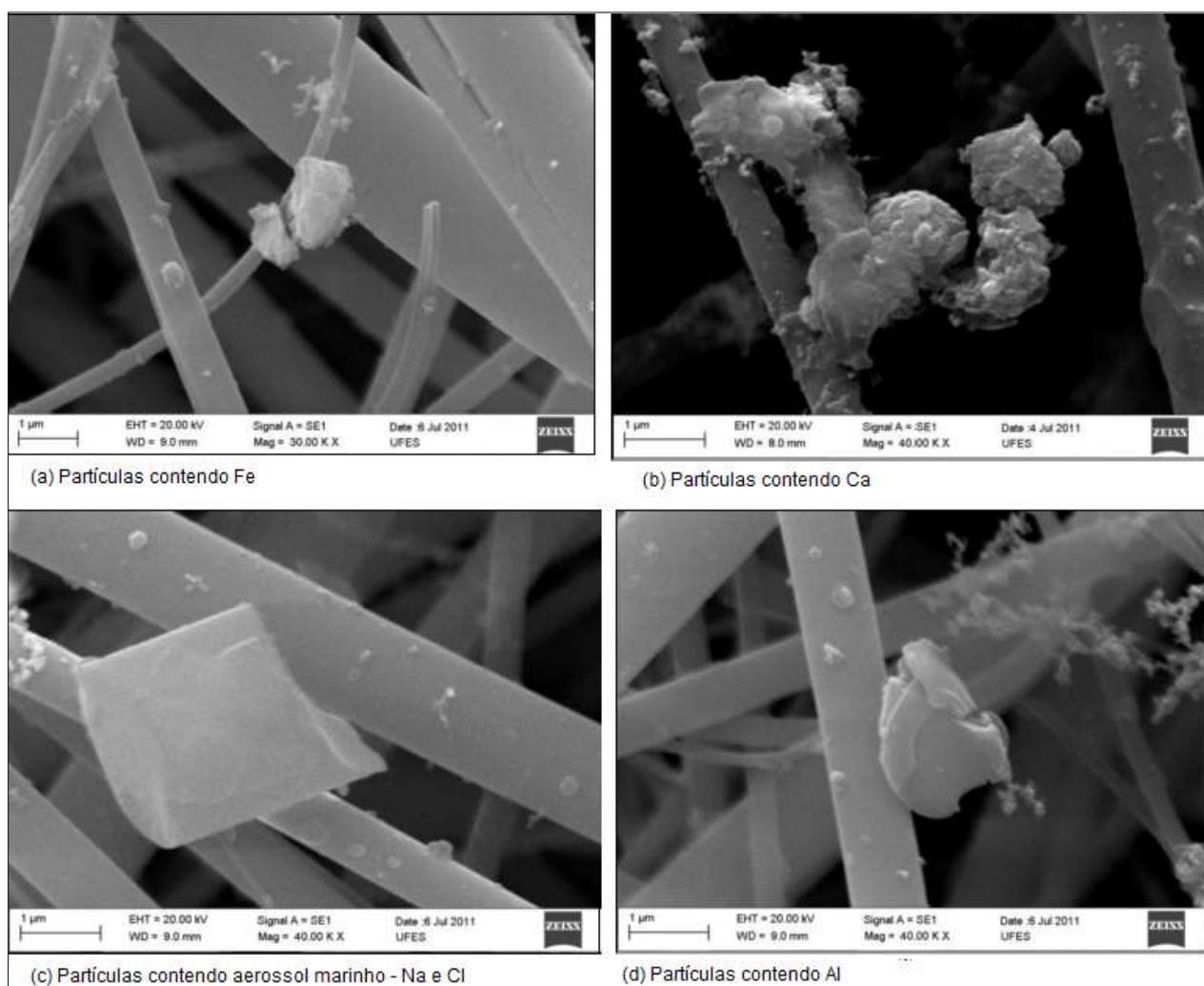
Fonte: LOPES (2003)

A técnica utilizada para se obter as imagens (a) aglomerados, (b) esféricas, (c) chapas e (d) fibras da Figura 2 é a de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) equipada com detectores de Energia Dispersiva de Raio-X (EDX). Esta técnica permite visualização da morfologia da partícula, forma, tamanho, textura, agregação, composição química, além de outras propriedades.

Segundo estudos de Maioli (2011) confrontados com estudos de Xie *et al.* (2005); Wang *et al.* (2008), Campos-Ramos *et al.* (2009), Pipal *et al.* (2011), as características morfológicas das partículas apresentam comportamento similares de acordo com a sua composição química (Figura 3). Nestes estudos, as características morfológicas para (a) as partículas

de Fe apresentaram-se individualmente ou associadas a outras partículas, (b) as partículas de Ca apresentaram-se aglomeradas ou individuais, (c) as partículas de aerossol marinho apresentaram-se em formato cúbico, devido a estrutura cristalina cúbica do sal Cloreto de Sódio (NaCl), (d) as partículas de Si e Al características de solos apresentaram-se com a morfologia de diversos formatos irregulares e não definidos (Figura 3) (MAIOLI, 2011).

Figura 3: Morfologia de MP e composição química



Fonte: MAIOLI (2011)

2.2.5 Equipamentos para medição de material particulado

Os equipamentos mais utilizados para determinação da concentração de partículas são os amostradores de grande volume (HiVol), amostradores de médio volume, e os

amostradores de pequeno volume (MiniVol). O Quadro 2 apresenta as principais características de cada equipamento.

Quadro 2: Equipamentos para medição

EQUIPAMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS DE MP	
Amostrador de Grande Volume (HiVol)	<ul style="list-style-type: none"> - A amostragem com uso de AGV é largamente aceita mundialmente; - A vazão imprimida pelo amostrador (de 1,1 m³/min a 1,7 m³/min ou ~2000 m³/dia); - É um equipamento de baixo custo, de baixo nível de sofisticação técnica e alta durabilidade, sendo bastante indicado para monitoramento nos canteiros de obra.
Amostrador de Médio Volume	<ul style="list-style-type: none"> - A vazão de ar succionada é da ordem de 150 m³/dia e a dimensão do orifício de entrada e de coleta do filtro é de cerca de 5 cm; - Não há estudos com este equipamento em canteiros de obras.
Amostrador de Pequeno Volume (MiniVol)	<ul style="list-style-type: none"> - A vazão de ar succionada é da ordem de 2 m³/dia e a dimensão do orifício de entrada e de coleta do filtro é de cerca de 5 cm; - É comumente utilizado para medições de escurecimento e pode ser usado em alguns casos para medição de metais e aerossóis secundários; - É indicado para monitoramento nos canteiros de obra.

Fonte: o autor

O método de amostragem com o amostrador de grande volume no Brasil é regulamentado pela norma “ABNT/NBR 9547/1996 – Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume”. Especificamente para determinação de concentração de partículas MP₁₀, o método de ensaio é complementado pela “ABNT/NBR 13412/1995 – Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas”.

Porém, o amostrador de grande volume vem sendo substituído pelo amostrador de pequeno volume em diversas pesquisas recentes acerca de MP em área urbana, de industrial e veicular devido a sua facilidade de manuseio, dentre estas pesquisas estão as realizadas pelo órgão nacional Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB e por um dos principais polos de pesquisa do Brasil, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. Além disso, há grupos de pesquisas que utilizam

este equipamento para análise de saúde ocupacional, como o Grupo de Patologia da Faculdade de Medicina da USP, por exemplo.

Existem outros métodos utilizados na medição de concentração de partículas que podem ser aplicados no canteiro de obras, quando há níveis reduzidos de emissões, sendo geralmente utilizados para medição de eventos específicos. Entre esses métodos podem ser citados os que utilizam os amostradores TEOM (*Tapered Element Oscillating Monitor*), os equipamentos por espalhamento de luz ou nefelometria e os monitores de atenuação de partículas beta. Esses métodos geralmente medem concentração de partículas de até 10 μm (RESENDE, 2007).

2.2.6 Influência de fatores meteorológicos

O monitoramento dos parâmetros meteorológicos (velocidade do vento, direção do vento, radiação solar, temperatura e umidade, precipitação pluviométrica e pressão atmosférica) é imprescindível para a compreensão do comportamento dos poluentes atmosféricos, visto que influenciam diretamente na dispersão e concentração dos poluentes (LYRA, 2008). A interação entre as condições atmosféricas e as fontes de poluição é o que define o nível de qualidade do ar, que por sua vez determina o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores.

A qualidade do ar não depende só da quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrá-los ou dispersá-los. Como o controle dos processos climáticos organiza-se dos níveis escalares superiores para os inferiores assume-se que os fenômenos de dispersão e remoção dos poluentes sejam comandados pelas feições regionais da atmosfera (precipitação, velocidade e direção dos ventos), pelos aspectos locais do clima urbano (ilhas de calor e circulação do ar) em consonância com as características da superfície urbana (topografia natural e edificada interferindo no campo de vento) (TORRES; MARTINS, 2005).

Ainda segundo os mesmos autores, o vento é o primeiro mecanismo atmosférico de transporte. Ele é resultado das diferenças de pressão devidas ao aquecimento ou resfriamento da atmosfera. Na escala local, áreas urbanas, industriais e rurais geram campos térmicos diferenciados que contribuem para o comportamento atmosférico local. A velocidade do vento é uma grandeza vetorial e como tal apresenta três componentes (x, y, z) sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A

componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição do material particulado.

A turbulência é o movimento irregular do vento onde os poluentes emitidos na atmosfera são dispersados ou separados, espalhando-se a depender deste parâmetro (LYRA, 2008). A turbulência pode ser causada pela rugosidade da superfície sobre a qual o ar passa. Portanto, as árvores, as edificações e o relevo do terreno provocam turbulência e quanto mais altos estes elementos maior a turbulência (LYRA, 2008).

A direção e a velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos, bem como identificam a sua trajetória e alcances possíveis, uma vez que ele tem efeito diluidor sobre as concentrações dos poluentes, proporcional a sua velocidade horizontal (BARBOSA, 2007). Assim como a velocidade do vento aumenta, o volume de ar em movimento lançado por uma fonte em um dado período de tempo, também aumenta. Quando a taxa de emissão é constante, ao dobrar a velocidade do vento diminuirá pela metade a concentração do material particulado, visto que a taxa de concentração é inversamente proporcional à velocidade do vento (BARBOSA, 2007).

O grau de estabilidade atmosférica determina a capacidade das partículas presentes no ar expandirem-se verticalmente (CETESB, 2014). Esta estabilidade é determinada pela velocidade do vento e pelo gradiente térmico na vertical (CETESB, 2014). A ausência da radiação solar, ausência de nuvens e ventos leves caracterizam uma atmosfera estável, enquanto que céu nublado e ventos fortes caracterizam a condição neutra da atmosfera. As altas radiações solares e os ventos de baixa velocidade caracterizam a instabilidade atmosférica. Portanto, quanto mais estável a atmosfera, menor será a diluição e o transporte do material particulado (CETESB, 2014).

A análise da temperatura para avaliação da qualidade do ar deve ser relacionada ao balanço das trocas energéticas entre a superfície e a atmosfera, levando em consideração as circulações atmosféricas de escala micro e macro. As altas temperaturas são associadas a movimentos verticais, o que favorece o arraste dos poluentes para os mais altos níveis da atmosfera, ao passo que menores temperaturas permitem a manutenção dos poluentes mais próximos da superfície (CETESB, 2014).

A inversão térmica ocorre quando uma camada de ar mais quente é encontrada acima de uma camada mais fria, ou seja, quando uma camada de ar mais próxima a superfície da terra é mais fria que a camada de ar que está em altitudes maiores (ALMEIDA, 1999). Os movimentos verticais de massa dependem da variação da temperatura com a altitude. O ar seco resfria-se 1° C para cada 100 metros de altitude, portanto quando a temperatura do ar aumenta com a altitude, diz-se que há inversão térmica, fenômeno de origem natural e não em decorrência da poluição do ar. A inversão térmica atua como uma barreira limitando a dispersão dos poluentes (ALMEIDA, 1999).

A precipitação é outro fator que atua com grande eficiência na remoção das partículas presentes na atmosfera, em maior ou menor grau, dependendo de sua intensidade (BARBOSA, 2007). A ocorrência de precipitação pluviométrica, além de ser um indicador de que a atmosfera está instável promove a remoção dos mesmos, pois uma parcela significativa desses poluentes é incorporada à água de chuva e ainda, o solo úmido evita que ocorra a resuspensão de partículas para a atmosfera (BARBOSA, 2007).

Embora não seja um parâmetro meteorológico a topografia da região exerce um papel importante no comportamento dos poluentes da atmosfera (ALMEIDA, 1999). Fundos de vale são locais propícios para o aprisionamento dos poluentes, principalmente quando ocorrem inversões térmicas, que impedem a subida dos poluentes, transformando esses locais em verdadeiras câmaras de concentração e de reação (ALMEIDA, 1999).

2.2.7 Legislação

A *World Health Organization* (WHO), em 2006, publicou novos padrões de qualidade do ar para MP. Os valores limite são sugestões a serem adotadas pelos países, baseadas em pesquisas de diversas instituições mundiais sobre os efeitos nocivos do MP à saúde humana. Esta organização estabelece padrões para MP₁₀ e MP_{2,5} para concentração média anual e concentração de 24 horas, conforme Tabela 2 e Tabela 3.

As metas interinas visam propor intervalos de evolução a serem adotados progressivamente pelos países. Cada vez que um nível interino passa a ser atingido devem ser implementadas ações para que se atinja o próximo nível.

Tabela 2: Referência de qualidade do ar e metas interinas para MP para concentração média anual

	MP₁₀ ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	MP_{2,5} ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Considerações para o nível selecionado
Meta Interina I	70	35	Esses níveis estão associados a um risco de mortalidade de longo prazo cerca de 15% maior do que os níveis da referência de qualidade do ar.
Meta Interina II	50	25	Além de outros benefícios à saúde, esses níveis reduzem em cerca de 6% (2-11%) a mortalidade prematura em relação à meta interina I.
Meta Interina III	30	15	Além de outros benefícios à saúde, esses níveis reduzem em cerca de 6% (2-11%) a mortalidade em relação à meta interina II.
Referência de qualidade do ar	20	10	Esses são os menores níveis em que a mortalidade por câncer pulmonar ou cardíaco mostrou certeza de redução de 95% em exposições de longo período a MP _{2,5} .

(1) – A utilização da referência de qualidade do ar para MP_{2,5} é preferida.

Fonte: WHO (2006)

Tabela 3: Referência de qualidade do ar e metas interinas para MP da WHO para concentração de 24 horas

	MP₁₀ ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	MP_{2,5} ($\mu\text{m}/\text{m}^3$)	Considerações para o nível selecionado
Meta Interina I	150	75	Baseados em coeficientes de risco publicados por diversas instituições de estudo e análises de dados de 29 cidades. Há aumento de 5% na mortalidade de curto prazo em relação ao nível de referência de qualidade do ar.
Meta Interina II	100	50	Baseados em coeficientes de risco publicados por diversas instituições de estudo e análises de dados de 29 cidades. Há aumento de 2,5% na mortalidade de curto prazo em relação ao nível de referência de qualidade do ar.
Meta Interina III	75	37,5	Baseados em coeficientes de risco publicados por diversas instituições de estudo e análises de dados de 29 cidades. Há aumento de 1,2% na mortalidade de curto prazo em relação ao nível de referência de qualidade do ar.
Referência de qualidade do ar	50	25	Baseados na relação entre níveis de 24 horas e médias

(1) – 99% dos resultados anuais devem estar abaixo destes níveis

Fonte: WHO (2006)

A base da prevenção e do controle da poluição atmosférica no Brasil é regida pela resolução 05/1989 do CONAMA, a qual instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) em que são aplicados padrões de qualidade do ar para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis (MP₁₀), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (CONAMA, 1990).

O padrão da qualidade do ar define, legalmente, o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico, garantindo a proteção à saúde e o bem estar das pessoas (WHO, 2006). Esses padrões são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Na resolução 03/1990 do CONAMA são estabelecidos dois tipos de padrão da qualidade do ar: primário e secundário (Tabela 4). De acordo com a referida resolução, são padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo (CONAMA, 1990). São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (Tabela 4) (CONAMA, 1990).

Tabela 4: Padrões nacionais de qualidade do ar - Resolução 03/1990 do CONAMA

POLUENTES	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÕES PRIMÁRIOS µg/m ³	PADRÕES SECUNDÁRIOS µg/m ³	MÉTODO DE MEDIÇÃO
PARTICULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO	24 HORAS ¹	240	150	Amostrador de Grande Volume
	MGA ²	80	60	
PARTICULAS INALÁVEIS (MP ₁₀)	24 HORAS ¹	150	150	Separação Inercial/ Filtração
	MAA ³	50	50	

(1) – Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano; (2) – Média geométrica anual. (3) – Média aritmética anual.

A mesma resolução estabelece ainda critérios para episódios agudos da poluição do ar. A declaração dos estados de “Atenção”, “Alerta” e “Emergência” requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes.

As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos níveis de “Atenção” e “Alerta” têm por objetivo evitar o atingimento do nível de “Emergência”. A Tabela 5 apresenta os critérios para episódios agudos de poluição do ar, de acordo com a resolução 03/1990 do CONAMA.

Tabela 5: Critérios para episódios agudos de poluição do ar - Resolução 03/1990 do CONAMA

PARÂMETROS	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	≥ 375	≥ 625	≥ 875
PARTÍCULAS INALÁVEIS (MP10) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 h	≥ 250	≥ 420	≥ 500

Fonte: CETESB (2014)

Segundo ABNT/NBR 9547/1986 e ABNT/NBR 13412/1995 que dispõem acerca de MP em suspensão no ar, ambiente e atmosfera, existem dois tipos de monitoramento que devem ser realizados: monitoramento de MP em suspensão (quantidade de material emitida na atmosfera) e taxa de sedimentação (quantidade de material que sedimenta sobre as superfícies). Além disso, é fundamental o planejamento do processo de coleta, visto que as fontes de emissão oscilam bastante, em concentração, localização, período do ano, forma de emissão, entre outros. Conforme o grau de risco envolvido, devem ser mais intensas as ações de monitoramento, garantindo que as emissões permaneçam dentro dos padrões aceitáveis estabelecidos ambientalmente (ABNT, 1986; ABNT, 1995).

Os padrões de qualidade do ar norte-americanos (NAAQS – *National Ambient Air Quality Standards*) são regidos pelo *Clean Air Act* de 1990. A Legislação americana também adota os padrões primários e secundários. Os primários fixam limites para proteger a saúde pública, incluindo a saúde de populações sensíveis, como asmáticos, crianças e

idosos. Para o padrão secundário fixam limites para proteger o bem estar público, incluindo a proteção contra a diminuição da visibilidade, danos aos animais, plantações, vegetações e construções. Estes padrões são revisados a cada 5 anos, com base nas informações científicas mais atualizadas (RESENDE, 2007). A Tabela 6 apresenta os padrões de qualidade do ar adotados pelos Estados Unidos (EUA) para o material particulado.

Tabela 6: Padrões de qualidade do ar adotados pelos EUA

POLUENTE	PADRÃO PRIMÁRIO	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO SECUNDÁRIO	MÉTODO DE MEDIÇÃO
MP ₁₀	50 µg/m ³	Média aritmética anual ¹	Mesmo do Primário	Separação Inercial/ filtro gravimétrico
	150 µg/m ³	24 horas ²		
MP _{2,5}	15 µg/m ³	Média aritmética anual ³	Mesmo do Primário	Separação Inercial/ filtro gravimétrico
	65 µg/m ³	24 horas ⁴		

(1) Para atender a este padrão a média aritmética de três anos de medição, dos medidores de uma área não devem ultrapassar 50 µg/m³.

(2) Não deve exceder este limite mais que uma vez por ano.

(3) Para atender a este padrão a média aritmética de três anos de medição, dos medidores de uma área não deve ultrapassar 15 µg/m³.

(4) Para atender a esse padrão a média dos últimos três anos de 98% dos medidores de 24 hs de uma determinada área não deve exceder 65 µg/m³.

Fonte: US EPA (2006)

Os padrões de qualidade do ar norte-americanos são mais rigorosos que os padrões brasileiros, pois consideram os mesmos valores para os padrões primário e secundário. Além disso, a média brasileira é feita anual e a norte-americana a cada intervalo de três anos. Mas, vale ressaltar, que existem lacunas nos padrões brasileiros e norte-americanos, pois na legislação brasileira não tem parâmetros para as partículas MP_{2,5}, bem como na legislação americana não tem parâmetros para as partículas em suspensão.

Os padrões de qualidade do ar ingleses apresentados na Tabela 7 são mais rigorosos que o padrão brasileiro e norte-americano, porém existe apenas parâmetro para as partículas MP₁₀, mas esses padrões estão mais próximos dos padrões ideais que são os

estabelecidos pela WHO (Tabela 7). A Tabela 7 apresenta os padrões de qualidade do ar adotados pelo Reino Unido.

Tabela 7: Padrões de Qualidade do Ar no Reino Unido

POLUENTES	PADRÃO	TEMPO DE AMOSTRAGEM
MP ₁₀	50 µg/m ³	24 HORAS ¹
	40 µg/m ³	MÉDIA ARITMÉTICA ANUAL ²

(1) Este limite não deve ser excedido mais de 35 vezes ao ano.

(2) Média aritmética anual das médias de 24 horas do ano.

Fonte: *AIR QUALITY REGULATION - ENGLAND (2000)*

Todos os parâmetros anteriormente citados são dados gerais em relação à qualidade do ar e à saúde humana. É importante salientar, que existem diversas legislações ambientais voltadas ao controle da poluição atmosférica no Brasil e no mundo, porém há escassez de estudos unificados e específicos para construção civil, bem como ausência de parâmetros nacionais e internacionais específicos para a poluição por emissão de MP proveniente de canteiros de obra.

No Brasil não existem parâmetros específicos para a construção civil, já que as legislações não estabelecem padrões de qualidade do ar específicos para canteiros de obras.

Nos Estados Unidos muitos estados delegam a responsabilidade pelo controle das emissões aos municípios, por isso são encontradas diversas regulamentações para as emissões de canteiros de obras (RESENDE, 2007).

Na Inglaterra, as legislações específicas para material particulado na construção estão relacionadas à saúde dos trabalhadores da construção e não às populações na vizinhança do ambiente de construção (BRE, 2003).

3 MATERIAL PARTICULADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As atividades da construção civil são grandes fontes potenciais de emissão de MP na atmosfera, em todas as fases do seu ciclo de vida, por isso sua interferência na qualidade do ar deve ser atenuada. O particulado possui, em geral, tempo de permanência de dias a semanas na atmosfera e pode ser transportado a longas distâncias por correntes de ar favoráveis, interferindo na química e física da atmosfera em escala local, regional e até global (CASTANHO, 1999; FERNANDES, 2005).

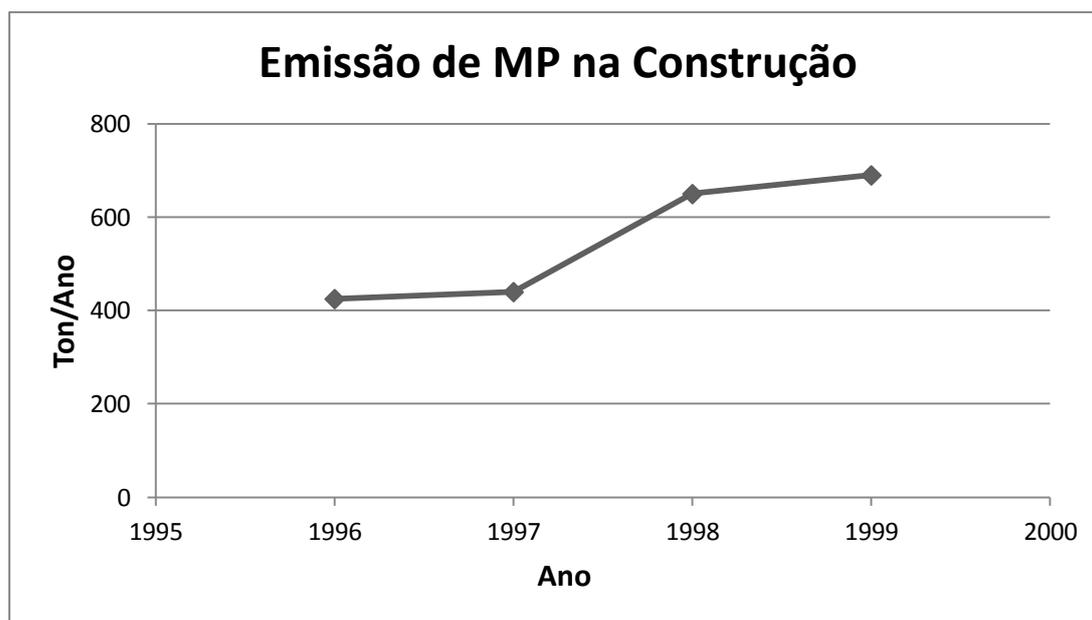
De acordo com Rumba (2004), em Viena na Áustria, a necessidade pela redução das emissões provenientes dos canteiros de obra fez o governo tornar a gestão da construção mais sustentável com objetivo de reduzir os impactos ambientais provocados pelas atividades no ambiente construído.

A Áustria espera reduzir as emissões dos canteiros de obra com a redução do transporte de materiais de construção, que sempre devem estar protegidos/cobertos e pela limpeza dos veículos dentro do canteiro antes da saída, de modo a contribuir na redução de sujeira nas estradas. A previsão, na Áustria, é de que o aproveitamento de 20 a 30% do resíduo (reuso e reciclagem) contribua na redução das emissões e na economia de recursos naturais em até 40% (RUMBA, 2004).

Em Gibraltar, no extremo sul da Península Ibérica, os órgãos ambientais recomendam o monitoramento das emissões de partículas MP_{10} e da qualidade do ar, em escala de tempo real nos canteiros de obra de alto risco² e a avaliação visual em canteiros de baixo risco. O limite recomendado durante as atividades é de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 15 minutos, quando este nível é ultrapassado indica a não utilização de práticas mitigadoras (GIBRALTAR, 2010).

De acordo com Muñoz e Palacios (2001) em Santiago no Chile, o auge da construção civil se deu a partir da expansão demográfica na região metropolitana. Estas atividades ocasionaram um grande aumento nas emissões de MP naquela região. De acordo, com a Figura 4 tem-se uma evolução de PTS, gerada pelo setor na década de 90 em Santiago e região metropolitana.

² Considerados quando ocupam área superior a 2.500m^2 de solo, desenvolvido para mais de 150 proprietários e com potencial de emissão de material particulado significativo para a população mais sensível (idosos e crianças).

Figura 4: Gráfico de evolução da fração de MP

Fonte: MUÑOZ e PALACIOS (2001)

Em Bragança em Portugal, Feliciano *et al.* (2004) juntamente com o Instituto Politécnico de Bragança (IPB) iniciaram um Programa de acompanhamento ambiental da obra de construção do parque de estacionamento da Praça de Camões em Bragança, integrada ao Programa de Requalificação Urbana e Valorização Ambiental - POLIS de Bragança entre Março de 2003 e Junho de 2004. Este programa visou essencialmente o controle operacional das atividades desenvolvidas na obra e a avaliação dos aspectos ambientais mais proeminentes (FELICIANO *et al.*, 2004). Com o esse trabalho foi apresentada uma avaliação da incidência da obra sobre a qualidade do ar local em termos de concentração de massa. Em termos gerais foi constatado que, com a obra ativa, as concentrações diárias de PTS foram quase sempre superiores a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, as concentrações de MP_{10} ultrapassaram por várias vezes $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e as de $\text{MP}_{2,5}$ foram durante um período significativo superiores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (FELICIANO, *et al.*, 2004).

No Brasil não foram realizados estudos empíricos ou aprofundados acerca das emissões de material particulado advindos das atividades de canteiro de obra habitacional.

3.1 O MATERIAL PARTICULADO E AS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS

A maioria das diversas metodologias de certificação para construção foi concebida por países desenvolvidos. Os sistemas de avaliação ambiental de edifícios tiveram início na Europa, mais propriamente no Reino Unido, com o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), propagando-se posteriormente pelos países da América, como é o caso do *Leadership in Energy & Environmental Design* (LEED), desenvolvido pelos Estados Unidos. Depois, foram se propagando em outros países, como é o caso do Alta Qualidade Ambiental (AQUA), no Brasil (LUCAS, 2011). Os dois sistemas mais utilizados no Brasil são o LEED realizado pelo *Green Council* do Brasil - GBC Brasil e o AQUA que é baseado no *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments* (HQE) e realizado pela Fundação Vanzolini (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014).

O *BREEAM* surgiu no início da década de 1990, no Reino Unido, foi desenvolvido por investigadores do *Building Research Establishment* (BRE) e do setor privado, em parceria com a indústria, com objetivo de mitigar os impactos das construções no meio ambiente, permitir o reconhecimento dos benefícios ambientais dos edifícios, fornecer um rótulo credível ambiental para os edifícios e estimular a demanda por construções sustentáveis (*BREEAM*, 2009).

O *LEED* surgiu em 1994, nos Estados Unidos, sendo um sistema de classificação de desempenho consensual e orientado para o mercado, tendo como objetivo o desenvolvimento e implementação de práticas de projeto e construção ambientalmente responsáveis. Este sistema foi desenvolvido pelo *United States Green Building Council* (USGBC) e foi financiado pela instituição *National Institute of Standards and Technology* (NIST). A metodologia *LEED* foi adaptada à realidade brasileira, em 2007, pelo *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil). O GBC Brasil é um dos 41 membros do *World Green Building Council* e surgiu para auxiliar a construção sustentável no país (GBC BRASIL, 2014).

O AQUA é um processo de gestão de projeto que visa obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou em reabilitação. Esta certificação foi desenvolvida a partir da Fundação Carlos Alberto Vanzolini com a CERQUAL – *Certification Qualité Logement* (organismo francês certificador da qualidade da habitação) (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014). A metodologia do AQUA tem por objetivos atestar a qualidade e o desempenho ambiental de edificações habitacionais e ao invés de certificar a empresa construtora, foca

nas ações do empreendimento. Através da adoção das práticas por empreendimentos as empresas serão capazes de induzir melhorias no desempenho ambiental das suas construções como um todo (DEGANI, 2005; GUIMARÃES, 2013).

Existem outras metodologias internacionais, tais como: *National Australian Buildings Environmental Rating System* (NABERS), desenvolvido na Austrália; *Building Environmental Performance Assessment Criteria* (BEPAC), desenvolvido no Canadá; e, *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE), desenvolvido no Japão.

As principais exigências dessas metodologias voltadas ao canteiro de obras com menor impacto ambiental são constituídas pela: otimização da gestão dos resíduos (minimização, beneficiamento e destinação final), redução dos incômodos (sonoros, visuais, circulação de veículos, material particulado), redução da poluição (água, solo, subsolo e ar) e redução do consumo de recursos. Para tanto, são utilizados indicadores de desempenho que atribuem uma pontuação técnica em função do grau de atendimento a essas exigências.

Os indicadores retratam os principais problemas ambientais locais e podem ter ponderações explícitas ou não. Cada um dos sistemas gera uma série de referências que irão estabelecer os parâmetros no processo de certificação. Contudo essas metodologias avaliam alguns pontos em comum (LORDSLEEM; LIMA, 2011):

- **impactos no meio urbano** - incômodos gerados pela execução, acessibilidade, inserção urbana, erosão do solo, poeira e outros;
- **materiais e resíduos** - o emprego de madeira e agregados com origem legalizada, geração e correta destinação de resíduos, emprego de materiais de baixo impacto, gestão de resíduos no canteiro e reuso de materiais;
- **uso racional da água** - economia da água potável, obtido por uso de equipamentos economizadores de água, acessibilidade do sistema hidráulico, captação de água de chuva, tratamento de esgoto e outros;
- **energia e emissões atmosféricas** - analisando o sistema de ar condicionado, iluminação, material particulado e outros;

- **conforto e salubridade do ambiente interno** – a qualidade do ar e o conforto ambiental.

Ao analisar esses pontos das metodologias e confrontar com a emissão de material particulado proveniente de canteiros de obras, tem-se nos **impactos no meio urbano**, o MP sendo transportado pelas correntes de ar em escalas micro, meso e macro incomodando a vizinhança e a sociedade como um todo; em **materiais e resíduos**, tem-se a elevada taxa de desprendimentos de partículas desde o armazenamento, utilização e descarte de materiais e resíduos; em **energia e emissões atmosféricas**, tem-se o MP sendo emitido descontroladamente; e, em **conforto e salubridade do ambiente interno**, tem-se os trabalhadores da obra tendo que respirar e conviver com essa elevada emissão de MP.

Estas metodologias ainda exigem alguns cumprimentos em relação à adoção de políticas de boas práticas em matéria de poluição atmosférica, como a exigência de atividades mitigadoras para essa emissão de MP, exigência de medição e controle desse particulado a partir da utilização de equipamentos adequados, bem como a divulgação das informações quanto à emissão e os cuidados necessários dentro do canteiro e na sua vizinhança (*BREEAM*, 2009; GBC BRASIL, 2014; FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014). Porém, vale ressaltar, que apesar destas exigências, as metodologias não apresentam padrões de referência e não discutem quando usar estas medidas mitigadoras.

3.2 MATÉRIAS PRIMAS DA FASE DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Cada material de construção, ou seja, as matérias primas e insumos utilizados na construção civil apresentam propriedades, limitações, vantagens e utilização específicas, onde se faz necessário conhecimento das suas propriedades físico químicas, pois quaisquer desses materiais podem desprender MP quer seja na sua forma bruta ou elaborada, devido a isso podem causar danos à saúde do trabalhador e da vizinhança (MARTINS, 2009).

No caso dos canteiros de obras, o MP pode ser constituído por diversas matérias primas e de diferentes granulometrias, tais como: areia, cimento, cal, gesso, argamassas, madeira, cerâmica, granito, entre outras, que são lançadas durante o desenvolvimento das mais variadas atividades dentro do canteiro tais como: fabricação de argamassa, jateamento de

argamassa, corte de madeira, cerâmica e granito, aplicação de gesso, varrição a seco, lixamento de superfícies, escavações e outras atividades, as quais são geradoras de diversos tipos de poeiras que se propagam na vizinhança da construção (LIPFERT, 1994; SEINFELD; PANDIS, 2006). Seguindo as abordagens de Vieira (2000), Santos (2003), Bauer (2007) e Martins (2009) o Quadro 3 relaciona materiais e componentes da construção, suas composições e aplicações nos canteiros de obras.

Quadro 3: Relação de materiais e componentes usados na fase de produção da construção civil (continua)

MATERIAIS	COMPOSIÇÃO	APLICAÇÃO	PARTICULARIDADES
AREIA	Material de origem mineral, constituído por fragmentos de mineral ou de rocha, composta basicamente pela sílica, dióxido de silício (SiO ₂)	É considerada agregado miúdo para fabricação de argamassas e concretos	Areia fina Φ 0,15 a 0,6 mm; areia média Φ 0,6 a 2,4 mm e areia grossa Φ 2,4 a 4,8 mm
ARGAMASSA	Aglomerante, agregados miúdos e água: - aglomerante: cimento, cal, gesso; - agregado miúdo: areia	Assentar tijolos e blocos, azulejos, ladrilhos, cerâmicas e tacos de madeira; impermeabilizar superfícies; regularizar paredes, pisos e tetos; tapar buracos, nivelar e dar acabamento às superfícies	Tem elevada resistência e durabilidade, a adição da cal hidratada melhora a plasticidade e ajuda a aderência
AZULEJO	Peça cerâmica de pouca espessura, geralmente quadrada em que uma das faces é vidrada	Revestimento de acabamento em paredes, balcões e outros	A face vidrada confere a impermeabilidade do produto
BRITA	Material de origem mineral, cujo significado é “pedaço de pedra”, geralmente de origem de pedras de granito e de gnaisse cujas composições básicas são o quartzo, o feldspato e a mica	É considerada agregado graúdo para fabricação de concretos	Durante o processo de industrialização, pode adquirir granulometrias diferentes para diferentes usos
CAL	In natura, a cal é composta óxido de cálcio (CaO), com teor maior, e óxido de magnésio (MgO); a soma destes dois óxidos deve ser superior a 95% restando 0 à 5% de impurezas: carbonato de Ca, de sílica, de alumina e de óxido férrico	A cal hidratada é usada na fabricação de argamassa, em caiação	O uso da cal extinta, ou hidratada, é mais comum devido a sua estabilidade
MASSA CORRIDA	Material sintético composto por água, emulsão acrílica, pigmentos, coalescentes, espessantes, microbiocidas não metálicos e aditivos	Revestimento final em paredes e tetos, antes da aplicação de tintas	-

Quadro 3 (continuação): Relação de materiais usados na fase de produção da construção civil

CERÂMICA	Artefatos produzidos a partir de diversos tipos de argila, de feldspato e de sílica, pode ainda apresentar aditivos em sua composição	Revestimento de pisos, paredes e outros	Classificação das cerâmicas: terracota, vidrada, grés e faiança, dependendo da composição do material e técnicas de produção
CIMENTO	O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produto da mistura do clinker com gesso e materiais do tipo pozolâmicos, escórias granuladas de alto forno e/ou materiais carbonáticos, em proporções adequadas clinker: formado por cal, sílica, alumina e óxido de Fe	Fabricação de argamassas, elevação de alvenaria, em concretagem de bases, vigas, colunas, lajes, etc., preenchimento de formas, entre outros	O cimento Portland CP II – Z é o mais fabricado e usado no nordeste brasileiro devido a facilidade do componente pozolana
CONCRETO	Mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, além de outros materiais eventuais, os aditivos	Na concretagem de vigas, lajes, base, formas, etc.: o concreto armado e concreto protendido.	Sua resistência e durabilidade dependem da proporção entre os materiais que o constituem
AÇO	Minério de ferro, cuja composição apresenta vários metais encontrados na natureza como o manganês, cádmio, sódio, alumínio, zinco, cromo, chumbo entre outros e principalmente o elemento ferro	Usado em armações para segurar e compor o concreto nas fundações e estruturas	A exposição do óxido de ferro (Fe ₂ O ₃) se dá através de fumos metálicos ou pelo lixamento enérgico de superfície metálica
GESSO	Aglomerante simples formado basicamente por sulfatos mais ou menos hidratados e anidros de cálcio, produzido a partir do mineral gipsita; o gesso comercialmente usado é o sulfato de cálcio hemi hidratado CaSO ₄ .1/2H ₂ O c/ 95% de pureza	Em revestimento de paredes, em placas para forro, na fabricação de peças (sancas, molduras p/ tetos, colunas e placas para composição de paredes e forros), chapas de gesso acartonado, construção de paredes divisórias, etc.	No processo de calcinação da gipsita, o gesso perde mais ou menos água que lhe conferirá qualidade diferente para diversos usos
MADEIRA	Material orgânico, sólido, de composição complexa, onde predominam as fibras de celulose e hemicelulose unidas por lenhina.	Utilizada para fins estruturais e de sustentação de construções, em revestimento de pisos e forros, em portas, janelas	Cedro, cedrinho, andiroba, envira, embuia, angelim, sucupira, freijó, maçaranduba, etc.
TIJOLO	Resultado da modelagem e queima da mistura de argilas, que apresenta alto teor de sílica SiO ₂ =51,67%, óxido de alumínio Al ₂ O ₃ =25,78%; óxidos corantes como Fe ₂ O ₃ e TiO ₂ , entre outros óxidos	Elevação de alvenaria	A qualidade do tijolo depende das características da argila, com mais ou menos plasticidade e resistência

Além destes materiais e componentes existem outros que não foram investigados: louça, vidro, alumínio, zinco, PVC, plástico, manta, tinta, entre outros.

Fonte: VIEIRA (2000), SANTOS (2003), BAUER (2007) e MARTINS (2009)

De acordo com o Quadro 3 alguns materiais e componentes trazem em sua composição diversos agentes químicos que ao serem utilizados, quer pelas atividades de manuseio e transporte ou pelas atividade de manipulação, quebra ou corte com ferramentas, geram partículas de várias dimensões.

3.3 GESTÃO E MONITORAMENTO DO MP EM CANTEIRO DE OBRAS

No canteiro de obras, ao longo da execução das atividades, são criadas fontes de emissão de MP de características diversificadas, sob vários aspectos (concentração produzida, tamanho de partícula, composição de partícula, tempo de emissão, entre outros). Esta diversidade, também deve criar uma variedade de medidas de controle, adaptada a cada uma das situações (RESENDE; CARDOSO, 2008).

Os efeitos da emissão de MP não obedecem a fronteiras, e sim, abrangem até uma escala global. Para que haja controle dessas emissões e sejam evitados os danos irreversíveis é consenso nacional e internacional que haja padrões de qualidade do ar visando monitorar as emissões dos poluentes (REBELATTO, 2005).

Seguindo as abordagens de *Environment Protect Agency* (1998), Degani (2003); *Greater London Authority* (2005), Araújo e Cardoso (2007), Resende (2007) o Quadro 4 relaciona as principais fontes de geração de MP encontradas nos canteiros.

É possível perceber, por meio do Quadro 4, que na maioria das atividades realizadas nos canteiros de obras é comum o desprendimento de MP que afetam os trabalhadores, os animais, as plantas, a vizinhança, entre outros. Contudo, é preciso salientar que cada construção possui sua particularidade, portanto as características de emissão de MP são alteradas de acordo com suas especificidades e, conseqüentemente, suas intervenções devem ser estudadas caso a caso.

Quadro 4: Principais fontes de geração de MP nas atividades dos canteiros de obras

PRINCIPAIS FONTES DE GERAÇÃO DE MP NAS ATIVIDADES DOS CANTEIROS DE OBRAS	
ATIVIDADES	PRINCIPAIS FONTES DE GERAÇÃO DE MP
DEMOLIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de explosivos; - Materiais biológicos; - Descarga e transporte de material; - Queima de materiais; - Armazenamento de resíduos na obra; - Trânsito de veículos.
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	<ul style="list-style-type: none"> - A remoção da vegetação existente; - Escavação; - Estocar terra; - Transporte de material.
TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> - Trânsito de veículos; - Transporte de material; - Transporte de caçambas estacionárias; - Transporte individual dos operários; - Combustão do combustível e motores.
REMOÇÃO DE MATERIAIS E RESÍDUOS	<ul style="list-style-type: none"> - Transporte dos materiais e resíduos; - Armazenagem dos materiais e resíduos; - Manuseio dos materiais e resíduos da obra; - Retirada dos materiais e resíduos da obra.
ARMAZENAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> - Armazenamento em locais impróprios; - Armazenamento em locais abertos.
CONSTRUÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Atividades de concretagem; - Lançamento de alvenaria; - Colocação de revestimentos internos e externos; - Inserção de esquadrias; - Pintura e acabamentos; - Impermeabilizações; - Perfurações, cortes, serragens, limpeza.

Fonte: o autor

Para diminuir o impacto ambiental nocivo faz-se necessário que se promovam medidas que sejam aplicadas a partir de um monitoramento periódico em campo de modo a intervir e monitorar ações de prevenção e controle de emissão de MP ao longo das atividades nos canteiros de obras.

O nível do controle a ser adotado para cada atividade está bastante relacionado ao grau de risco encontrado inicialmente e à relevância da atividade quanto à emissão de MP. O tipo e a intensidade de controle devem ser avaliados caso a caso, não existindo regras fixas, esse controle deve ser correlato a cada realidade para que se mantenha os níveis de emissão aceitáveis (COUNTES ENVIRONMENTAL, 2004).

3.3.1 Plano de Gestão

A garantia de emissões controladas depende de um planejamento adequado, que identifique os riscos envolvidos, as atividades emissoras e as ferramentas de prevenção, controle e monitoramento. Além disso, depende de uma transferência adequada dessas informações às equipes de produção e de um controle contínuo para sua aplicação. Todos esses fatores só se tornam viáveis se existir um plano de gestão, de modo que garanta que as ações sejam corretamente aplicadas até a fase de conclusão da obra, quando o canteiro é desfeito e a edificação liberada aos moradores, finalizando-se a fase de construção e iniciando-se a fase de operação do edifício (RESENDE; CARDOSO, 2007).

Segundo Resende (2007) para se realizar a gestão de MP, é necessário que sejam seguidos alguns princípios que ajudem a estruturar um “plano de gestão”. O ciclo PDCA ou ciclo de *Deming* é frequentemente utilizado para estruturar sistemas de gestão Resende (2007). Ele sugere que um sistema de gestão esteja baseado em quatro etapas fundamentais:

- planejamento (P - *planning*) – estabelece objetivos e metas, processos e metodologias para se obter o resultado esperado;
- execução (D – *do*) – consiste em colocar em prática o planejado;
- verificação/controle (C – *check*) - monitorar e avaliar periodicamente resultados, avaliar metodologias, confrontar com o inicialmente planejado;
- ação (A – *act*) – de acordo com o encontrado nas atividades de verificação e controle, tomar ações para melhoria imediata ou de processos futuros.

A aplicação sucessiva destes quatro passos aumenta as possibilidades de que a gestão de um determinado processo ou conjunto de processos tenha sua eficiência melhorada. De qualquer modo, cada canteiro tem suas particularidades, portanto, em cada uma

destas quatro etapas devem ser propostas medidas específicas para se atender com eficiência os objetivos do plano de ação que está sendo implementado. No Quadro 5 estão dispostas algumas medidas sugeridas para um plano de gestão.

Quadro 5: Sugestão de ações para plano de gestão

PLANEJAMENTO	IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO	VERIFICAÇÃO E AÇÃO CORRETIVA
<ul style="list-style-type: none"> - Iniciação da fase de planejamento; - Avaliação de grau de risco e estimativa de emissões; - Verificação de aspectos legais; - Apoio à concepção projetos e planejamento de execução; - Identificação das atividades emissoras de MP procedimentos de controle; - Elaboração dos procedimentos de controle; - Plano de monitoramento; - Avaliação de custos e prazos; - Definição de responsabilidades; - Plano de comunicação; - Requisitos para contratações; - Encerramento da etapa de planejamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Integração – iniciação execução; - Definição de responsabilidades; - Contratações; - Treinamentos internos e externos; - Comunicações internas e com vizinhança. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação do grau de risco; - Verificação das atividades geradoras correntes; - Verificação dos procedimentos de monitoramento; - Verificação da eficácia das atividades de prevenção, controle e monitoramento; - Verificação dos equipamentos de monitoramento; - Verificação de treinamentos e planos de comunicação; - Planos de ações corretivas e emergenciais; - Encerramento – término da execução.

Fonte: RESENDE e CARDOSO (2008)

Vale salientar, que a forma como cada impacto ambiental será tratado é definida justamente pelo plano de gestão previamente elaborado, e também, pela sua aplicação e desenvolvimento contínuos.

3.3.2 Aplicação de boas práticas para redução da emissão

Para obter a diminuição da emissão de MP nos canteiros de obras podem ser adotadas diferentes ações e práticas mitigadoras. O Quadro 6 descreve um conjunto de medidas que podem contribuir para reduzir e, por vezes, eliminar a emissão de MP, com base na

bibliografia nacional e internacional sobre o tema, incluindo *Environment Protect Agency* (1998); *Greater London Authority* (2005); Araújo e Cardoso (2007); Resende (2007).

Quadro 6: Boas práticas para reduzir a emissão de MP na construção civil (continua)

BOAS PRÁTICAS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
ATIVIDADES DE DEMOLIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Cercar a obra ou pontos de emissão com telas de poliéster de malha fina ou com chapas de madeira; - Os resíduos de demolição devem ser removidos o quanto antes da obra, evitando sua exposição a ventos e chuvas. Quando não for possível, devem ser cercados, umedecidos e cobertos; - Evitar atividades de demolição quando as velocidades do vento estiverem elevadas; - Manter a área umedecida após o término da demolição; - Aspergir água com mangueiras de alta vazão, antes e durante a atividade de demolição.
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	<ul style="list-style-type: none"> - A vegetação existente deve ser removida conforme o avanço das atividades de movimentação de terra; - Serviços de escavação devem ser evitados durante períodos muito secos e com ventos fortes; - A remoção de terra da obra deve ser feita, preferencialmente, logo após sua escavação/movimentação; - Umedecer o solo periodicamente e prever barreiras físicas ao redor da obra ou das áreas de trabalho; - Manter as áreas em escavação umedecidas e cobertas nos períodos de paralisação; - Controlar a altura de lançamento de terra nos trabalhos de carga e descarga. Esvaziar a caçamba lentamente, evitando formação de nuvens de poeira.
REMOÇÃO DE MATERIAIS E RESÍDUOS	<ul style="list-style-type: none"> - Todo tipo de material biológico presente na edificação, que apresente riscos ao meio, deve ser removido antes do início da demolição. Deve-se evitar que o material se torne um aerossol quando removido; - Não deve ser realizada a queima de materiais, somente em último caso. Encaminhar para incineração; - Identificar os tipos de resíduos produzidos (reduzir, reutilizar e reciclar); - Os materiais devem ser guardados longe de áreas sensíveis.

Fonte: Adaptado de ENVIRONMENT PROTECT AGENCY (1998); GREATER LONDON AUTHORITY (2005); ARAÚJO e CARDOSO (2007); RESENDE (2007).

Quadro 6 (continuação): Boas práticas para reduzir a emissão de MP na construção civil

BOAS PRÁTICAS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> - Dispor os veículos e equipamentos de transporte de elementos que evitem a dispersão de MP. Exemplo: proteger com barreiras físicas como lonas, chapas de madeira e telas, umedecer materiais, entre outros; - No descarregamento, diminuir as alturas de lançamento, evitar fazê-las sob ações de ventos fortes; - Realizar limpezas periódicas dos veículos e equipamentos, evitando o acúmulo de poeiras; - Reutilizar resíduos para evitar transportes desnecessários; - Preferir materiais em silos transportados por dutos a materiais ensacados; - Carregamento de veículos deve ser feito até um limite de 15 cm abaixo do topo da caçamba/caminhão; - Limitar a velocidade dos veículos para evitar suspensão de partículas. Recomenda-se abaixo de 30km/h.
ARMAZENAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> - Manter os materiais e resíduos armazenados pelo menor período possível no canteiro; - Armazenar os materiais e resíduos protegidos da ação dos ventos e chuvas; - Montes de materiais devem ser dispostos em ângulos que evitem desmoronamentos constantes; - Grandes montes de materiais e resíduos podem ser protegidos por estabilizadores químicos ou umedecidos constantemente, Limitar a altura dos montes a 2,50 metros; - Realizar limpezas periódicas dos locais de armazenamento; - Quando houver grande geração de MP no local de armazenamento, instalar exaustores com filtros; - Armazenar os materiais e resíduos longe das divisas e ambientes sensíveis ao MP (cursos d'água, hospitais, escolas, residências, locais com aglomerações de pessoas e outros); - Armazenar equipamentos de aspiração e limpeza para o caso de "vazamentos" acidentais.

Fonte: Adaptado de ENVIRONMENT PROTECT AGENCY (1998); GREATER LONDON AUTHORITY (2005); ARAÚJO e CARDOSO (2007); RESENDE (2007).

Quadro 6 (continuação): Boas práticas para reduzir a emissão de MP na construção civil

BOAS PRÁTICAS PARA REDUZIR A EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
CONSTRUÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar dispositivo de coleta de pó de serragem acoplado ao equipamento; - Em caso de grande quantidade de emissões, realizar a atividade em ambiente com coifa exaustora e filtro; - Fazer corte/perfuração com e em local protegido da ação dos ventos e dentro de caixote coletor; - Sempre que possível, evitar a produção de concreto e argamassas, em obra e quando produzidos na obra <p>Fazê-lo em local protegido da ação de ventos e chuvas;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quando as misturas forem deixadas de um dia para o outro, cobri-las com lonas; - Sempre que possível, evitar a realização de atividades que exijam desgaste superficial, substituindo a tecnologia construtiva; - Realizar varrição úmida ou aspiração com frequência; - Racionalizar o processo de produção de forma a diminuir a perda de argamassas e concretos por queda; - Verificar a estanqueidade dos equipamentos utilizados para transporte de concretos e argamassas; - Criar barreiras físicas de modo a evitar que as argamassas e concretos sejam lançados fora de um espaço controlável (telas nos andaimes fachadeiros, tapumes, lonas, entre outros); - Os serviços de queima devem ser evitados, sempre que possível nos canteiros de obra, pois lançam MP e gases; - Quando a queima de materiais, por algum motivo, for inevitável, procurar fazê-la em incineradores públicos; - Sempre que possível e for o caso, realizar a escavação em partes, procurando manter a camada de proteção vegetal existente pelo maior tempo possível; - Compactar a superfície ou plantar vegetação, o mais breve possível, após o término dos serviços; - Utilizar barreiras físicas (tapumes, telas, lonas, entre outros) no contorno das áreas de serviço, evitando ou diminuindo a ação dos ventos e chuvas; - Desenvolver o planejamento físico da obra, procurando otimizar o tempo de duração desta atividade, para que tão breve, as superfícies possam ser finalizadas; - Realizar a limpeza com a maior frequência possível para evitar o acúmulo de partículas.

Fonte: Adaptado de ENVIRONMENT PROTECT AGENCY (1998); GREATER LONDON AUTHORITY (2005); ARAÚJO e CARDOSO (2007); RESENDE (2007).

Vale salientar, que essas medidas por mais que sejam preventivas, sua eficácia e seus resultados só podem ser garantidos a partir de uma continuidade cíclica de monitoramento durante toda a etapa de produção do canteiro de obras da construção. O gestor da obra deve apresentar conhecimento adequado acerca de emissões de MP ou estar amparado por profissional habilitado para que seja inserida a mitigação correta a cada atividade impactante.

Mas há falta de interesse por parte das construtoras, bem como falta de conhecimento e dados que mostrem os riscos, para que se consiga traçar planos concretos de gestão de MP e de redução dos seus impactos ambientais. Por isso, há necessidade de uma maior dedicação quando se trata de preocupação sustentável e sua integração ao processo da construção civil.

Em estudo realizado por Guimarães (2013) na Região Metropolitana de Salvador-BA há uma confirmação desta falta de conhecimento acerca de emissões por parte dos gestores das construtoras visto que nas entrevistas realizadas nesse estudo em canteiros de obras no período de novembro de 2012 a fevereiro de 2013 foi constatado que, apesar de um dos temas da entrevista tratar de emissões e resíduos, o tema emissões não foi mencionado pelos respondentes, mostrando um desconhecimento inicial sobre o tema.

4 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi o experimento que consiste em um procedimento planejado, partindo de um problema e hipóteses, que visa entender fenômenos em condições controladas, observar e analisar seus resultados (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002; SOUZA *et al.*, 2002).

Para tanto, o levantamento de dados foi realizado por meio das coletas dos MP_{2,5}, MP₁₀ e PTS com uso dos equipamentos MiniVols (fabricados pela *Airmetrics*) instalados em um canteiro de obras em três fases principais de atividades durante o período de 10 dias para cada fase, foi encontrada a taxa de sedimentação coletada por meio de adesivos *sticky pads* instalados na vizinhança durante as mesmas fases da obra. A partir dessas coletas foram realizadas, em laboratório, a análise física e a análise química desses particulados, além das leituras dos adesivos *sticky pads*.

O experimento de campo atendeu as necessidades desta pesquisa de identificação *in loco* das fontes emissoras de MP, pois havia necessidade de se identificar o tipo e teor dessas partículas, de modo a coletá-las e caracterizá-las quali-quantitativamente. Ao se correlacionar os dados da coleta com as fases do canteiro, a tipologia do canteiro, e, também, com as características meteorológicas da região, formalizaram-se as análises dos dados, junto à estatística descritiva, para então entender se houve ou não um fator que potencializasse essa emissão de MP e sua dispersão na vizinhança.

4.1 ESTRUTURA DO EXPERIMENTO

A presente pesquisa delineou um experimento com seis etapas: revisão da literatura, desenvolvimento de instrumentos de coleta de dados e compra de equipamentos, aplicação da metodologia em um canteiro piloto, análises laboratoriais, análise dos dados e validação e revisão da metodologia da medição de emissão de MP, conforme Figura 5.

Figura 5: Delineamento da pesquisa



Fonte: o autor

4.1.1 Referencial Teórico

A pesquisa bibliográfica baseou-se na avaliação de bibliografia nacional e internacional, onde se estudou sobre: qualidade do ar, poluição atmosférica, material particulado e emissão, controle e monitoramento do material particulado em canteiros de obra.

4.1.2 Instrumentos de coleta

4.1.2.1 Equipamentos utilizados

Esta etapa teve como objetivos estabelecer os equipamentos a serem utilizados na pesquisa, bem como realizar a compra dos mesmos.

Nesta pesquisa, foi selecionado um equipamento importado, o amostrador portátil de pequeno volume MiniVol, fabricado pela *Airmetrics*, que funciona com bateria recarregável e permite coletar, separadamente as partículas pelo tamanho, sendo sua amostragem efetivada dependente da velocidade com que o fluxo de ar passa pela placa de impactação do equipamento (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6: Amostrador Portátil de pequeno volume - MiniVols



Fonte: o autor

Figura 7: Baterias e Carregador dos MiniVols



Fonte: o autor

O impactador dos MiniVols é projetado para diâmetros de corte de PTS, 10 μ m ou 2,5 μ m, a uma vazão de 5,0 l/min (Figura 8).

Figura 8: Coletores dos MiniVols(a) Coletores abertos para 2,5 μ m, 10 μ m e PTS.(a) Coletores fechados para 2,5 μ m, 10 μ m e PTS.

Fonte: o autor

Este equipamento foi escolhido para essa pesquisa devido a sua praticidade de manuseio e transporte, bem como devido a pesquisas recentes acerca de MP em área urbana, industrial e veicular também estarem utilizando esse equipamento, em substituição ao amostrador de grande volume (HiVol), que é um equipamento bastante utilizado para estudos de MP, porém necessita de um dispendioso processo de manuseio e transporte.

Neste estudo os filtros utilizados apresentam diâmetro de 47mm (Figura 9). Foram utilizados filtros de membrana de policarbonato da *Whatman* para medição do MP_{2,5} e MP₁₀, e filtro de teflon da *Millipore*, para medição do PTS. Os filtros de policarbonato foram

escolhidos por possuírem superfície lisa que permite observar maiores detalhes de partículas individuais. Como não existe no mercado filtros de policarbonato para medição de PTS, foram utilizados na pesquisa filtros de teflon, porém com o prejuízo de não realizar a análise de Fluorescência de Raio-X, devido ao seu material.

Figura 9: Filtros



Fonte: o autor

Para a coleta da taxa de sedimentação³ foi utilizado o método do Sticky Pad System ou método de Beaman & Kingsbury, cuja finalidade é medir as partículas incômodas em áreas externas durante um período determinado de tempo (Figura 10) (HAMBY, 2014). Este método adotado em Londres possibilita obter resultados diários e imediatos, sem a necessidade de ensaios laboratoriais, ao contrário do método da norma brasileira, ABNT/NBR 12065/1991: Atmosfera – determinação da taxa da poeira sedimentável total, que requer 30 dias contínuos de medição, além de toda a etapa de análise em laboratório.

³ A taxa de sedimentação é a coleta de partículas que são carregadas no ar e dispersadas nas edificações imediatamente vizinhas ou carregadas a distâncias maiores.

Figura 10: Adesivo *Sticky Pad*

Fonte: o autor

A metodologia brasileira apresenta algumas desvantagens devido à necessidade de monitoramento em 30 dias ininterruptos e como o período é grande, pode não ser possível corrigir a tempo o problema encontrado. Além disso, o resultado obtido pode ser consequência de um grande evento esporádico em que o pesquisador não conseguirá identificar se a medição é condizente a um dia ou aos 30 dias (RESENDE, 2007). Enquanto que no *sticky pad* a periodicidade mais adequada para amostragem é de 2 a 7 dias, podendo ser utilizado para obter dados diários. A taxa de sedimentação nos *sticky pads* é registrada em percentual de área efetiva coberta por partículas, onde um reflectômetro determina a porcentagem de área efetiva do adesivo coberta por poeira num determinado período (HAMBY, 2014).

Para monitoramento das condições climáticas foi utilizada a estação meteorológica *Davis Vantage Vue*, cuja coleta de dados externos é feita a partir de sensores integrados sem fio que envia a um console via rádio de baixa potência. O conjunto de sensores é alimentado por energia solar e inclui também uma bateria reserva (Figura 11).

Figura 11: Estação meteorológica Davis Vantage Vue



Fonte: o autor

Na pesquisa foi utilizado um andaime, de modo a elevar os equipamentos MiniVols na altura necessária à medição, para esta pesquisa foi adotada a altura de 3,4 metros em relação ao solo (Figura 12).

Figura 12: Andaime e equipamentos instalados no canteiro



Fonte: o autor

A Figura 13 apresenta um resumo com os principais equipamentos adotados na pesquisa.

Figura 13: Equipamentos utilizados na pesquisa



Fonte: Adaptado de RESENDE *et al.* (2013)

4.1.2.2 Critérios de medição

O critério de medição utilizado para amostragem do MP foi por meio da instalação de pontos fixos no interior do canteiro. De acordo com esse critério a amostragem é representativa onde é assumido que a concentração média das partículas coletadas não representa apenas a concentração na localização precisa do dispositivo de amostragem, mas sim a concentração de toda a área circundante (WHO, 2004).

Seguindo o princípio geral da medição por ponto fixo, as posições de amostragem foram locadas de modo a permitir a coleta do MP a partir de um número mínimo de locações de equipamentos. A técnica consistiu na utilização de pares de amostradores locados em posições opostas no canteiro seguindo a linha do vento predominante, sendo um colocado na entrada do canteiro e o outro na mesma linha, na saída do canteiro.

O método funciona da seguinte forma: com o conjunto de MiniVols instalados na entrada do canteiro, tem-se as partículas advindas da vizinhança e das atividades de modo geral do canteiro. Já com os MiniVols instalados na saída, identifica-se a concentração real de MP emitida pelas fases do canteiro, já que os equipamentos foram locados próximo as atividades onde apresentavam a predominância das principais fases da obra: Fase 1 - serviços preliminares, movimento de terra e fundações, Fase 2 - execução de obra bruta e Fase 3 - execução de acabamentos.

Por conseguinte, para se alcançar uma medição com resultados fiéis, foi preciso, tanto na medição a jusante, quanto na montante, observar e analisar os dados provenientes da direção predominante do vento, ou seja, daquele vento que atravessa o canteiro, além de todos os aspectos e atividades provenientes do interior do canteiro de obra.

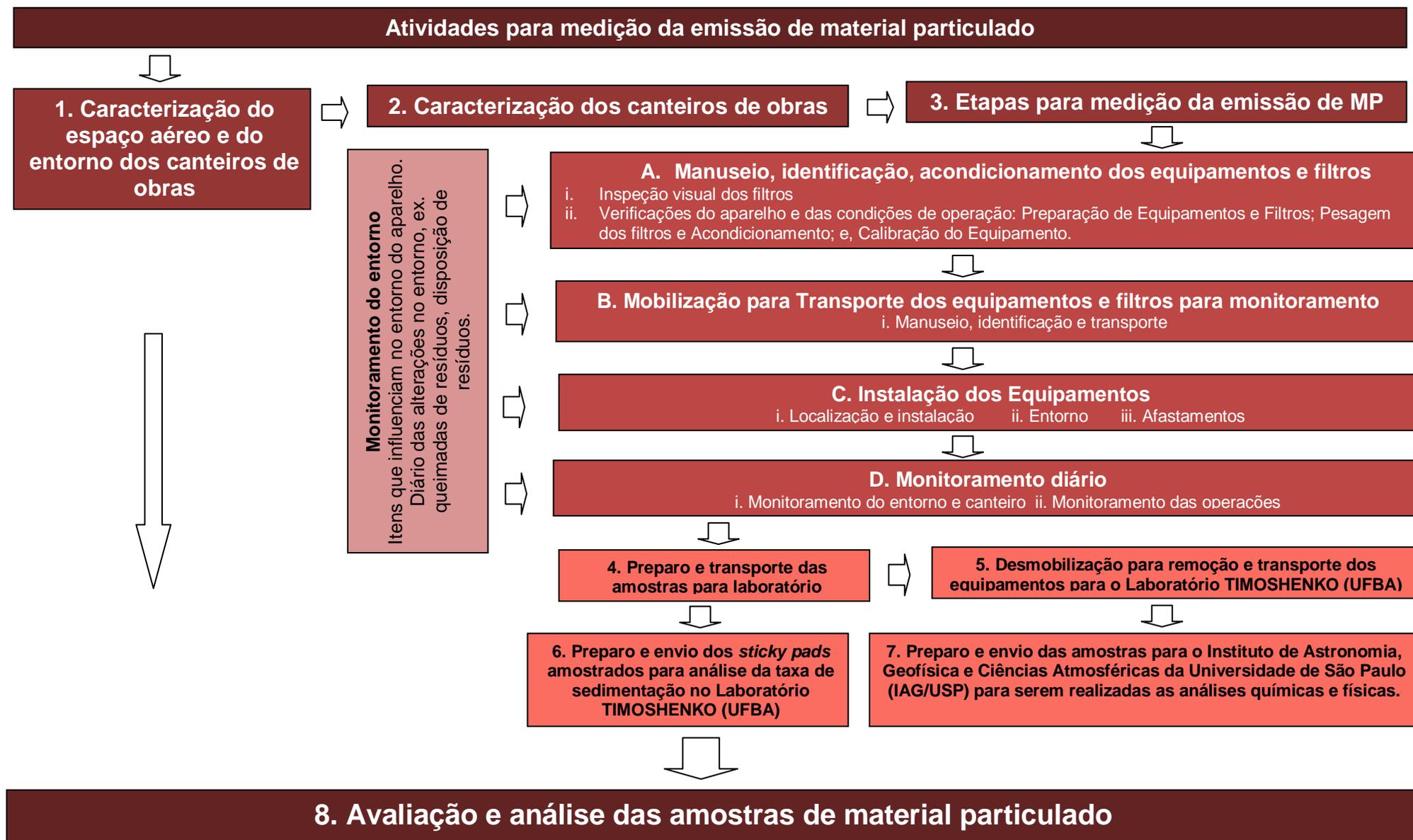
A amostragem da poeira sedimentável foi realizada por meio dos adesivos brancos - *sticky pads* que foram instalados na vizinhança durante o monitoramento do MP, em raios de distâncias de 5 – 10 – 20 – 50 – 100 metros em relação ao canteiro. Estes adesivos receberam as partículas que foram sendo depositadas no entorno.

4.1.2.3 Preparação do Protocolo de campo e laboratório

Esta etapa teve como objetivo desenvolver o protocolo de monitoramento, estabelecendo procedimentos para padronizar as atividades desde a fase de preparação em laboratório, de seleção e escolha do canteiro piloto, de coleta das amostras e encaminhamento das amostras para análises, bem como desmobilização da estrutura necessária.

Na Figura 14 está delineada a proposta das diretrizes para medição e monitoramento da emissão de MP em canteiros de obra.

Figura 14: Delineamento do protocolo do experimento



De acordo com as atividades descritas na Figura 14, um conjunto de critérios precisa ser discutido dentro de cada etapa visando reduzir as variáveis que interferem na análise comparativa dos dados. A definição destes critérios foi baseada em bibliografia nacional e internacional, incluindo *Code of Federal Regulations* (2010); *Watson et al.* (2010); *Councils London* (2011); *Belo e Trofoli* (2011); *Maioli* (2011); *Watson et al.* (2011); *Ferreira, Forti e Alvala* (2012); *Air Metrics Operation Manual* (2012). A seguir, apresenta-se o resumo das etapas e seus critérios. A discussão mais aprofundada de cada critério encontra-se no protocolo de monitoramento (Apêndice 1).

1. Caracterização do espaço aéreo e do entorno dos canteiros de obras

A. Caracterização da microrregião:

- i. Localização;
- ii. Proximidade de fontes emissoras;
- iii. Proximidade de centros populacionais;
- iv. Proximidade de aeroportos.

B. Caracterização do espaço aéreo:

- i. Dimensão física da parcela de ar próxima da estação de monitoramento;
- ii. Concentração da população do entorno na época do monitoramento;
- iii. Limite a utilizar na representação espacial - "micro" ou de 0,1 km.

2. Caracterização dos canteiros de obras.

A. Critério seleção canteiros de obras:

- i. Edificação em área urbana, dentro da região metropolitana, com edificações até 2 pavimentos nos terrenos imediatamente vizinhos;
- ii. Terreno com área superior a 1.500 m²;
- iii. Uso residencial;
- iv. Edifício multi-pavimentos, acima de 10 pavimentos;
- v. Para as obras selecionadas, devem estar disponíveis os serviços abaixo, no mínimo por 10 dias consecutivos, sendo aceitas obras distintas:
 - Fase 1 – Serviços preliminares, movimento de terra e fundações;
 - Fase 2 – Execução de obra bruta;

- Fase 3 – Execução de acabamentos.

vi. Disponibilizar espaço para locação de 2 estações de medição de MP em lados opostos do canteiro, conforme ventos predominantes;

vii. Das obras acima, indicar canteiros onde a empresa possa disponibilizar recursos para aplicar medidas mitigadoras de emissão de MP para os serviços descritos **A.v** por no mínimo mais 10 dias consecutivos (acrescido do período de medição realizado sem controle).

3. *Etapas para medição da emissão de MP*

A. Manuseio, identificação e acondicionamento de equipamentos e filtros:

i. Inspeção visual dos filtros: todos os filtros devem ser inspecionados visualmente, antes de sua pesagem inicial, sendo rejeitados aqueles encontrados com defeitos. A inspeção deve, de preferência, ser feita contra uma fonte de luz plana (igual à usada em checagens de raios-x).

ii. Pesagem dos filtros;

iii. Armazenamento dos filtros;

iv. Operação;

v. Calibração.

B. Mobilização para transporte dos equipamentos e filtros para monitoramento:

i. Manuseio, identificação e acondicionamento durante o transporte dos equipamentos e filtros.

C. Instalação dos equipamentos:

i. Localização dos equipamentos;

ii. Afastamento das Estradas;

iii. Espaçamento de árvores e edifícios;

iv. Avaliação dos canteiros de obras no começo, meio e fim do monitoramento.

D. Monitoramento diário:

- i. Recarga das baterias;
- ii. Programação do Temporizador;
- iii. Instalação do filtro;
- iv. Verificações na instalação;
- v. Acionamento do Amostrador;
- vi. Folha de Campo;
- vii. Final da Amostragem;
- viii. Resolução de Problemas.

4. Preparo e transporte das amostras para laboratório

5. Desmobilização dos equipamentos e estrutura para remoção e transporte dos equipamentos para o Laboratório TIMOSHENKO (UFBA)

6. Preparo e envio dos sticky pads amostrados para análise da taxa de sedimentação no Laboratório TIMOSHENKO (UFBA)

7. Preparo e envio das amostras para o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) para serem realizadas as análises químicas e físicas

8. Avaliação e análise das amostras de material particulado

- A. Análise física
- B. Análise química
- C. Análise da taxa de sedimentação

Estes itens estão discutidos no item 4.1.3.4 deste capítulo.

4.1.3 Aplicação da metodologia em um canteiro piloto

4.1.3.1 Seleção do canteiro piloto

Nesta fase, foi realizada a seleção do canteiro piloto para validar os critérios e instrumentos da metodologia proposta no item 4.1.2. O canteiro piloto selecionado apresenta uma área de 32.780m², onde estão sendo construídas oito torres residenciais, cada torre com 16 pavimentos, totalizando em 464 unidades habitacionais. No entorno do canteiro até o raio de 100m existem áreas residenciais e uma grande concentração de vegetação.

4.1.3.2 Validação, revisão e ajustes dos critérios e instrumentos

Antes de iniciar a medição das fases foi realizada uma simulação da medição com a aplicação da metodologia apenas com 2 MiniVols na entrada e 2 MiniVols na saída do canteiro, com o intuito de identificar as lacunas existentes na metodologia e ajustá-las (Figura 15). Além disso, nesta simulação, foi realizado um treinamento da equipe de pesquisadores em relação às operações diárias, conforme itens listados no protocolo de monitoramento (Apêndice 1).

Figura 15: Instalação dos equipamentos na simulação do experimento



(a) Ponto de medição na entrada



(b) Ponto de medição na saída

4.1.3.3 Coletas do Material Particulado nas Fases 1, 2 e 3

A coleta do MP foi realizada por 10 dias em três fases da obra selecionada:

- Fase 1 – Serviços preliminares, movimento de terra e fundações;
- Fase 2 – Execução de obra bruta;
- Fase 3 – Execução de acabamentos.

Esta definição se deu pelo fato da metodologia proposta neste trabalho ter por objetivo medir e analisar o MP proveniente das principais fases do canteiro de obra, identificando as atividades emissoras, as concentrações das diferentes frações de MP, bem como sua composição química.

Porém, pelo fato da aplicação e validação da metodologia ter sido realizada em um canteiro complexo que possuía uma área de 32.780m² com diversas fases ocorrendo simultaneamente em diferentes torres, neste trabalho não houve possibilidade de distinguir a influência das fases e suas atividades emissoras separadamente, devido a sobreposição das atividades e, conseqüentemente, uma mistura dos MP. Além disso, foi identificado um comportamento similar entre os elementos químicos obtidos durante a medição das três fases, visto que os materiais da construção civil têm um perfil químico bastante similar.

Para tanto, na medição de cada fase foi assumido, neste trabalho, que as atividades das outras fases também contribuíram para a concentração encontrada em cada período de medição. Por conseguinte, as amostragens realizadas durante as atividades do canteiro de obra acumularam uma extensa base de dados adquirida pelos equipamentos MiniVols (220 amostragens).

Os equipamentos foram instalados em um Ponto Fixo da obra, na entrada do canteiro e em 3 pontos distintos (Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3), instalados na saída do canteiro em fases distintas, sempre tomando por base a direção predominante do vento (sudeste). Na instalação dos pontos distintos buscou-se locá-los próximo as atividades que apresentassem a maior predominância das principais fases da obra: Ponto 1 instalado próximo às atividades da Fase 1 - serviços preliminares, movimento de terra e fundações; Ponto 2 instalado próximo às atividades da Fase 2 - execução de obra bruta; e, Ponto 3 instalado próximo às atividades da Fase 3 - execução de acabamentos (Figura 16 e 17).

Cada ponto de medição continha um conjunto de MiniVols composto de: 03 MiniVols cada com impactador diferente para PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} com medição entre 7 horas da manhã e 15 horas da tarde, representando o funcionamento do canteiro. Foi adicionado mais 01 MiniVol com impactador para medir MP₁₀, com funcionamento entre 17 horas da tarde e 15 horas da tarde do outro dia, para adicionar o período noturno à medição. Além destes, foi instalado a estação meteorológica no conjunto de medição da saída do canteiro (Figura 14 e Figura 15).

As medições ocorreram da seguinte forma:

- **Fase 1** - Medição do Ponto Fixo e do Ponto 1 realizada nos dias: 6/11/2013; 7/11/2013; 8/11/2013; 11/11/2013; 12/11/2013; 13/11/2013; 14/11/2013; 15/11/2013; 19/11/2013. Os *sticky pads* foram instalados na vizinhança durante 72 horas nos raios de 5 – 10 – 20 – 50 – 100 metros.
- **Fase 2** – Medição do Ponto Fixo e do Ponto 2 realizada nos dias: 7/1/2013; 8/1/2013; 9/1/2013; 10/1/2013; 13/1/2013; 14/1/2013; 15/1/2013; 16/1/2013; 17/1/2013. Os *sticky pads* foram instalados na vizinhança durante 72 horas nos raios de 5 – 10 – 20 – 50 – 100 metros.
- **Fase 3** – Medição do Ponto Fixo e do Ponto 3 realizada nos dias: 20/1/2013; 21/1/2013; 22/1/2013; 23/1/2013; 24/1/2013; 27/1/2013; 28/1/2013; 29/1/2013; 30/1/2013. Os *sticky pads* foram instalados na vizinhança durante 72 horas nos raios de 5 – 10 – 20 – 50 – 100 metros.

Figura 16: Localização dos pontos de amostragem



Fonte: o autor

Figura 17: Equipamentos no (a) Ponto Fixo, (b) Ponto 1, (c) Ponto 2 e (d) Ponto 3



(a) Ponto Fixo



(b) Ponto 1



(c) Ponto 2



(d) Ponto 3

Fonte: o autor

4.1.3.4 Análises dos dados

Foram realizadas as análises físicas de gravimetria e de concentração, análise química de Fluorescência de Raio-X e análise da taxa de sedimentação.

As campanhas de medição de 22 horas nos Pontos 1, 2 e 3 não são apresentadas neste trabalho, pois, durante a amostragem, ocorreram erros amostrais, visto que as gravimetrias encontradas em seus filtros apresentaram valores muito abaixo das respectivas campanhas de 8 horas. Para análise do período de 22 horas foi utilizado apenas os dados do Ponto Fixo nas diferentes fases de medição.

Antes de analisar os dados foi seguida uma rotina de pré-tratamento dos mesmos, para se eliminar os *outliers* que são valores discrepantes que diferem excessivamente do conjunto ao qual pertencem. Outro procedimento utilizado na análise dos dados foi o gráfico *box plot* ou gráfico de caixas, uma ferramenta que permitiu analisar a dispersão dos dados obtidos e a presença de *outliers*. Foi utilizado, também, gráficos de evolução, de pizza e gráfico de barras, nesses gráficos foram retiradas as representações dos *outliers* para melhor entendimento e clareza dos dados.

No tratamento estatístico descritivo foram encontrados os valores máximos, mínimos, bem como a média, mediana e a dispersão dos resultados sob a forma de desvio padrão e coeficiente de variação das concentrações do MP.

4.1.3.4.1 Análises Físicas: gravimetria e concentração

As análises de gravimetria e de concentração consistiram na pesagem dos filtros antes e depois da amostragem a partir da balança analítica Mettler Toledo do LAPAT/IAG/USP com precisão de seis casas decimais (μg) (Figura 18). Antes de qualquer pesagem os filtros foram armazenados, em laboratório, em condições de equilíbrio do ambiente de temperatura entre 20°C e 23°C e não variando mais que $\pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas e a umidade relativa ficou entre 42% e 47% e não variando mais que $\pm 5\%$ em 24 horas. Em seguida, os filtros foram descarregados eletrostaticamente em um sistema de deseletrização.

Figura 18: Balança analítica Mettler Toledo do LAPAT/IAG/USP



Fonte: o autor

A massa final dos filtros foi dada pela diferença anterior e posterior a amostragem dos filtros. A seguir, tem-se a equação:

$$M_{\text{final}} (\mu\text{g}) = M1 - M2 \quad (1)$$

onde:

$M_{\text{final}} (\mu\text{g})$ = massa final dos filtros

$M1$ = massa do filtro anterior à amostragem

$M2$ = massa do filtro posterior à amostragem

A gravimetria dos filtros foi calculada pela diferença entre a massa final dos filtros amostrados e a massa média dos “filtros brancos”. Os “filtros brancos” são filtros que

sofrem o mesmo processo que os anteriores só que não são amostrados, sendo utilizados apenas para controle. Isto é realizado para se eliminar qualquer ganho de massa devido à absorção de água ou contaminação no transporte e manuseio dos filtros. Foi necessário utilizar “filtros brancos” do mesmo lote para cada fração de MP. A seguir, tem-se a equação:

$$G_{(\mu g)} = M_{\text{final}} - \bar{X}_{\text{brancos}} \quad (2)$$

onde:

$G_{(\mu g)}$ = gravimetria dos filtros

M_{final} = massa final do filtro

\bar{X}_{brancos} = massa média dos “filtros brancos” para cada fração de MP

Para cálculo da concentração, fez-se necessário anteriormente encontrar a vazão média e o volume de ar, utilizados na coleta de cada filtro.

Para cálculo da vazão média, utilizaram-se as planilhas de campo, onde foram anotadas as vazões finais para cada MiniVol em todos os dias de monitoramento e a vazão inicial correspondente a cada equipamento. A seguir, tem-se a equação:

$$Q_{(L/min)} = Q_{\text{final}} + Q_{\text{inicial}} / 2 \quad (3)$$

onde:

$Q_{(L/min)}$ = vazão média

Q_{final} = vazão final de cada MiniVol

Q_{inicial} = vazão inicial de cada MiniVol

O volume de ar amostrado foi calculado de acordo a equação a seguir:

$$V_{(m^3)} = Q_{(L/min)} \times t_{(min)} \quad (4)$$

onde:

$V_{(m^3)}$ = volume total de ar amostrado

Q = vazão média

t = tempo de amostragem (em minutos)

De posse da gravimetria de cada filtro e do volume total amostrado, foram calculadas concentrações para cada fração de MP. A seguir, tem-se a equação:

$$C_{(\mu g/m^3)} = G_{(\mu g)} / V_{(m^3)} \quad (5)$$

onde:

$C_{(\mu g/m^3)}$ = concentração de cada filtro

G = gravimetria de cada filtro

V = volume total de ar amostrado

4.1.3.4.2 Análise Química: Fluorescência de Raio-X

Foram realizadas análises analíticas para determinação da composição química utilizando a técnica de Fluorescência de Raio-X por meio do equipamento modelo EDX 700 HS “*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*” da Shimadzu do LAPAT/IAG/USP (Figura 19) utilizado para quantificar os elementos de número atômico de 11 a 82 (do Na ao Pb) da tabela periódica.

O princípio básico da técnica de Raio-X pode ser descrito da seguinte forma: os Raios-X emitidos por uma fonte excitam os elétrons dos elementos que tendem a ejetar os elétrons do interior dos níveis dos átomos e, como consequência, elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher a vacância (Figura 20).

Figura 19: Equipamento de Fluorescência de Raio-X modelo EDX 700 HS “Energy Dispersive X-Ray Spectrometer” da Shimadzu do LAPAT/IAG/USP



Fonte: o autor

Figura 20: Fonte do Raio-X



Fonte: o autor

A determinação da composição elementar para cada fração de MP coletado requereu a análise dos seus respectivos “filtros brancos”, cujo resultado foi utilizado para se obter os valores dos elementos constituintes do filtro, visto que os valores dos “brancos” foram descontados dos valores encontrados dos amostrados.

Os resultados da análise de Fluorescência de Raio-X foram representados por meio da média percentual de cada elemento em relação à área total varrida para todos os filtros analisados. A área utilizada para análise foi correspondente à área de 13,2mm² de cada filtro, o equipamento faz a análise de 8 amostras (anéis) em 2 horas e 40 minutos (Figura 21).

Figura 21: Carrossel para análise elementar das amostras



Fonte: o autor

Dessa análise foram obtidos espectros de contagem por energia de Raio-X. Esses espectros de energia foram convertidos em concentrações de cada elemento através da aplicação do programa WinQXAS (*Windows Quantitative X-ray Analysis System*).

4.1.3.4.3 Análise da taxa de sedimentação

Para a análise da taxa de sedimentação foi utilizado um leitor/refletômetro que determinou a porcentagem de área efetiva do adesivo *sticky pad* coberta por MP num determinado período (Figura 22). Este leitor consiste em um cilindro com diâmetro de aproximadamente 65 mm de altura x 120 mm e uma máscara de localização. O cilindro contém um sistema óptico e eletrônico, incluindo a exibição de calibração e os dispositivos de colocação no zero. A alimentação regulada é alimentada para o dispositivo por uma fonte de alimentação de 13 AMP *plugtop* que requer um fornecimento normal de 230-240 V 50 Hz CA (HAMBY, 2014).

Figura 22: Leitor dos *Sticky pads*



Fonte: o autor

O adesivo sob teste foi iluminado por três lâmpadas de filamento de tungstênio, perto da extremidade inferior do cilindro. O fotodiodo que foi usado para medir a degradação do adesivo, é limitado a ver um disco circular de diâmetro de 6 mm no centro da área iluminada. Como o dispositivo é linear, foi necessária uma calibração simples de dois pontos antes de fazer as leituras dos adesivos amostrados. As leituras foram então tomadas ao colocar a máscara sobre a parte desejada do adesivo e observadas as leituras do medidor (HAMBY, 2014).

Recomenda-se que os papéis de suporte originais sejam guardados e utilizados para cobrir a amostra exposta, mas faz-se necessário atentar ao lado correto do papel de suporte, ou não vai soltar.

A unidade de medida não é equivalente a outros métodos, sendo registrada em percentual de área efetiva coberta por partículas.

O primeiro procedimento para leitura é encontrar o %EAC/Day (*Effective area coverage/day*) que corresponde ao cálculo da relação da área empoeirada dos adesivos subtraída da área de referência que corresponde à área que ficou coberta no adesivo durante a coleta da sedimentação, e depois, dividir pela quantidade de dias amostrados, no caso do presente experimento 3 dias (Tabela 8).

Tabela 8: Sticky pads - %EAC/day

%EAC/day	Localização
0,01	Rural
0,02	Subúrbio
0,3-0,4	Urbana
0,5	Horário de verão
0,8-1,0	Industrial

Fonte: HAMBY (2014)

De posse do %EAC/Day, partiu-se para o segundo procedimento na Tabela 9 que verifica qual o nível de incômodo gerado pelo canteiro:

Tabela 9: *Sticky pads* - nível de incômodo

%EAC/day	Nível de incômodo
0,2	Perceptível
0,5	Possível reclamação
0,7	Ofensiva
2,0	Provável reclamação
5,0	Sérios incômodos

Fonte: HAMBY (2014)

O Quadro 7 apresenta o resumo das análises físicas e químicas realizadas na metodologia proposta.

Quadro 7: Resumo das análises físicas e químicas realizadas na metodologia proposta

Análise dos dados		Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03	Ponto Fixo
Análise física	Concentração	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs
	Gravimetria	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 22hs
Análise química	Fluorescência de Raio-X (Primeira análise)	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 22hs			
	Fluorescência de Raio-X (Segunda análise)	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 22hs			
Taxa de sedimentação	Taxa de sedimentação	Leitura dos <i>sticky pads</i>			

Fonte: o autor

A partir dos resultados quali-quantitativos encontrados, a metodologia inicialmente proposta foi ajustada e será discutida no capítulo 6.

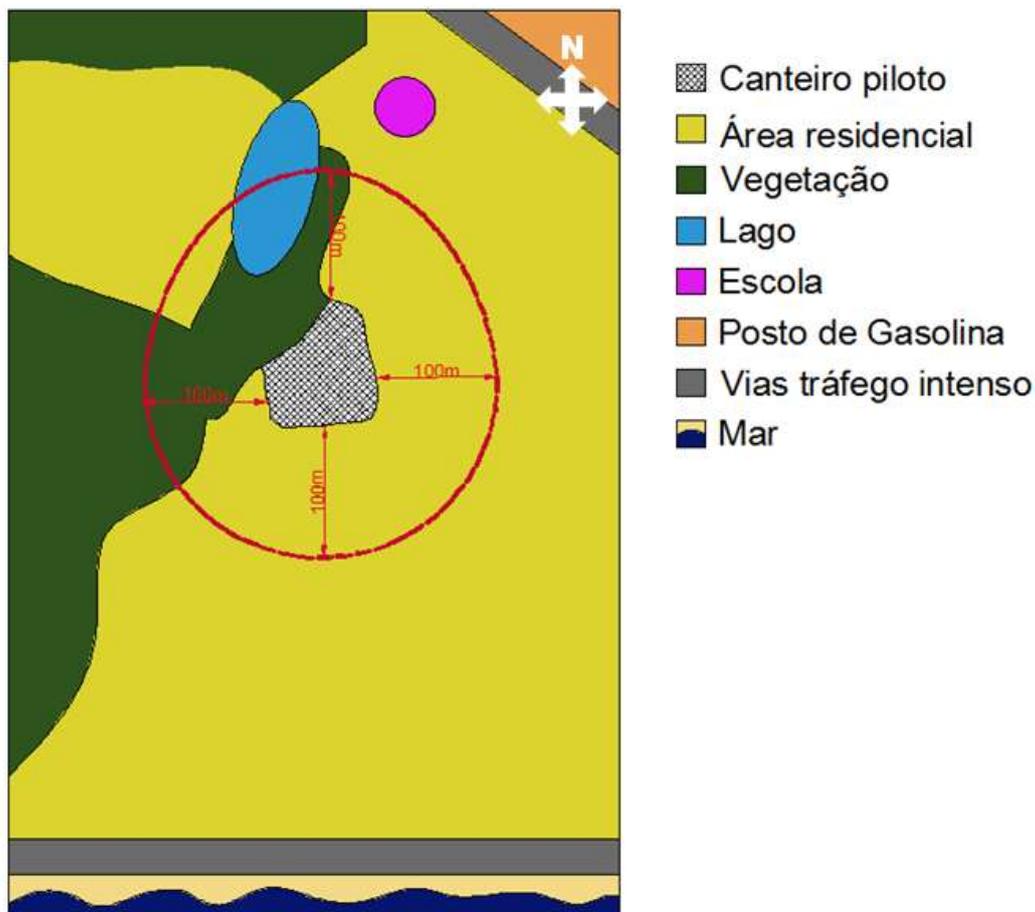
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia, bem como discute acerca dos mesmos. Na seção 5.1 é apresentado o canteiro piloto utilizado para aplicação e validação da metodologia. A seção 5.2 explicita o passo-a-passo das operações diárias, conforme itens listados no protocolo de monitoramento (Apêndice 1). A seção 5.3 apresenta os resultados da coleta de dados, bem como apresenta a análise quantitativa e qualitativa do MP coletado. Finalmente, a seção 5.4 apresenta uma discussão geral acerca dos dados apresentados ao longo do capítulo.

5.1 SELEÇÃO DO CANTEIRO PILOTO

Na escolha do canteiro piloto atentou-se para aquele canteiro que apresentasse menores interferências da região que impactassem na amostragem, tais como à proximidade das vias de tráfego, aeroportos e a existência de outros canteiros de obra na vizinhança. Além disso, foi realizado um cadastramento das informações sobre a região, como, por exemplo, a análise das proximidades do canteiro em relação a receptores sensíveis - escolas, creches, hospitais e áreas com grande concentração de público, obedecendo à escala de estudo (Figura 23). Além disso, foi analisado detalhadamente o entorno do canteiro até o raio de 100m que apresentou áreas residenciais (de até 2 pavimentos) e alta predominância de vegetação, bem como a presença de um lago, e não havia presença de fontes poluidoras primárias, tais como presença de outro canteiro e indústria (Figura 23).

Figura 23: Mapa esquemático da região do canteiro piloto



Fonte: o autor

O canteiro piloto está localizado no bairro de Pituáçu em Salvador/BA na Latitude $12^{\circ}57'46''$ Sul, Longitude $38^{\circ}24'32''$ Oeste e Altitude de 34m. O canteiro piloto apresenta uma área de 32.780m^2 com construção de 08 torres residenciais sendo apartamentos de 3 suítes e 2 torres residenciais com apartamentos de 4 suítes, cada torre tem 16 pavimentos, totalizando em 464 unidades habitacionais (Figura 24).

Figura 24: Canteiro Piloto



Fonte: CONSTRUTORA DO CANTEIRO (2014)

Em relação às vias de tráfego intenso o canteiro está de acordo com o protocolo de monitoramento (Apêndice 1), pois a via mais próxima de tráfego intenso do canteiro está a mais de 300m de distância. E, quanto ao espaço aéreo, o canteiro está a mais de 8.000m em relação ao aeroporto da cidade, é necessário para estudos acadêmicos que o canteiro esteja afastado de aeroportos pelo fato dos aviões proporcionarem a dispersão desse MP e, também, pela queima do combustível dos aviões que emite no ar consideráveis cargas de MP.

Quando do estudo foi constatado que a empresa construtora do empreendimento realizava a medição de MP através de equipamentos HiVols que por motivos de alguma ordem não era implementada com a regularidade necessária para uma análise contínua, além disso foi percebido que diariamente ao final das tardes era adotada a atividade mitigadora de aspersão de água sobre o solo no interior de grande parte do canteiro. Além disso, foi percebido a implementação de forma regular de ações de controle, tais como assegurar uma circulação cuidadosa dos veículos e proceder com a cobertura dos caminhões/caçambas no transporte de materiais.

5.2 SIMULAÇÃO DO EXPERIMENTO

Na simulação do experimento com dois amostradores na entrada e na saída foram observados requisitos para instalação dos equipamentos para que não houvesse interferências nos resultados das medições: barreiras físicas, a topografia do terreno que interfere na concentração de partículas, bem como a infraestrutura local e a segurança para acondicionamento dos equipamentos.

Além disso, antes da instalação dos amostradores MiniVols, foi instalada durante 5 dias ininterruptos a estação meteorológica (Figura 25 e Figura 26) para informar um período de tempo de menor oscilação do vento, visto que o vento da cidade oscila em 360° dependendo da estação do ano e da hora do dia. Encontrou-se o intervalo de tempo (7 horas – 15 horas) onde o vento sudeste identificado como predominante estava mais estável (Figura 27). Para tanto, foi encontrado o horário que mediria 8 horas durante a execução das atividades do canteiro e foi adicionado o período noturno, no intervalo de medição de 17 horas -15 horas, para os equipamentos que mediriam durante 22 horas, de modo abarcar o horário em que o canteiro não estaria funcionando durante a noite e a madrugada.

Figura 25: Medição da estação meteorológica



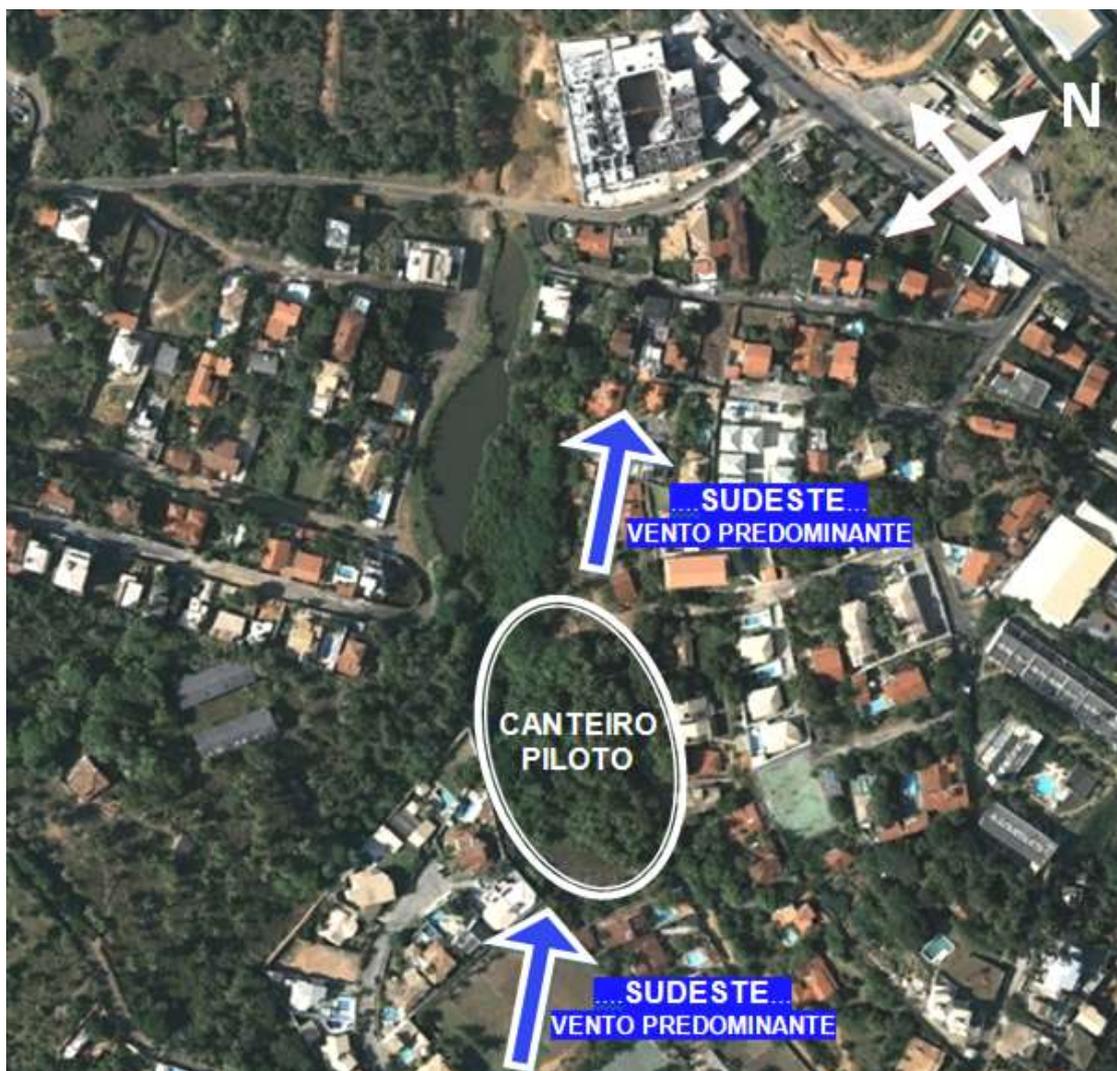
Fonte: o autor

Figura 26: Detalhe da estação meteorológica



Fonte: o autor

Figura 27: Implantação do canteiro piloto e marcação do vento predominante



Fonte: o autor

Na sequência, os equipamentos foram instalados a jusante e a montante do vento, na entrada e na saída do canteiro e em área aberta para que o fluxo de ar ao redor do amostrador ficasse livre 270° de qualquer obstrução, como barreiras verticais e horizontais que pudessem impedir o fluxo do vento normal em torno do amostrador (Figura 28).

Os equipamentos foram instalados a 20 metros na horizontal de qualquer obstáculo à frente em relação ao vento predominante e a uma altura de 3,4 metros em relação ao solo. Outro cuidado necessário foi atentar para uma escala de distância e volume de tráfego de pelo menos 25 metros de atividades pesadas das principais vias de circulação arterial e outras grandes fontes de emissão de partículas primárias (Figura 28).

Figura 28: Equipamento instalado a montante e a jusante



(a) Equipamento instalado a montante



(b) Equipamento instalado a jusante

Fonte: o autor

Após a instalação dos equipamentos foi iniciada a próxima etapa de treinamento relativo ao monitoramento diário e manuseio dos filtros. O monitoramento diário foi iniciado com a retirada dos filtros, sendo preciso transportá-los na horizontal, para evitar a perda de materiais coletados (Figura 29).

Durante o processo de retirada dos filtros foi necessário atentar para vazão final do equipamento (Figura 30) e anotá-la, e, para isso, foi preciso ligar o equipamento novamente para conseguir ter acesso a esse dado. Essa informação é necessária para posterior cálculo da gravimetria e concentração da amostra (análises físicas) coletada naquele dia.

Figura 29: Retirada dos filtros



Fonte: o autor

Figura 30: Vazão final do MiniVol



Fonte: o autor

Também houve a necessidade de substituir as baterias dos MiniVols a cada 48 horas, conforme Figura 31.

Figura 31: Substituição das baterias dos MiniVols



Fonte: o autor

Finalizado o processo de retirada dos filtros, das baterias e da verificação da vazão final de cada equipamento, a próxima etapa foi a de acondicionamento dos filtros e colocação de novos filtros, que foi realizada no escritório da obra, para que não houvesse contaminação dos mesmos. Todo o processo de manuseio dos filtros foi realizado com pinças e os filtros foram sempre manuseados e armazenados na sua posição horizontal para evitar a perda de materiais coletados. O processo foi conduzido da seguinte forma (Figura 32):

- a) abertura dos coletores para retiradas dos filtros;
- b) retirada dos filtros dos cassetes;
- c) transporte do filtro do cassete para a placa petri-identificadas;
- d) acondicionamento dos filtros nos tubetes;
- e) acondicionamento dos tubetes no *cooler*.

Figura 32: Processo de manuseio dos filtros



(a) abertura dos coletores para retiradas dos filtros



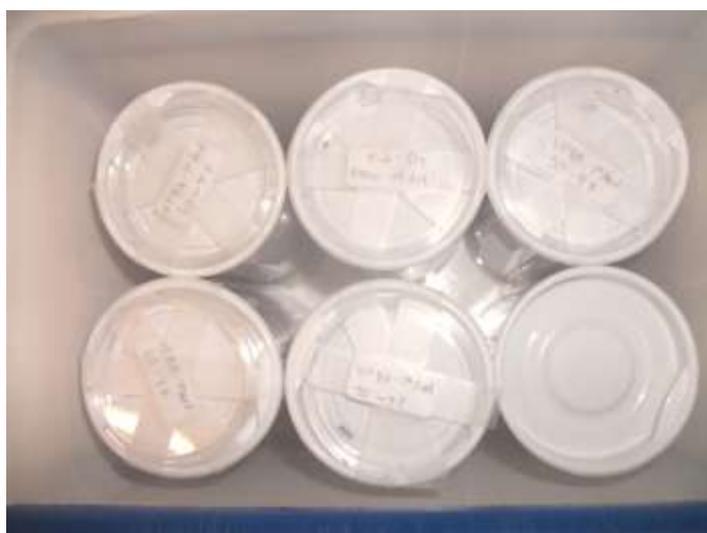
(b) retirada dos filtros dos cassetes



(c) transporte do filtro do cassete para a placa petri



(d) acondicionamento dos filtros nos tubetes



Fonte: o autor

Além disso, atenção especial foi dada ao ambiente onde se armazenou o *cooler*. O passo seguinte ao da retirada dos filtros amostrados foi o da colocação de novos filtros nos coletores dos MiniVols. O processo foi conduzido de forma inversa ao procedimento anterior segue o passo-a-passo: a) retirada dos tubetes de dentro do *cooler*; b) retirada do filtro de dentro da placa petri-identificada; c) abertura do cassete; d) transporte do filtro da placa petri para o cassete; e) colocação do cassete nos coletores dos MiniVols.

Vale a ressalva de que ao colocar os novos filtros foi preciso atentar para a sua identificação. Para tanto além de preenchimento da planilha de MiniVols (Apêndice 2) foi colocado um adesivo nos coletores dos MiniVols para facilitar a identificação após a retirada dos equipamentos (Figura 33).

Figura 33: Alocação dos novos filtros nos coletores dos MiniVols



Fonte: o autor

Após esta etapa dos filtros, foi preciso voltar aos equipamentos MiniVols para acondicionar os coletores dos MiniVols, colocar novas baterias carregadas, além de colocar a vazão inicial de cada equipamento. A última etapa operacional diária foi programar o início e fim da coleta nos amostradores.

Ademais, foi preciso investigar as atividades de produção que foram realizadas em cada dia de monitoramento e observar o canteiro de modo geral, bem como fazer alguns questionamentos aos responsáveis e mestres da obra, para confirmar se o cronograma da

obra estava realmente sendo executado de acordo com o cronograma de curto prazo. E, também, analisar os dados coletados pela estação meteorológica para entender sob quais condições ambientais o MP foi coletado.

5.3 RESULTADOS DA COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO PILOTO

Os resultados estão dispostos em quatro análises: (1) análise quantitativa e qualitativa dos Pontos 1, 2 e 3, concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} e suas composições químicas; (2) análise quantitativa e qualitativa do Ponto Fixo, concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} e suas composições químicas; (3) análise quantitativa e qualitativa do Ponto fixo, gravimetria do MP₁₀ (8 horas) com a do MP₁₀ (22 horas) e a correlação com a legislação; e, (4) análise qualitativa dos *sticky pads*.

Para o Ponto Fixo as atividades que puderam ser relacionadas são aquelas que ocorreram na entrada principal da obra (movimentação de veículos) e áreas circundantes (atividades do canteiro de modo geral), visto que esse ponto não foi instalado em área central e/ou próximo de atividades construtivas no canteiro. Além disso, essas partículas podem ter sido provenientes das atividades da vizinhança.

No período de coleta da Fase 1, as atividades mais próximas ao Ponto 1 que porventura contribuíram mais intensamente para os dados coletados neste ponto foram:

- Terraplenagem / movimentação de terra;
- Escavação manual - meso estrutura;
- Arrasamento de estacas hélice – fundações;
- Trânsito de veículos sobre o solo;
- Transporte de terra;
- Tráfego de caminhões no canteiro;
- Levante alvenaria;
- Alvenaria em combogó de cimento;
- Encunhamento de alvenaria;
- Chapisco rolado;
- Tratamento de concreto para laje/forros;
- Execução de contra-piso;

- Execução de piso auto-nivelante.

Essas atividades foram executadas sob condições meteorológicas descritas na Tabela 10.

Tabela 10: Condições meteorológicas - Fase 1

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS – FASE 1						
Data	Umidade (%)	Pressão (mmHg)	Temp. (°C)	Velocidade (m/s)	Pluviometria (mm)	Vento predominante Sudeste (% no dia)
06/11/2013	69	755,8	24,4	0,9	0,0	11,1
07/11/2013	77	756,1	26,4	1,3	1,4	44,4
08/11/2013	69	758,8	29,2	1,4	0,0	0
11/11/2013	66	758,2	30,1	1,6	0,0	17,6
12/11/2013	67	758,2	29,9	1,0	0,0	64,7
13/11/2013	74	758,3	28,9	1,9	0,00	29,4
14/11/2013	72	759,4	28,7	2,3	1,0	0
15/11/2013	74	760,0	27,8	1,6	0,2	35,3
19/11/2013	76	759,6	27,8	4,7	0,2	0
Média	71,57	758,27	28,14	1,84	0,31	Sudeste

Fonte: o autor

No período de coleta da Fase 2, as atividades mais próximas ao Ponto 2 que por ventura contribuíram mais intensamente para os dados coletados neste ponto foram:

- Tratamento de concreto para laje;
- Levante de alvenaria;
- Encunhamento de alvenaria;
- Alvenaria em combogó de cimento;
- Execução de contra-piso;
- Execução de piso auto-nivelante;
- Execução de piso cimentado;
- Chapisco rolado;
- Lavagem de pilares/vigas;

- Fechamento de shaft em alvenaria;
- Revestimento cerâmico (parede);
- Revestimento em massa única;
- Soleira e filete de porta em mármore/granito;
- Embutimento e chumbamento hidráulico;
- Impermeabilização com manta asfáltica;
- Impermeabilização cristalizada.

Essas atividades foram executadas sob condições meteorológicas descritas na Tabela 11.

Tabela 11: Condições meteorológicas – Fase 2

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS – FASE 2						
Data	Umidade (%)	Pressão (mmHg)	Temp. (°C)	Velocidade (m/s)	Total de Chuva (mm)	Vento predominante Sudeste (% no dia)
07/01/2014	77	756,3	26,4	1,3	1,4	44,4
08/01/2014	80	755,5	25,9	1,8	0,0	22,2
09/01/2014	82	755,1	25,0	0,9	0,2	11,1
10/01/2014	89	756,3	25,2	0,9	3,2	0
13/01/2014	78	758,5	27,0	1,4	0	0
14/01/2014	78	758,2	27,4	1,4	0	22,2
15/01/2014	83	756,7	26,5	1,5	1,8	0
16/01/2014	73	756,8	27,0	1,0	0	33,3
17/01/2014	86	757,0	25,4	1,1	1,8	0
Média	80	757	26	1	0	Sudeste

Fonte: o autor

No período de coleta da Fase 3, as atividades mais próximas ao Ponto 3 que por ventura contribuíram mais intensamente para os dados coletados neste ponto foram:

- Chapisco externo;
- Rejuntamento alvenaria fachada;
- Aplicação de pastilhas fachada;

- Ponto de massa fachada;
- Revestimento cerâmico (parede);
- Impermeabilização cristalizada;
- Bancadas em mármore/granito;
- Forro em placas de gesso acartonado;
- Lixamento (parede e teto);
- Levante de alvenaria;
- Alvenaria em combogó de cimento;
- Execução de contra-piso;
- Execução de piso auto-nivelante;
- Execução de piso cimentado.

Essas atividades foram executadas sob condições meteorológicas descritas na Tabela 12.

Tabela 12: Condições meteorológicas – Fase 3

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS – FASE 3						
Data	Umidade (%)	Pressão (mmHg)	Temp. (°C)	Velocidade (m/s)	Total de Chuva (mm)	Vento predominante Sudeste (% no dia)
20/01/2014	77	756,5	27,8	1,2	0,0	0
21/01/2014	76	759,4	28,8	0,6	0,0	0
22/01/2014	81	759,8	27,7	0,7	6,6	17,6
23/01/2014	71	759,5	29,1	0,7	0	5,9
24/01/2014	76	758,4	26,8	1,4	0	0
27/01/2014	75	760,1	29,7	1,1	0	0
28/01/2014	76	758,6	27,9	1,1	1,77	0
29/01/2014	72	758,5	29,4	2,0	0	0
30/01/2014	66	758,9	29,6	1,7	0	0
Média	76	759	29	1	0	Sudeste

Fonte: o autor

A necessidade de estudar as condicionantes meteorológicas locais foi de extrema importância pelo fato destas influenciarem diretamente seja na deposição das partículas

ou em sua dispersão. A direção e velocidade do vento é uma variável de igual ou maior valor a se estudar, juntamente com a umidade e a pluviometria. Todavia, neste trabalho inicialmente buscou-se instalar uma controladora para acionar o equipamento apenas no sopro do vento predominante, mas até a finalização do mesmo não foi possível estabelecer uma mecanismos de comunicação adequada entre a controladora e os equipamentos MiniVols, com isso a medição foi realizada sob condições de vento variadas, oscilando em 360°. Entretanto, com o auxílio da estação meteorológica foi identificado o período de menor oscilação e utilizado o mesmo para a medição realizada em 8 horas neste trabalho, sendo também identificado o vento sudeste como predominante.

Para tanto, as medições deste trabalho envolveram condições meteorológicas diversificadas ora divergentes, ora convergentes como observado nas Tabelas 10, 11 e 12. Esta variabilidade acabou dificultando uma avaliação mais aprofundada da relação entre os particulados e as condicionantes ambientais.

5.3.1 Análise quantitativa e qualitativa do Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3

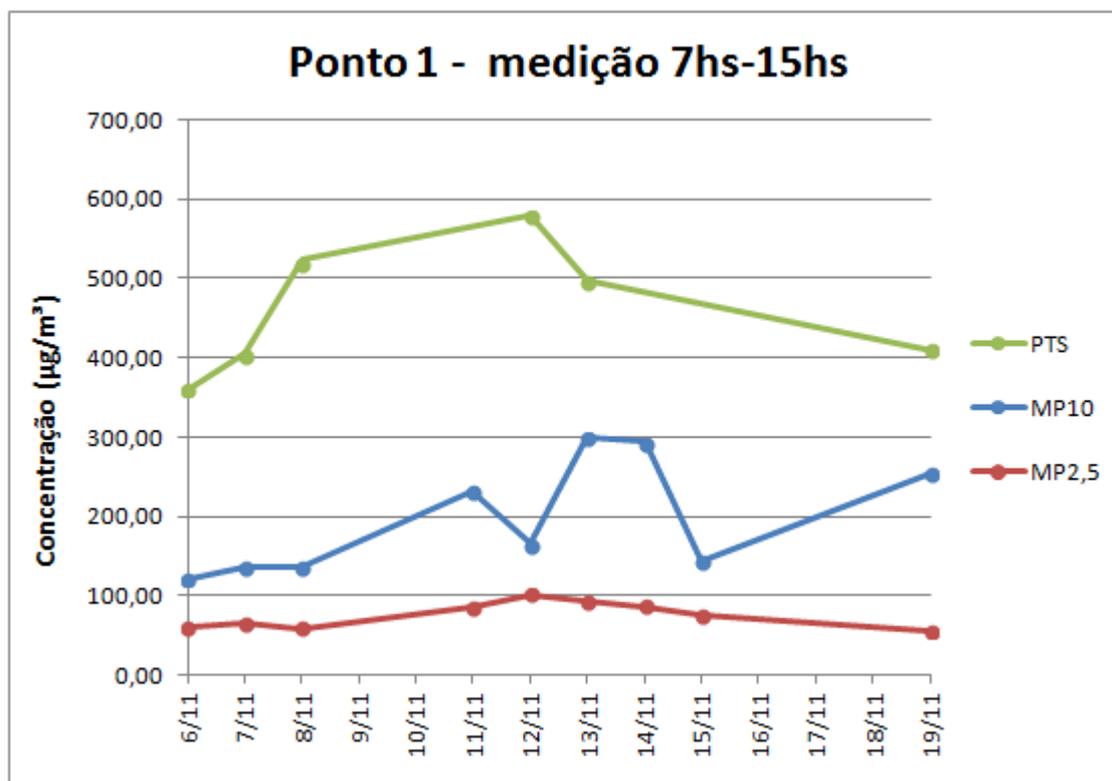
Os dados obtidos nos Pontos 1, 2 e 3 foram analisados com o uso de gráficos de evolução em que foram inseridas as concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} para os dias de coleta, com exceção dos dias que apresentaram *outliers*. Foram estudadas as condições meteorológicas dos dias de máxima e mínima concentração. Na análise química foram analisadas as frações de MP e a porcentagem de cada elemento químico encontrado por meio de gráfico de pizza e gráfico de barras.

5.3.1.1 Análise do Ponto 1

Pela análise da Figura 34 e da Tabela 13 é possível notar que as PTS apresentaram as maiores concentrações, seguidas pelo MP₁₀ e depois MP_{2,5}. A fase estudada em destaque neste Ponto 1 foi a fase de serviços preliminares, movimento de terra e fundações (Fase 1), pois o ponto foi instalado próximos às atividades: Terraplenagem / movimentação de terra; Escavação manual – meso estrutura; Arrasamento de estacas hélice – fundações; Trânsito de veículos sobre o solo; Transporte de terra; e, Tráfego de caminhões no canteiro. Porém, neste ponto houve influência das outras fases em especial a Fase 2 – execução de obra bruta, pois ocorreram atividades dessa fase nas proximidades: Levante alvenaria; Alvenaria em combogó de cimento; Encunhamento de alvenaria; Chapisco

rolado; Tratamento de concreto para laje/forros; Execução de contra-piso; e, Execução de piso auto-nivelante.

Figura 34: Gráfico de evolução comparando as concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos diferentes dias de medição do Ponto 1



Fonte: o autor

Tabela 13: Estatística descritiva das concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do Ponto 1

CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Ponto 1			
Estatística Descritiva	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}
Máxima	578,86	298,84	101,91
Média	462,25	198,09	75,89
Mediana	454,32	165,48	75,15
Mínima	361,34	121,52	55,77
Desvio Padrão	82,81	71,69	16,74
Coefficiente de variação	18%	36%	22%

Fonte: o autor

A concentração máxima de PTS ($578,86\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada no Ponto 1 foi em 12/11/2013. Foi realizada uma caracterização meteorológica do dia em questão e obtido o vento sudeste predominante no canteiro em 64,7% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 1,0m/s, a umidade foi de 67% e houve a ausência de chuva. Por outro lado, a mais baixa concentração de PTS no Ponto 1 ($361,34\mu\text{g}/\text{m}^3$) foi obtida no dia 6/11/2013 com o vento sudeste predominante no canteiro em 11,1% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 0,9m/s, a umidade foi de 69% e houve ausência de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais foi observado que no dia de concentração máxima, os dados metrológicos condizem com os resultados, além disso, houve uma grande predominância do vento sudeste que tendeu a direcionar mais MP em direção ao Ponto 1 e, conseqüentemente para a vizinhança. Já em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia ter apresentado pouco vento (sudeste), alta umidade, mesmo apresentando ausência de chuva.

A concentração máxima de MP_{10} ($298,84\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada no Ponto 1 foi em 13/11/2013 com o vento sudeste predominante no canteiro em 29,4% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 0,4m/s, a umidade foi de 74% e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de MP_{10} no Ponto 1 ($121,52\mu\text{g}/\text{m}^3$) foi obtida no dia 06/11/2013 com o vento sudeste predominante no canteiro em 11,1% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 0,9m/s, a umidade foi de 69% e houve ausência de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais foi observado que no dia de concentração máxima, os dados metrológicos condizem com os resultados, além disso, houve uma média predominância do vento sudeste que tendeu a direcionar mais MP em direção ao Ponto 1 e, conseqüentemente para a vizinhança. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia ter apresentado pouco vento (sudeste) e alta umidade, mesmo apresentando ausência de chuva.

A concentração máxima de $\text{MP}_{2,5}$ ($101,91\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada no Ponto 1 foi em 12/11/2013 com o vento sudeste predominante no canteiro em 64,7% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 1,0m/s, a umidade foi de 67% e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de $\text{MP}_{2,5}$ no Ponto 1 ($55,77\mu\text{g}/\text{m}^3$) foi obtida no dia 19/11/2013 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 76% e foi obtido 0,2mm de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais foi observado que no dia de concentração máxima, os dados metrológicos condizem com os resultados, além disso, houve uma grande predominância do vento sudeste que tendeu a direcionar mais MP em direção ao Ponto 1 e, conseqüentemente para a vizinhança. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia ter apresentado ausência do vento sudeste, alta umidade e presença de chuva.

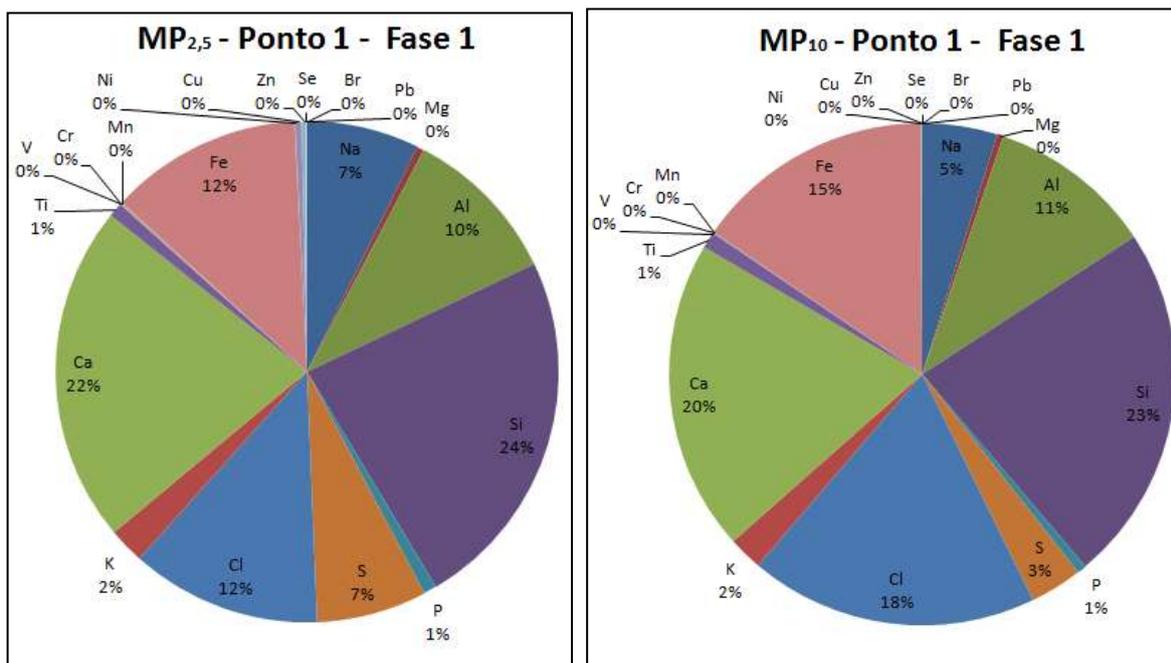
As análises químicas do MP_{2,5} e do MP₁₀ apresentaram elementos com concentrações similares nas suas amostras (Figura 35):

- Cl (12% - MP_{2,5} e 18% - MP₁₀) e Na (7% - MP_{2,5} e 5% - MP₁₀): este perfil químico corrobora com o perfil de aerossóis marinho (NaCl), visto que a obra é localizada próximo a orla da cidade;
- Si (24% - MP_{2,5} e 23% - MP₁₀), Ca (22% - MP_{2,5} e 20% - MP₁₀), Al (10% - MP_{2,5} e 11% - MP₁₀), Fe (12% - MP_{2,5} e 15% - MP₁₀) e K (2% - MP_{2,5} e 2% - MP₁₀): não houve possibilidade de identificar a atividade específica que emitiu tais MP, devido ao fato das atividades do canteiro de obra (movimentação de terra, concretagem, levante de alvenaria, reboco, chapisco, entre outros) apresentarem seus materiais com perfil químico parecidos entre si. Por conseguinte, identificou-se para esses elementos (Si, Ca, Al, Fe e K) um grande grupo de fontes⁴ das atividades de construção, que na análise do Ponto 1 podem estar associadas em primeira instância as atividades localizadas mais próximas a este ponto de medição;
- S (7% - MP_{2,5} e 3% - MP₁₀): o S aparece como elemento marcante da queima de combustível e também segundo Oyama (2010) o S pode ser proveniente de aerossol secundário que é formado na atmosfera por meio de combinações. Ademais segundo pesquisas de Maioli (2011), Sanchez-Ccoyllo *et al.* (2008) e Viana *et al.* (2008) tem-se outros elementos que estão diretamente associados a queima de combustível: Zn, Cl e Fe.

⁴ Grupo de fontes para os elementos Si, Ca, Al, Fe e K: atividades contidas na Fase 1 - serviços preliminares, movimento de terra e fundações, na Fase 2 - execução de obra bruta e na Fase 3 - execução de acabamentos vide Quadro 4– Capítulo 3 deste documento.

A concentração dos demais elementos apresentaram valores muito pequenos tanto para $MP_{2,5}$ quanto para MP_{10} . As Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice 5 apresentam os dados da concentração para todos os elementos químicos encontrados.

Figura 35: Percentual dos elementos químicos das amostras de $MP_{2,5}$ e MP_{10} do Ponto 1 - Fase 1

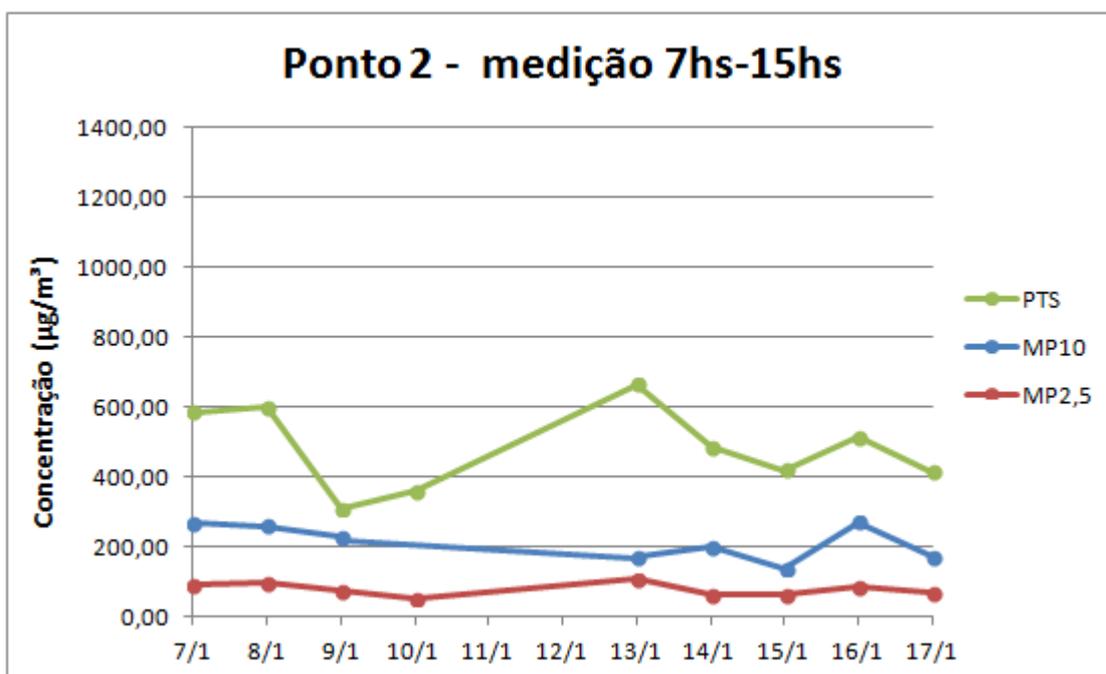


Fonte: o autor

5.3.1.2 Análise do Ponto 2

Pela análise da Figura 36 e da Tabela 14 também é possível notar que as PTS apresentaram as maiores concentrações, seguidas pelo MP_{10} e depois $MP_{2,5}$. A fase estudada em destaque NESTE Ponto 2 foi a fase de execução de obra bruta (Fase 2), pois o ponto foi instalado próximos às atividades: Tratamento de concreto para laje; Levante de alvenaria; Encunhamento de alvenaria; Alvenaria em combogó de cimento; Execução de contra-piso; Execução de piso auto-nivelante; Execução de piso cimentado; Chapisco rolado; Lavagem de pilares/vigas; e, Fechamento de shaft em alvenaria. Porém, neste ponto houve influência das outras fases em especial a Fase 3 – execução de acabamentos, pois ocorreram atividades dessa fase nas proximidades: Revestimento cerâmico (parede); Revestimento em massa única; Soleira e filete de porta em mármore/granito; Embutimento e chumbamento hidráulico; Impermeabilização com manta asfáltica; e, Impermeabilização cristalizada.

Figura 36: Gráfico de evolução comparando as concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} em µg/m³ nos diferentes dias de medição no Ponto 2



Fonte: o autor

Tabela 14: Estatística descritiva das concentrações em µg/m³ do Ponto 2

CONCENTRAÇÃO (µg/m³) - Ponto 2			
Estatística Descritiva	PTS	MP₁₀	MP_{2,5}
Máxima	664,19	270,70	105,84
Média	483,12	213,94	77,85
Mediana	485,60	215,37	71,69
Mínima	307,65	138,28	53,24
Desvio Padrão	119,17	50,88	17,19
Coefficiente de variação	25%	24%	22%

Fonte: o autor

A concentração máxima de PTS (664,19µg/m³) registrada no Ponto 2 foi em 13/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 78% e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de PTS no Ponto 2 (307,65µg/m³) foi

obtida no dia 9/1/2014 com o vento sudeste predominante no canteiro em 11,1% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 1,1m/s, a umidade foi de 82% e foi obtido 0,2mm de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais no dia de concentração máxima, nada se pode garantir com relação à concentração encontrada, pois os dados favorecem valores de baixa concentração, mas é possível assegurar que houve contribuição predominante das outras direções do vento que direcionou o MP ao aparelho. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia ter apresentado pouco vento (sudeste), alta umidade, além da presença de chuva.

A concentração máxima de MP₁₀ (270,70µg/m³) registrada no Ponto 2 foi em 16/1/2014 com o vento sudeste predominante no canteiro em 33,3% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 1,3m/s, a umidade foi de 73% (menor umidade registrada no período) e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de MP₁₀ no Ponto 2 (138,28µg/m³) foi obtida no dia 15/01/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 83% e foram obtidos 1,8mm de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais foi observado que no dia de concentração máxima, os dados metrológicos condizem com os resultados, além disso, houve uma média predominância do vento sudeste que tendeu a direcionar mais MP em direção ao Ponto 2 e, conseqüentemente para a vizinhança. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia não apresentar o vento sudeste, apresentar alta umidade, além da presença de chuva.

A concentração máxima de MP_{2,5} (105,84µg/m³) registrada no Ponto 2 foi em 13/1/2014 e no dia em questão houve ausência do vento sudeste, a umidade foi de 78% e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de MP_{2,5} no Ponto 2 (53,24µg/m³) foi obtida no dia 10/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 89% (maior umidade registrada no período) e foram obtidos 3,2mm de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais no dia de concentração máxima, nada se pode garantir com relação à concentração encontrada, pois os dados favorecem valores de baixa concentração, mas é possível assegurar que houve contribuição predominante das outras direções do vento que direcionou o MP ao aparelho. Em relação ao dia de baixa

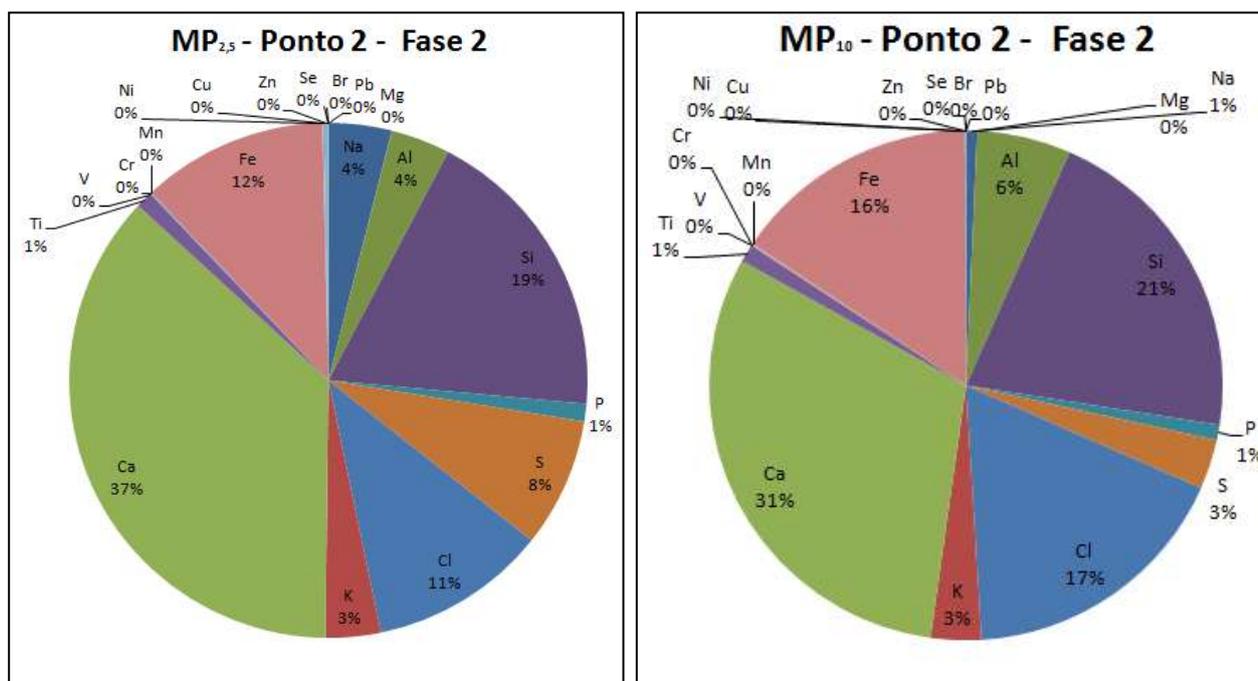
concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia não apresentar o vento sudeste, apresentar alta umidade, além de presença de chuva.

As análises químicas do $MP_{2,5}$ e do MP_{10} apresentaram elementos com concentrações similares nas suas amostras (Figura 37):

- Cl (11% - $MP_{2,5}$ e 17% - MP_{10}) e Na (4% - $MP_{2,5}$ e 1% - MP_{10}): este perfil também corrobora com o perfil de aerossóis marinho (NaCl), visto que a obra é localizada próximo a orla da cidade;
- Si (19% - $MP_{2,5}$ e 21% - MP_{10}), Ca (37% - $MP_{2,5}$ e 31% - MP_{10}), Al (4% - $MP_{2,5}$ e 6% - MP_{10}), Fe (12% - $MP_{2,5}$ e 16% - MP_{10}) e K (3% - $MP_{2,5}$ e 3% - MP_{10}): também não houve possibilidade de identificar a atividade específica que emitiu tais MP, devido ao fato das atividades do canteiro de obra (movimentação de terra, concretagem, levante de alvenaria, reboco, chapisco, entre outros) apresentarem seus materiais com perfil químico parecidos entre si. Por conseguinte, identificou-se para esses elementos (Si, Ca, Al, Fe e K) um grande grupo de fontes das atividades de construção, que na análise do Ponto 2 podem estar associadas em primeira instância as atividades localizadas mais próximas ao ponto de medição;
- S (8% - $MP_{2,5}$ e 3% - MP_{10}): o elemento S aparece de forma similar ao Ponto 1, inclusive com porcentagens muito próximas.

Assim como no Ponto 1, a concentração dos demais elementos apresentaram valores muito pequenos tanto para $MP_{2,5}$ quanto para MP_{10} . As Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice 5 apresentam os dados da concentração para todos os elementos químicos encontrados.

Figura 37: Percentual dos elementos químicos das amostras de MP_{2,5} e MP₁₀ do Ponto 2 - Fase 2



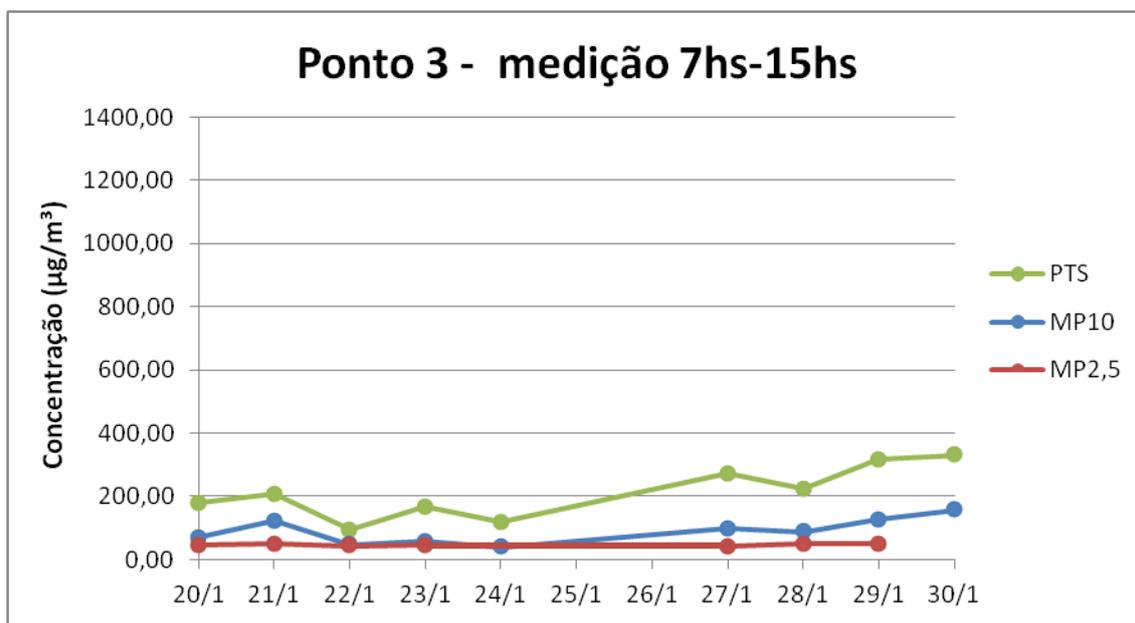
Fonte: o autor

5.3.1.3 Análise do Ponto 3

Pela análise da Figura 38 e da Tabela 15 também é possível notar que as PTS apresentaram as maiores concentrações, seguidas pelo MP₁₀ e depois MP_{2,5}. É necessário atentar a frequente ausência e/ou pequena predominância do vento sudeste no canteiro, neste ponto de medição, pelo fato dos equipamentos estarem instalados atrás de uma torre, ou seja, uma barreira para o vento sudeste neste ponto.

A fase estudada em destaque neste Ponto 3 foi a fase de execução de acabamentos (Fase 3), pois o ponto foi instalado próximo às atividades: Chapisco externo; Rejuntamento alvenaria fachada; Aplicação de pastilhas fachada garagem; Ponto de massa fachada; Revestimento cerâmico (parede); Impermeabilização cristalizada; Bancadas em mármore/granito; Forro em placas de gesso acartonado; e, Lixamento (parede e teto). Porém, neste ponto houve influência das outras fases em especial a Fase 2 – execução de obra bruta, pois ocorreram atividades dessa fase nas proximidades: Levante de alvenaria; Alvenaria em combogó de cimento; Execução de contra-piso; Execução de piso auto-nivelante; e, Execução de piso cimentado.

Figura 38: Gráfico de evolução comparando as concentrações de PTS, MP₁₀ E MP_{2,5} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos diferentes dias de medição no Ponto 3



Fonte: o autor

Tabela 15: Estatística descritiva das concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do Ponto 3

CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Ponto 3			
Estatística Descritiva	PTS	MP₁₀	MP_{2,5}
Máxima	331,13	156,91	50,96
Média	212,31	90,00	46,84
Mediana	206,35	88,50	46,24
Mínima	95,63	39,73	42,89
Desvio Padrão	82,48	39,43	3,21
Coefficiente de variação	39%	44%	7%

Fonte: o autor

A concentração máxima de PTS ($331,13\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada no Ponto 3 foi em 30/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 66% (menor umidade registrada no período) e houve ausência de chuva. Por outro lado, a mais baixa concentração de PTS no Ponto 3 ($95,63\mu\text{g}/\text{m}^3$) foi obtida no dia 22/1/2014 com o vento

sudeste predominante no canteiro em 17,6% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 0,1m/s, a umidade foi de 81%(maior umidade registrada no período) e houve ausência de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais foi observado que no dia de concentração máxima, nada se pode garantir com relação à concentração encontrada, pois os dados favorecem valores de baixa concentração, mas é possível assegurar que houve contribuição predominante das outras direções do vento que direcionou o MP ao aparelho. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia ter apresentado pouco vento (sudeste), alta umidade, mesmo com ausência de chuva.

A concentração máxima de MP₁₀ (156,91µg/m³) registrada no Ponto 3 foi em 30/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 66% (menor umidade registrada no período) e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de MP₁₀ no Ponto 3 (39,73µg/m³) foi obtida no dia 24/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 76% e houve ausência de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais no dia de concentração máxima, nada se pode garantir com relação à concentração encontrada, pois os dados favorecem valores de baixa concentração, mas é possível assegurar que houve contribuição predominante das outras direções do vento que direcionou o MP ao aparelho. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia não apresentar o vento sudeste, apresentar alta umidade, mesmo com ausência de chuva.

A concentração máxima de MP_{2,5} (50,96µg/m³) registrada no Ponto 3 foi em 28/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 76% e foram obtidos 1,77mm de chuva. A mais baixa concentração de MP_{2,5} no Ponto 3 (42,89µg/m³) foi obtida no dia 27/1/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 75% e houve ausência de chuva.

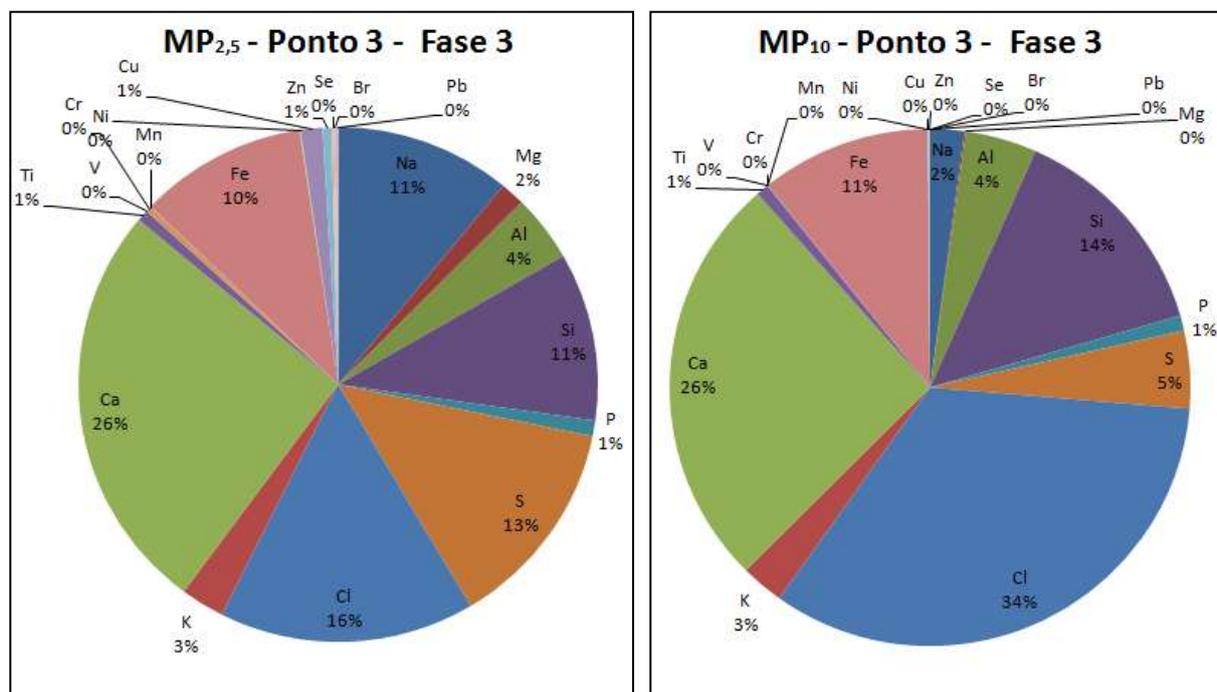
Com relação às condicionantes ambientais no dia de concentração máxima, nada se pode garantir com relação à concentração encontrada, pois os dados favorecem valores de baixa concentração, mas é possível assegurar que houve contribuição predominante das outras direções do vento que direcionou o MP ao aparelho. Em relação ao dia de baixa concentração já era esperado ter esse valor pelo fato desse dia não apresentar o vento sudeste, apresentar alta umidade, mesmo com ausência de chuva.

As análises químicas do $MP_{2,5}$ e do MP_{10} apresentaram elementos com concentrações similares nas suas amostras (Figura 39):

- Cl (16% - $MP_{2,5}$ e 34% - MP_{10}) e Na (11% - $MP_{2,5}$ e 2% - MP_{10}): este perfil também corrobora com o perfil de aerossóis marinho (NaCl), visto que a obra é localizada próximo a orla da cidade;
- Si (11% - $MP_{2,5}$ e 14% - MP_{10}), Ca (26% - $MP_{2,5}$ e 26% - MP_{10}), Al (4% - $MP_{2,5}$ e 4% - MP_{10}), Fe (10% - $MP_{2,5}$ e 11% - MP_{10}) e K (3% - $MP_{2,5}$ e 3% - MP_{10}): também não houve possibilidade de identificar a atividade específica que emitiu tais MP, devido ao fato das atividades do canteiro de obra (movimentação de terra, concretagem, levante de alvenaria, reboco, chapisco, entre outros) apresentarem seus materiais com perfil químico parecidos entre si. Por conseguinte, identificou-se para esses elementos (Si, Ca, Al, Fe e K) um grande grupo de fontes das atividades de construção, que na análise do Ponto 3 podem estar associadas em primeira instância as atividades localizadas mais próximas ao ponto de medição;
- S (13% - $MP_{2,5}$ e 5% - MP_{10}): o elemento S aparece de forma similar ao Ponto 1 e ao Ponto 2, inclusive com porcentagens muito próximas.

Assim como no Ponto 1 e Ponto 2, a concentração dos demais elementos apresentaram valores muito pequenos tanto para $MP_{2,5}$ quanto para MP_{10} . As Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice 5 apresentam os dados da concentração para todos os elementos químicos encontrados.

Figura 39: Percentual dos elementos químicos das amostras de MP_{2,5} e MP₁₀ do Ponto 3 - Fase 3



Fonte: o autor

5.3.1.4 Análise geral dos MP nos Pontos 1, 2 e 3

As concentrações do Ponto 2 apresentaram valores maiores que a do Ponto 1 e do Ponto 3, evidenciando que este ponto foi o mais impactado ambientalmente por concentração de material particulado no período estudado. Nas Figuras 40, 41 e 42, os gráficos *box plot* das concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} apresentam as concentrações das frações de particulados separados pelos pontos de medição e suas respectivas concentrações *outliers*.

A partir das Figuras 40, 41 e 42 pode-se afirmar que em termos de concentração de MP, o Ponto 2 coletou mais PTS, MP₁₀ e MP_{2,5}, com concentrações médias 483,12µg/m³, 213,94µg/m³ e 77,85µg/m³, respectivamente. Enquanto que no Ponto 1, as concentrações médias para PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} foram 462,25µg/m³, 198,09µg/m³ e 75,89µg/m³, respectivamente e no Ponto 3 foram 212,31µg/m³, 90,00µg/m³ e 46,84µg/m³. Uma justificativa para a maior concentração coletada no Ponto 2 é o fato deste ponto estar localizado na área central do canteiro, portanto o mesmo acabou coletando o MP

proveniente das atividades de modo geral, bem como coleta uma grande parcela da ressuspensão⁵ do MP de todo o canteiro.

Com relação às medianas, com exceção apenas da emissão de MP_{2,5} com mediana maior no Ponto 1, as demais frações de MP apresentaram medianas maiores no Ponto 2, seguidas do Ponto 1 e, por fim do Ponto 3.

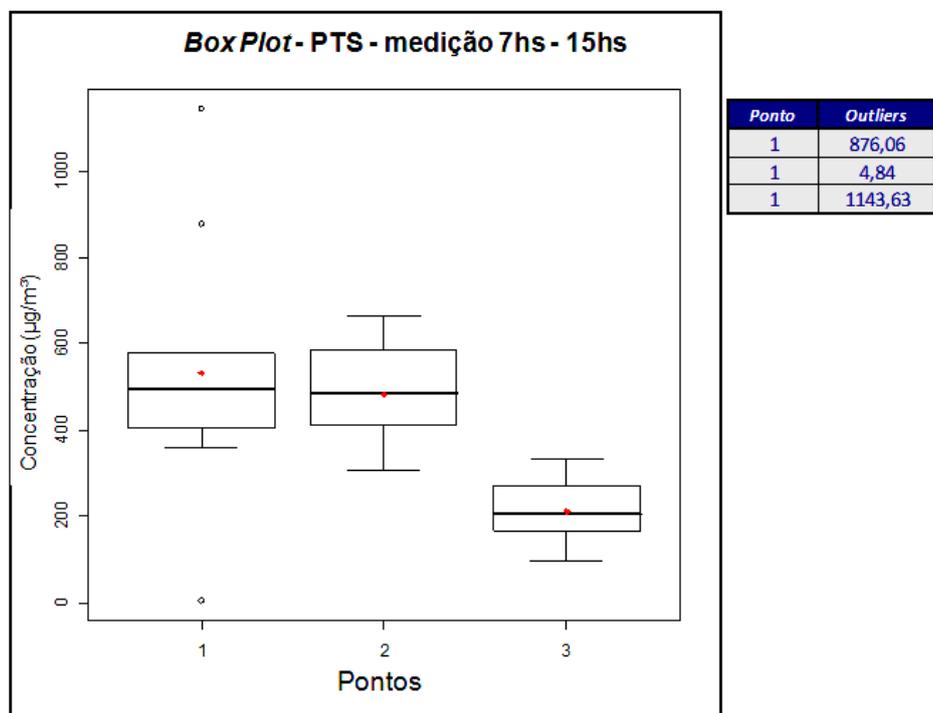
Em relação à gravimetria das amostras foi observado que para as PTS, os valores médios encontrados foram 462,25µg no Ponto 1, 1083,71µg no Ponto 2 e 473,89µg no Ponto 3. Para os MP₁₀, os valores foram 421,08µg no Ponto 1, 452,88µg no Ponto 2 e 197,11µg no Ponto 3. E, para os MP_{2,5}, foram 165,52µg no Ponto 1, 168,26µg no Ponto 2 e 100,14µg no Ponto 3.

A partir dos dados citados anteriormente, pode-se afirmar que as atividades do canteiro impactaram ambientalmente por maior emissão das PTS no período estudado, que por sua vez, possuem características aerodinâmicas que favorecem sua deposição na vizinhança imediata ao canteiro. Vale salientar que as PTS são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico apresenta até 100 µm, portanto o MP_{2,5} e o MP₁₀ são subcategorias das PTS que acabam sendo coletadas também no MiniVol com impactador ajustado para PTS.

Esse perfil encontrado no presente estudo corrobora com o estudo de Feliciano *et al.* (2004) realizado em Bragança/Portugal onde foi encontrado que as concentrações de PTS atingiram em várias ocasiões valores superiores a 300 µg/m³, as concentrações de MP₁₀ ultrapassaram em alguns casos a 50 µg/m³. Ainda segundo estudo de Feliciano *et al.* (2004) quando realizada a medição de MP_{2,5}, salvo uma ou outra exceção, os valores da concentração foram inferiores 20 µg/m³. Infelizmente, não é possível comparar os valores de concentração de massa do estudo em Bragança com os dados dos Pontos 1, 2 e 3, pelo fato da medição, no estudo de Bragança, ter sido realizado em 24 horas.

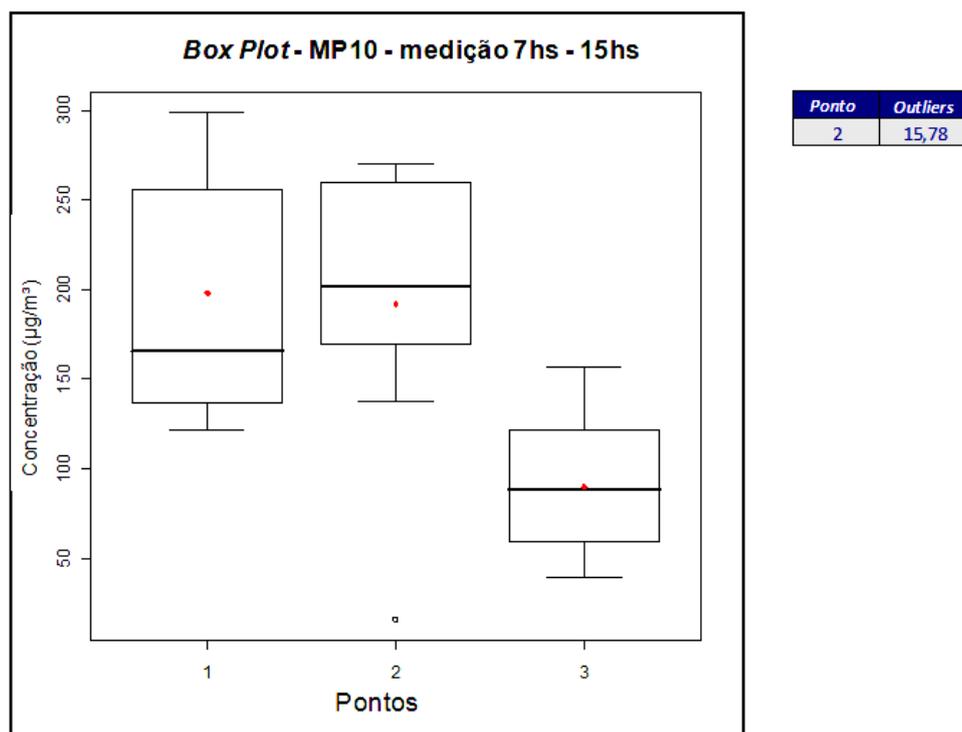
⁵ Ressuspensão é o processo pelo qual as partículas voltam a se dispersarem no ar após a sua deposição, seja pela ação dos ventos ou pela realização de alguma atividade.

Figura 40: Gráfico *box plot* comparando as concentrações de PTS em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos diferentes pontos de medição



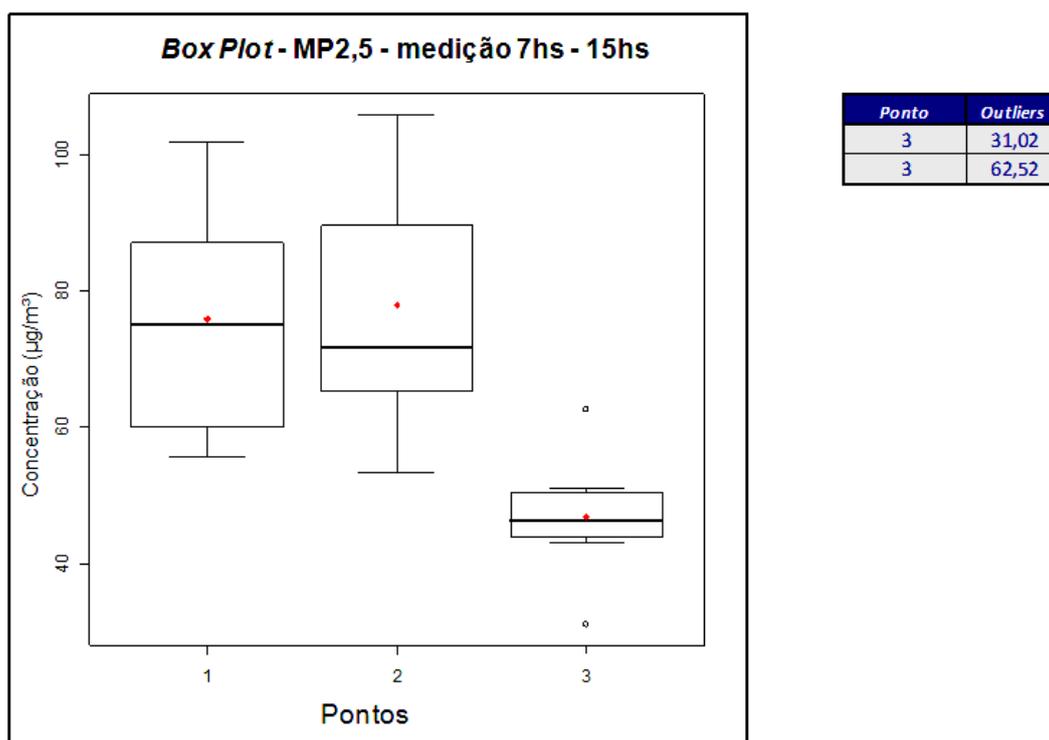
Fonte: o autor

Figura 41: Gráfico *box plot* comparando as concentrações de MP_{10} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos diferentes pontos de medição



Fonte: o autor

Figura 42: Gráfico *box plot* comparando as concentrações de $MP_{2,5}$ em $\mu g/m^3$ nos diferentes pontos de medição



Fonte: o autor

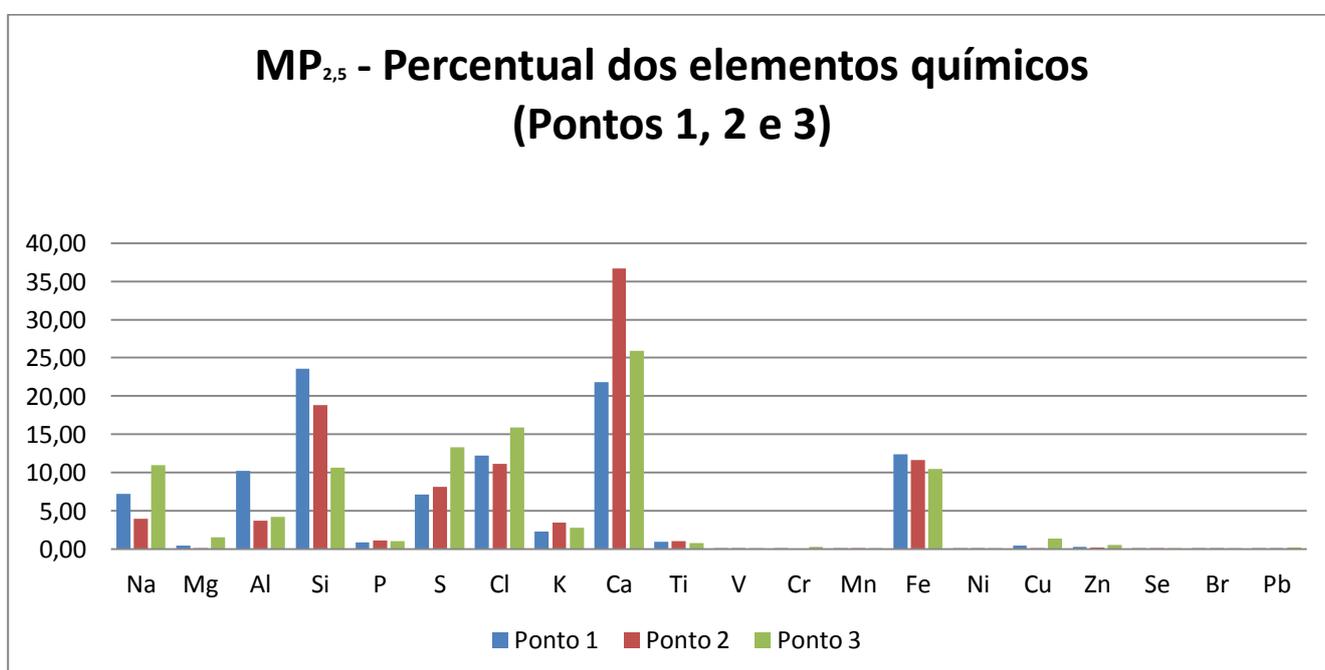
A partir das análises químicas foi observado um comportamento similar entre as fases que pode ser melhor visualizado nos gráficos das Figuras 43 e 44. Observa-se a presença dos mesmos elementos independente da fase de medição e a presença mais expressiva dos elementos Ca, Si, Cl, Al e Fe em proporções que seguem desempenhos similares.

Por vezes são apresentados alguns picos em relação a outras fases, como exemplo do Ca que para $MP_{2,5}$ apresentou concentração de 22% no Ponto 1, 37% no Ponto 2 e 26% no Ponto 3 e para MP_{10} apresentou concentração de 20% no Ponto 1, 31% no Ponto 2 e 26% no Ponto 3, mostrando uma maior percentagem no Ponto 2.

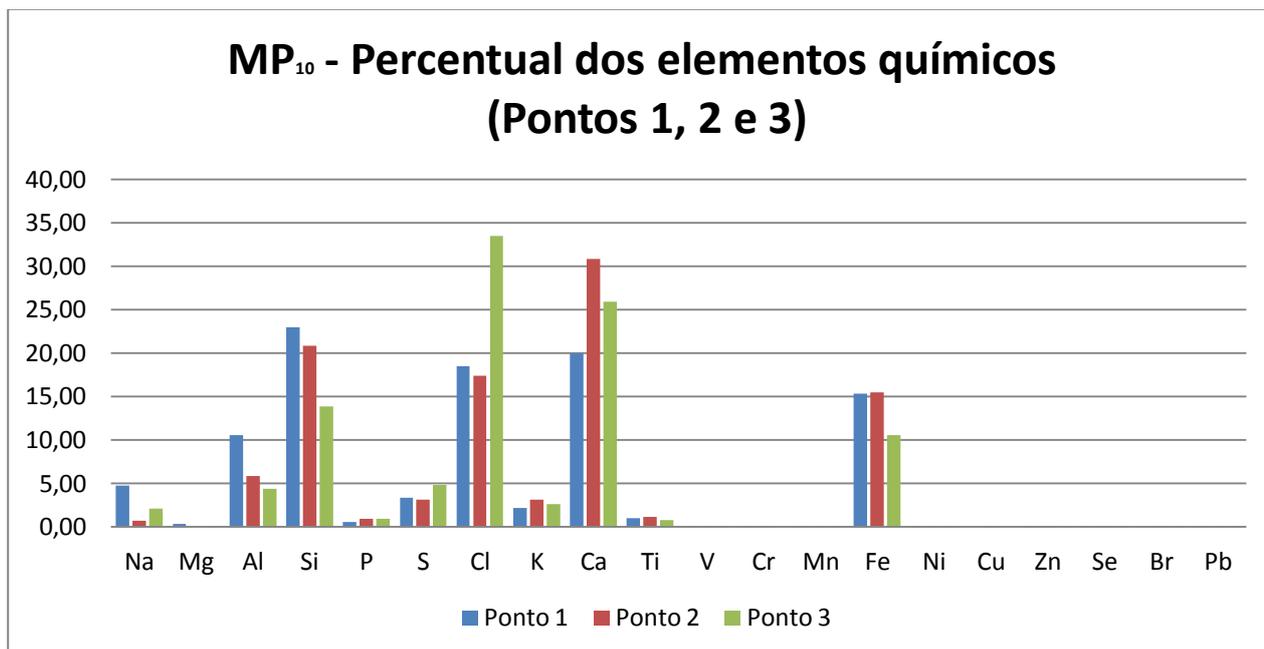
Por conseguinte, mesmo apresentando alguns picos foi observada a presença dos mesmos elementos com concentrações que seguem desempenhos similares e acabam mostrando que o comportamento desse canteiro de obras, frente à emissão de MP e sua dispersão na vizinhança, é independente às fases de medição já que há uma sobreposição das atividades e, conseqüentemente, uma mistura dos MP o que torna o canteiro o grande emissor que possui um conjunto de atividades emissoras coexistentes e não uma atividade em particular.

Portanto, observou-se uma tendência de que a avaliação de emissões em canteiros grandes e complexos tende a ser realmente realizada por avaliação de sobreposição de atividades, visando prever a quantidade total de emissão do canteiro de obras. Em contrapartida se o estudo estiver direcionado a canteiros menores, como por exemplo, canteiro com uma torre, poderá haver a possibilidade da medição de emissões em cada fase, e desta forma, podem ser encontrados valores de concentração específicos dependentes das atividades construtivas que estão sendo realizadas.

Figura 43: MP_{2,5} - Percentual dos elementos químicos (Pontos 1, 2 e 3)



Fonte: o autor

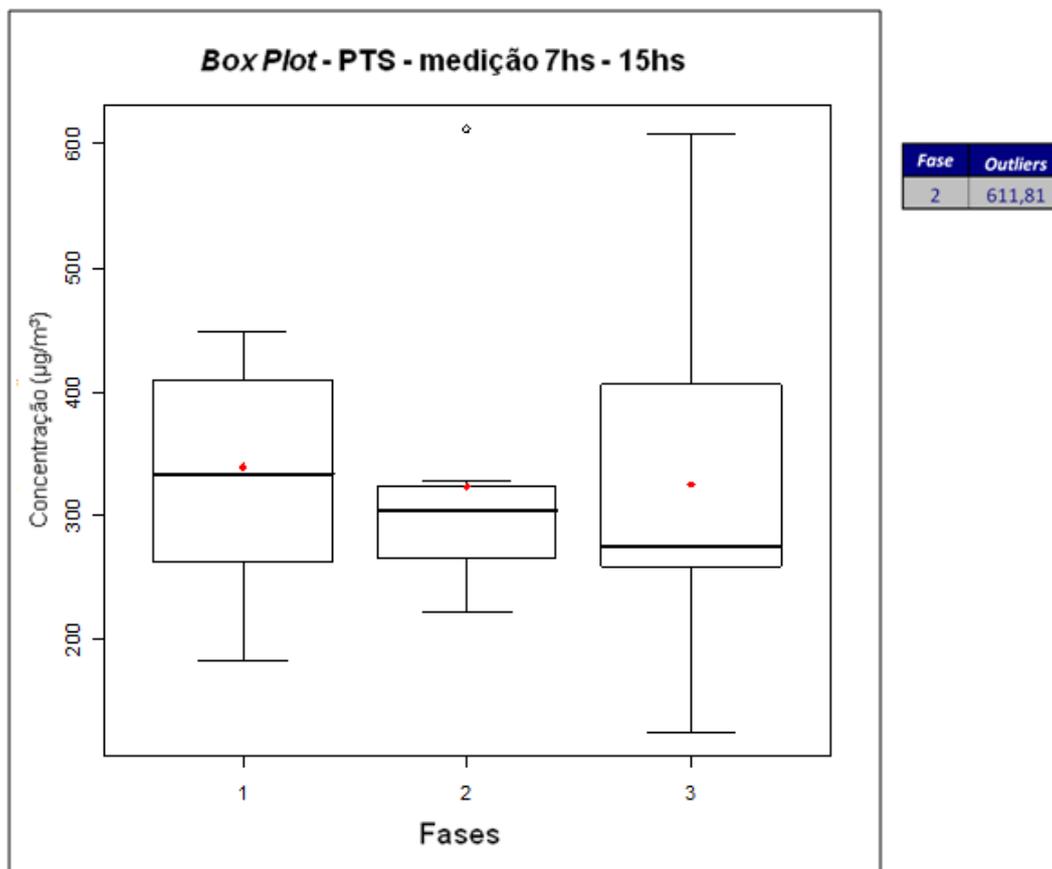
Figura 44: MP₁₀ - Percentual dos elementos químicos (Pontos 1, 2 e 3)

Fonte: o autor

5.3.2 Análise quantitativa e qualitativa do Ponto Fixo

Na análise do Ponto Fixo, os gráficos *box plot* das concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5}, apresentam os conjuntos de dados separados pelas fases e suas respectivas concentrações *outliers* (Figuras 45, 46 e 47). Foi observada uma similaridade na variabilidade das frações de MP independente da sua fase de medição, já que neste trabalho as fases foram identificadas como coexistentes. O resultado do PTS apresentou uma concentração média mais elevada com relação à média obtida pelo MP₁₀ e MP_{2,5} (Tabelas 16, 17 e 18).

Figura 45: Gráfico *box plot* comparando no Ponto Fixo as concentrações de PTS em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas diferentes fases de medição



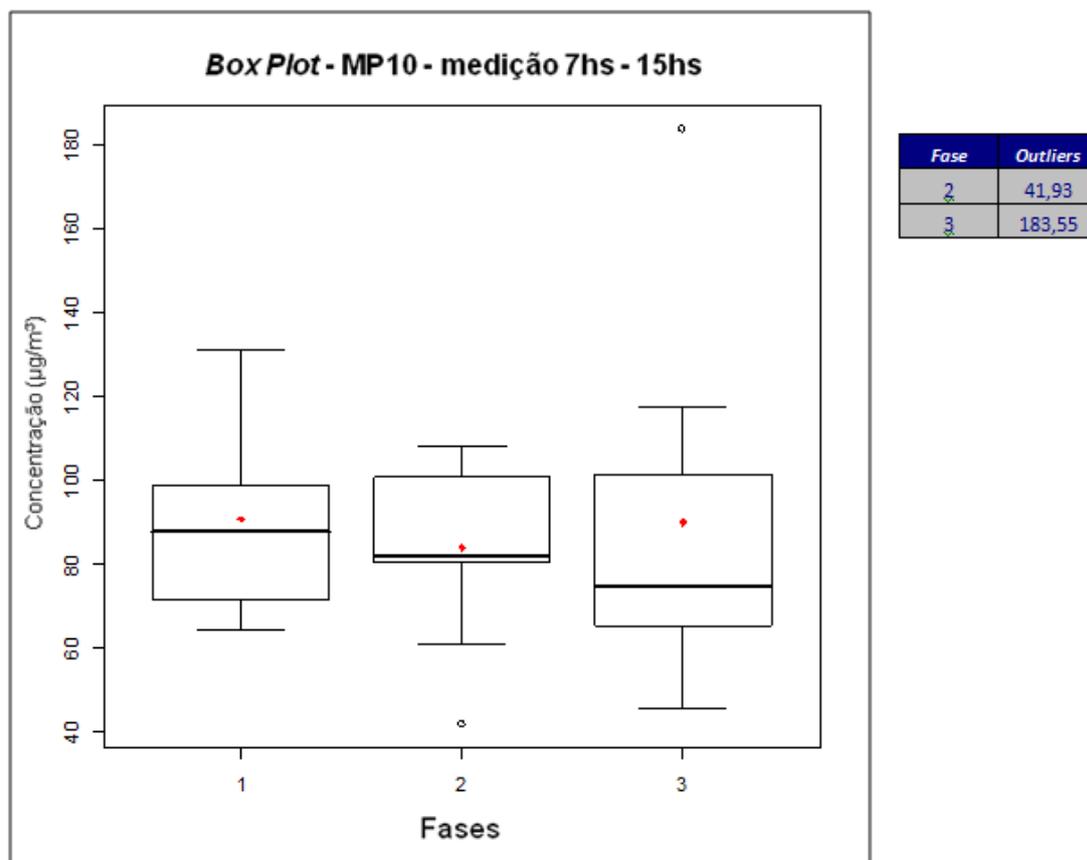
Fonte: o autor

Tabela 16: PTS - Concentração e gravimetria médias nas diferentes fases de medição

Partículas Totais em Suspensão - PTS			
Estatística Descritiva	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Concentração Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	339,01	287,47	325,09
Gravimetria Média (μg)	775,41	621,75	700,44

Fonte: o autor

Figura 46: Gráfico *box plot* comparando no Ponto Fixo as concentrações de MP₁₀ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas diferentes fases de medição



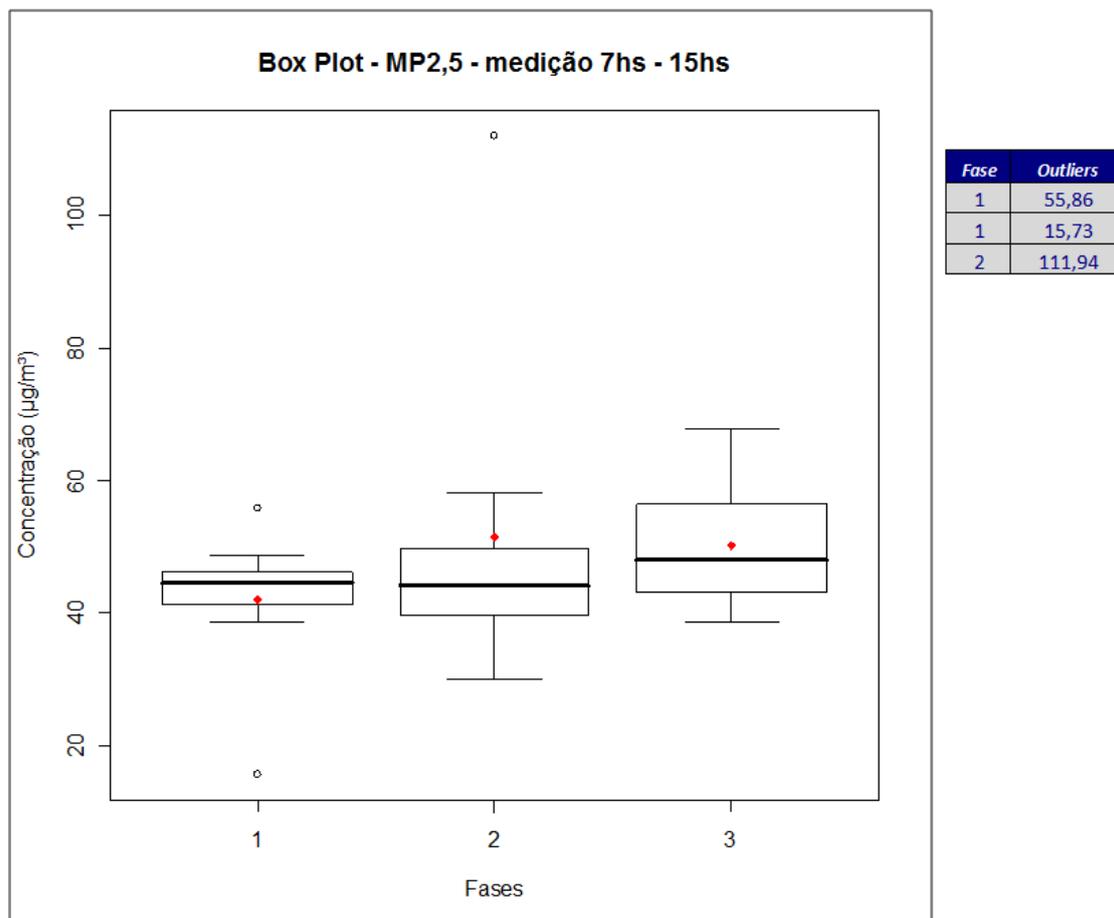
Fonte: o autor

Tabela 17: MP₁₀ - Concentração e gravimetria médias nas diferentes fases de medição

Material Particulado 10μm – MP₁₀ (8 horas)			
Estatística Descritiva	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Concentração Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	90,71	89,31	78,30
Gravimetria Média (μg)	208,75	194,63	200,63

Fonte: o autor

Figura 47: Gráfico *box plot* comparando no Ponto Fixo as concentrações de MP_{2,5} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas diferentes fases de medição



Fonte: o autor

Tabela 18: MP_{2,5} - Concentração e gravimetria médias nas diferentes fases de medição

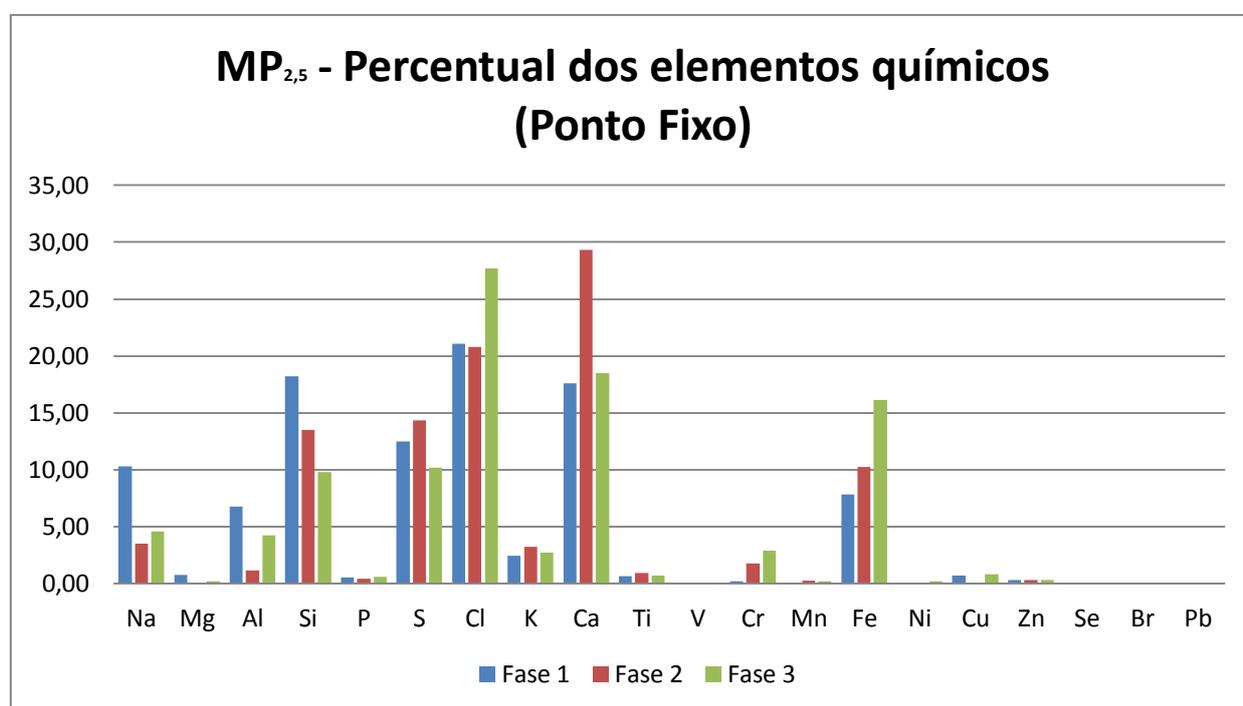
Material Particulado 2,5μm – MP_{2,5}			
Estatística Descritiva	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Concentração Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43,87	43,93	50,24
Gravimetria Média (μg)	100,00	97,50	112,00

Fonte: o autor

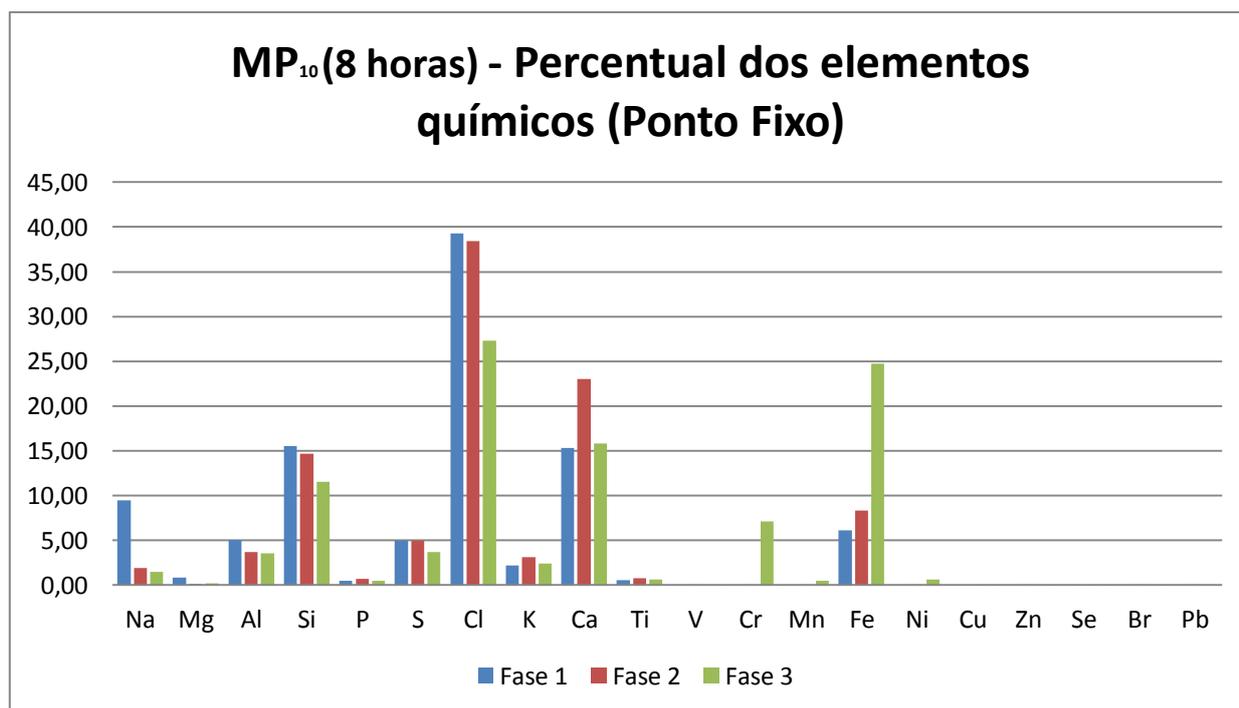
Os dados químicos do MP_{2,5} e do MP₁₀ do Ponto Fixo não foram diferentes dos Pontos 1, 2 e 3 em que foi observada a presença dos mesmos elementos independente da fase de medição e a presença mais expressiva dos elementos Ca, Si, Cl, Al e Fe (Figura 48 e Figura 49). Em contrapartida, as atividades que podem ser relacionadas a esses elementos são as que estavam presentes na entrada principal da obra (movimentação de veículos) e áreas circundantes (atividades do canteiro de modo geral), visto que esse ponto não foi instalado em área central e/ou próximo de atividades construtivas no canteiro. Além disso, essas partículas podem ter sido provenientes das atividades da vizinhança.

A concentração dos demais elementos apresentaram valores muito pequenos tanto para MP_{2,5} quanto para MP₁₀. As Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice 5 apresentam os dados da concentração para todos os elementos químicos encontrados.

Figura 48: MP_{2,5} - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)



Fonte: o autor

Figura 49: MP₁₀ (8 horas) - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)

Fonte: o autor

5.3.3 Análise quantitativa e qualitativa Ponto fixo MP₁₀ (8 horas) x MP₁₀ (22horas)

Os gráficos *box plot* das concentrações de MP₁₀ (8 horas) e MP₁₀ (22 horas) apresentam os conjuntos de dados separados, durante o período de funcionamento do canteiro (7 horas – 15 horas) – medições no período de 8 horas e adicionado o período da noite (17 horas – 15 horas) – medições no período de 22 horas e suas respectivas concentrações *outliers*, conforme Figura 46 do item 5.3.2 deste Capítulo e Figura 50.

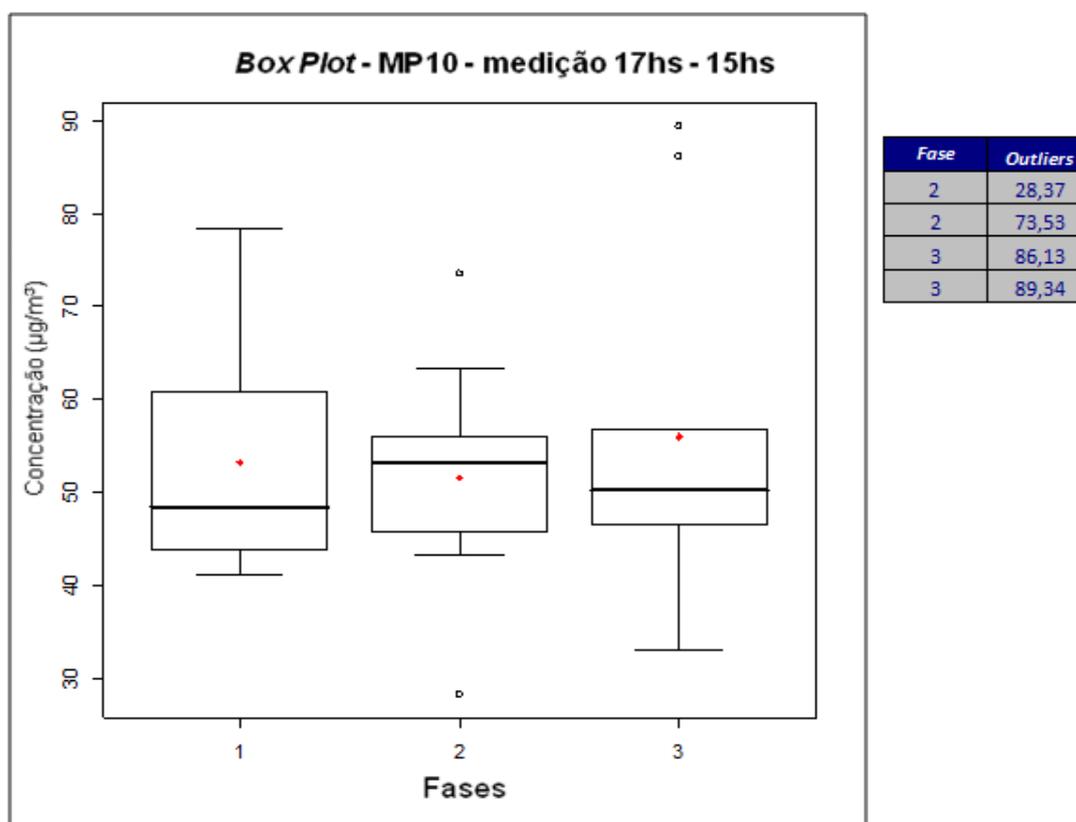
As gravimetrias médias encontradas para MP₁₀ (8 horas) foram 208,75µg, 194,63µg e 200,63µg, para as Fases 1, 2 e 3, respectivamente. Já, as gravimetrias médias encontradas para MP₁₀ (22 horas) foram 325,36µg, 316,38µg e 283,29µg, para as Fases 1, 2 e 3, respectivamente (Tabelas 17 do item 5.3.2 deste Capítulo e Tabela 19).

Por conseguinte, foi observado um aumento na gravimetria do MP₁₀ (22 horas) independente do canteiro não estar em funcionamento, que acaba por reforçar a hipótese de que isto pode estar relacionado às partículas em ressuspensão no canteiro, e também,

a coleta do aerossol marinho, visto que o canteiro estudado está localizado próximo à orla da cidade.

Analisando-se as concentrações do MP_{10} (22 horas), os valores estiveram sempre abaixo das concentrações dos padrões de alerta primários ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$) e secundários ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$) da norma brasileira – CONAMA 03/90, apresentados no item 2.2.7 do Capítulo 2, sendo que o maior registrado foi de $78,32\mu\text{g}/\text{m}^3$ na medição dos dias 18 e 19/11/2013 da Fase 1. Porém, vale ressaltar, que os dados desta pesquisa por vezes ultrapassaram aos dados mais rigorosos da WHO, em relação à Meta Interina (IT-3) para 24horas onde a partir da concentração $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ há um aumento da mortalidade a curto prazo. No entanto, faz-se necessário atentar que esses valores representam padrões gerais que estão relacionados à poluição ambiental e à saúde humana; portanto, não são padrões específicos de qualidade do ar em canteiros de obras.

Figura 50: Gráfico *box plot* comparando no Ponto Fixo as concentrações de MP_{10} (22 horas) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas diferentes fases de medição



Fonte: o autor

Tabela 19: Estatística descritiva no Ponto Fixo das concentrações de MP₁₀ (22 horas) em µg/m³ e a gravimetria média em µg nas diferentes fases de medição

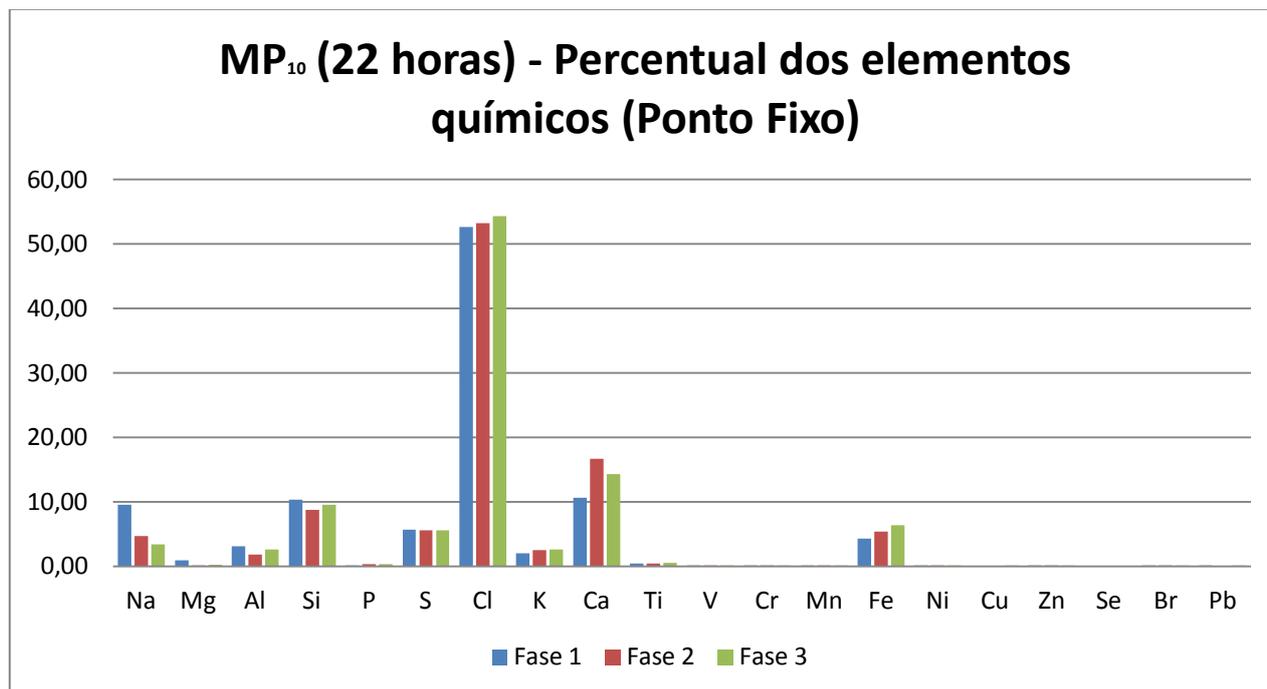
CONCENTRAÇÃO (µg/m³)			
Estatística Descritiva	Fase 01	Fase 02	Fase 03
Média	53,26	51,77	46,96
Máxima	78,32	63,22	56,86
Mínima	41,16	43,26	33,22
Mediana	48,52	53,24	48,33
Desvio Padrão	13,38	7,08	8,88
Coeficiente de Variação	25%	13%	19%
GRAVIMETRIA (µg)			
Estatística Descritiva	Fase 01	Fase 02	Fase 03
Média	325,36	316,38	283,29

Fonte: o autor

O perfil da concentração de MP₁₀ (22 horas) encontrado no presente estudo corrobora com o estudo de Feliciano *et al.* (2004) realizado em Bragança/Portugal onde foi encontrado para as concentrações de MP₁₀ valores que ficaram próximos a 50µg/m³, enquanto que no presente estudo, as concentrações médias foram 53,26µg/m³, 51,77µg/m³ e 46,96µg/m³, para as Fases 1, 2 e 3, respectivamente. Como o estudo de Feliciano *et al.* (2004) foi realizado em 24 horas é possível comparar os dados de MP₁₀ (22 horas) que, como observado, seguiram a mesma tendência de valores.

Ao comparar os dados químicos de MP₁₀ (8 horas) da Figura 49 com o MP₁₀ (22 horas) da Figura 51 do Ponto Fixo foi observada a presença dos mesmos elementos independente da fase de medição e a presença mais expressiva dos elementos Cl, Ca, Si, Al, Fe e Na. Foi observado que previsivelmente houve um enriquecimento dos elementos Cl e Na no período noturno (medição MP₁₀ - 22 horas), que pode ser diretamente associado ao aerossol marinho.

A concentração dos demais elementos apresentaram valores muito pequenos tanto para MP₁₀ (8 horas) quanto para MP₁₀ (22 horas). As Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice 5 apresentam os dados da concentração para todos os elementos químicos encontrados.

Figura 51: MP₁₀ (22 horas) - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)

Fonte: o autor

5.3.4 Análise qualitativa dos *sticky pads*

A aplicação dos *sticky pads* não é regulamentada por norma ou lei. Entretanto, a grande vantagem do método é que fornece a taxa de sedimentação de imediato, sem a necessidade de serviços laboratoriais.

No canteiro piloto foram estudados 05 pontos em relação as três fases, com raios equidistantes do canteiro na grandeza de 5 – 10 – 20 – 50 – 100 metros, de modo a facilmente identificar o que estava ocorrendo na vizinhança em relação a emissão de partículas (Figura 52).

Figura 52: Pontos *Sticky pads*



Fonte: o autor

Observa-se a partir da Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22 que segundo a coleta da taxa de sedimentação dos *sticky pads*, a vizinhança estava suscetível à emissão do canteiro e/ou das atividades da própria vizinhança em seu pior grau, visto que os resultados apresentaram “sérios incômodos” em todas as coletas, com exceção apenas da medição do *sticky pad* da Fase 3, de 50 metros, que apresentou “provável reclamação”.

Tabela 20: Resultado dos *sticky pads* da Fase 1

<i>Sticky Pads – Fase 1</i>						
Nº	Leitura da área de referência	Leitura da amostra	Diferença	EAC%/dia	Metros	Resultado
1	87	67	20	6,6667	5	Sérios incômodos
2	87	69	18	6,0000	10	Sérios incômodos
3	90	74	16	5,3333	20	Sérios incômodos
4	91	75	16	5,3333	50	Sérios incômodos
5	93	79	14	4,6667	100	Sérios incômodos

* Foram avaliadas 72 horas – 3 dias.

Fonte: o autor

Tabela 21: Resultado dos *sticky pads* da Fase 2

Sticky Pads – Fase 2						
Nº	Leitura da área de referência	Leitura da amostra	Diferença	EAC%/dia	Metros	Resultado
1	92	75	17	5,677	5	Sérios incômodos
2	96	76	20	6,667	10	Sérios incômodos
3	92	76	16	5,333	20	Sérios incômodos
4	87	74	13	4,333	50	Sérios incômodos
5	93	80	13	4,333	100	Sérios incômodos

* Foram avaliadas 72 horas – 3 dias.

Fonte: o autor

Tabela 22: Resultado dos *sticky pads* da Fase 3

Sticky Pads – Fase 3						
Nº	Leitura da área de referência	Leitura da amostra	Diferença	EAC%/dia	Metros	Resultado
1	84	72	12	4,0	5	Sérios incômodos
2	89	59	30	10,0	10	Sérios incômodos
3	90	80	10	3,3333	20	Sérios incômodos
4	91	85	6	2,0	50	Provável reclamação
5	92	80	12	4,0	100	Sérios incômodos

* Foram avaliadas 72 horas – 3 dias.

Fonte: o autor

5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da análise dos dados coletados em campo nas três fases utilizando a metodologia proposta no Capítulo 4, foi observada a necessidade de ajustes nos procedimentos metodológicos adotados de modo a obter dados adequados e compatíveis a estudos

destinados à construção civil. Desta forma, antes de apresentar a proposta final de metodologia para medição de emissão de MP em canteiros de obras, faz-se necessário descrever algumas considerações, que, por sua vez, impactaram no presente estudo.

A partir da análise e discussão dos dados com especialistas⁶ em qualidade do ar de agências ambientais e universidades, e a partir da experiência destes profissionais na avaliação da qualidade do ar em outras situações, tais como emissões de veículos, emissões de indústrias, ressuspensões, saúde pública, entre outros, foi levantado um panorama geral do volume de dados alcançado nesta pesquisa e avaliado quão compatível estes dados estavam relacionado à realidade da obra.

A priori, foi discutido sobre as vantagens e desvantagens da escolha de um canteiro grande e complexo devido ao fato do mesmo ter apresentado diversas fases e atividades construtivas simultâneas ao longo de todo período de medição. É preciso destacar que o canteiro piloto foi escolhido em primeira instância por estar concernente aos critérios adotados no protocolo de monitoramento (Apêndice 1) e, também, pelo fato de possuir todas as fases objetivadas nesse estudo. Entretanto, observou-se que ao invés de propiciar um estudo mais direto, acabou dificultando a análise dos dados, visto que não foi possível identificar as atividades emissoras específicas por fase de construção no canteiro de obra estudado.

É preciso enfatizar ainda que pelo fato da presente pesquisa fazer parte do projeto CANTECHIS, que propõe a utilização de uma controladora na medição de MP em canteiros, foi cogitada a utilização da mesma neste trabalho, que teria, por sua vez, a função de acionar os MiniVols apenas na direção do vento predominante. Entretanto, devido a dificuldades técnicas de comunicação entre controladora e Mini Vols, como já mencionado, o seu uso não foi possível. Pode-se supor que com a utilização da controladora haveria a possibilidade de estudar fases específicas mesmo em canteiros grandes, pelo fato do equipamento MiniVol ser ligado somente quando o vento predominante cruzasse as atividades de determinada fase dentro do canteiro. Esta proposição poderá ser testada em outros estudos.

Foi constatado que tanto os resultados quanto a metodologia proposta neste trabalho apresentaram limitações, devido ao fato da metodologia ter sido aplicada apenas em um canteiro e o mesmo com alto grau de complexidade, como já discutido anteriormente. Por

⁶ Rosana Astolfo, especialista em laboratório e mestre geociências do LAPAT/IAG/USP; Jesuino Romano, gerente da Divisão de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB.

este motivo, destaca-se a dificuldade encontrada de correlacionar os dados obtidos com fases específicas de construção, bem como um melhor entendimento de quão mais poluidor o canteiro se apresentava em relação à poluição da cidade.

Este melhor entendimento se daria por meio das análises física e química dos filtros, porém mesmo por meio de análises como regressão linear, estudo de vetores e estatística mais avançada, os dados encontrados não apresentaram comportamentos diferenciados significativos, por isso a dificuldade em realizar análises mais aprofundadas com os dados alcançados.

Outro aspecto observado neste trabalho foi o pouco acréscimo de informações na correlação direta entre os estudos provenientes da construção civil e os padrões nacionais e internacionais de poluição do ar (vistos no Capítulo 2). Entretanto, é válido fazer esse estudo no período noturno para entender o comportamento do canteiro quando o mesmo não está funcionando, para que *a posteriori*, após estudos por parte das construtoras e academia haja a possibilidade de descarte da medição noturna ou não.

Por conseguinte, é necessário que os agentes da construção civil e a academia se interessem e realizem estudos para que haja trabalhos que forneçam dados sobre a quantificação dessas emissões de MP no âmbito da construção civil, para que esses estudos sejam bases para formulação de parâmetros específicos para controle da emissão de MP na construção civil.

Em relação à análise química, dentre as técnicas analíticas disponíveis para a realização da caracterização das amostras de MP, a técnica de Fluorescência de Raio-X (XRF) foi aquela utilizada neste trabalho. Porém, existem outras técnicas que podem ser estudadas e avaliadas para serem aplicadas neste tipo de estudo, como é o caso da Difração de Raio-X, que diferentemente da Fluorescência de Raio-X fornece compostos químicos, enquanto que a segunda fornece elementos químicos, como visto ao longo do trabalho. Deste modo, como o perfil químico do MP coletado foi similar entre si, uma vez que apresentaram praticamente os mesmos elementos químicos, não foi possível especificar o percentual de contribuição de cada fase da construção, já com os compostos químicos a correlação acontece de forma mais direta. Nesta pesquisa não foi possível realizar a Difração de Raio-X devido ao fato do filtro utilizado na amostragem não permitir a coleta da quantidade de material suficiente para esta análise.

No Brasil, não há dados que representem as emissões das atividades específicas da construção civil, mas existem diversos trabalhos de saúde ocupacional de trabalhadores que enfocam na exposição à poeira respirável e doenças ocupacionais nos trabalhadores da construção, destacam-se os trabalhos em Minas Gerais de Carneiro *et al.* (2002), em Curitiba de Rodrigues *et al.* (2005) e em Recife de Martins (2009). Como esse tipo de coleta é realizado individualmente por meio da seleção de trabalhadores e estudo das atividades realizadas pelos mesmos é conseguido caracterizar o MP e suas propriedades químicas correlacionando-os diretamente às atividades emissoras específicas. Diferentemente do presente trabalho que faz medição das emissões de MP na atmosfera e, portanto, de acordo com os resultados discutidos nos itens anteriores deste Capítulo é mais difícil fazer correlação direta devido as variáveis encontradas.

Por outro lado, existem estudos brasileiros voltados à poluição ambiental das cidades, que apresentam a caracterização do MP coletado, dentre os quais destacam-se estudos na cidade de São Paulo por Castanho (1999), na cidade de Piracicaba por Lopes (2003), na cidade de Ouro Preto por Magalhães (2005), na cidade de Cuiabá por Rebelatto (2005), na cidade de Vitória por Maioli (2011), na cidade de São José dos Campos por Ferreira, Forte e Alvalá (2011) e na cidade de Cubatão por Valarini (2011). Estes trabalhos apresentam a caracterização do MP e, de modo similar ao presente trabalho, fazem ajustes nas caracterizações das fontes avaliadas devido à similaridade dos seus perfis químicos e, também, pelo fato de não conseguirem diferenciar a influência de algumas fontes separadamente, principalmente as fontes de solos, pedreiras, construções e ressuspensões.

Após a realização da medição da emissão de MP e identificação dos serviços de construção com maior potencial de poluição, a empresa construtora pode intervir por meio de atividades mitigadoras como ferramentas para controle e redução de particulados. As Figuras 53, 54 e 55 apresentam algumas das atividades mitigadoras mais simples de serem aplicadas em canteiros de obra.

Figura 53: Atividades mitigadoras - Demolição e Movimentação de Terra



(a) Obra protegida com tela e andaimes fachadeiros.



(b) Aspersão de água durante a demolição.



(a) molhação na terraplanagem



(b) molhação das vias

Fonte: IMAGENS GOOGLE (2014)

Figura 54: Atividades Mitigadoras - Serviços de construção



(a) molhação na terraplanagem



(b) Perfuratriz acoplada a sistema de coleta

Fonte: IMAGENS GOOGLE (2014)

Figura 55: Atividades Mitigadoras - Transporte

(a) Lavagem dos pneus de caminhões



(b) Caminhão com caçamba coberta



(c) Caminhão com contêiner coberto



(d) Caminhão com caçamba coberta

Fonte: IMAGENS GOOGLE (2014)

Quanto à amostragem da poeira sedimentável realizada neste trabalho por meio dos adesivos brancos (*sticky pads*), a mesma apresentou dados insuficientes para a proposta deste trabalho de identificar o incômodo na vizinhança por partículas provenientes do canteiro de obras, pois foram adesivos onde o MP aderiu independente da sua procedência, seja do canteiro ou da vizinhança, por isso não foi possível correlacioná-lo as atividades do canteiro de obra.

Por outro lado, estes adesivos se apresentaram como um método mais econômico e passível de ser aplicado de forma autônoma pelos gestores das construtoras a fim de obter dados diários acerca da emissão de MP no interior dos canteiros, e, conseqüentemente, havendo possibilidade de prontamente intervir nos setores mais impactantes do canteiro.

Com relação ao protocolo de monitoramento (Apêndice 1), o objetivo foi alcançado com a padronização e sistematização dos procedimentos durante a fase de preparação em laboratório, de seleção e escolha dos canteiros, de transporte e análise das amostras, e de desmobilização da estrutura necessária à pesquisa de campo, favorecendo a comparação dos dados.

Além disso, é de suma importância a utilização da planilha MiniVols (Apêndice 2) e da planilha *Sticky pads* (Apêndice 3), bem como o preenchimento em campo do *Check list* das atividades diárias do campo (Apêndice 4) de modo a facilitar, *a posteriori*, a análise dos dados e a identificação dos problemas encontrados diariamente em campo.

Alguns problemas de amostragens, de uma forma geral, foram encontrados ao longo deste trabalho, porém para estabelecer a eficiência dos procedimentos adotados e subsidiar novas medições, por meio de parâmetros estabelecidos, foi necessário encontrá-los para que se conseguisse propor uma metodologia para medição de MP em canteiros de obras. Com o cumprimento dessa etapa de reconhecimento, avaliação, implementação dos procedimentos de medição, segue no próximo item a metodologia estruturada e ajustada à realidade da construção civil.

O item a seguir detalha a metodologia de acordo com o estudo realizado para sua estruturação final.

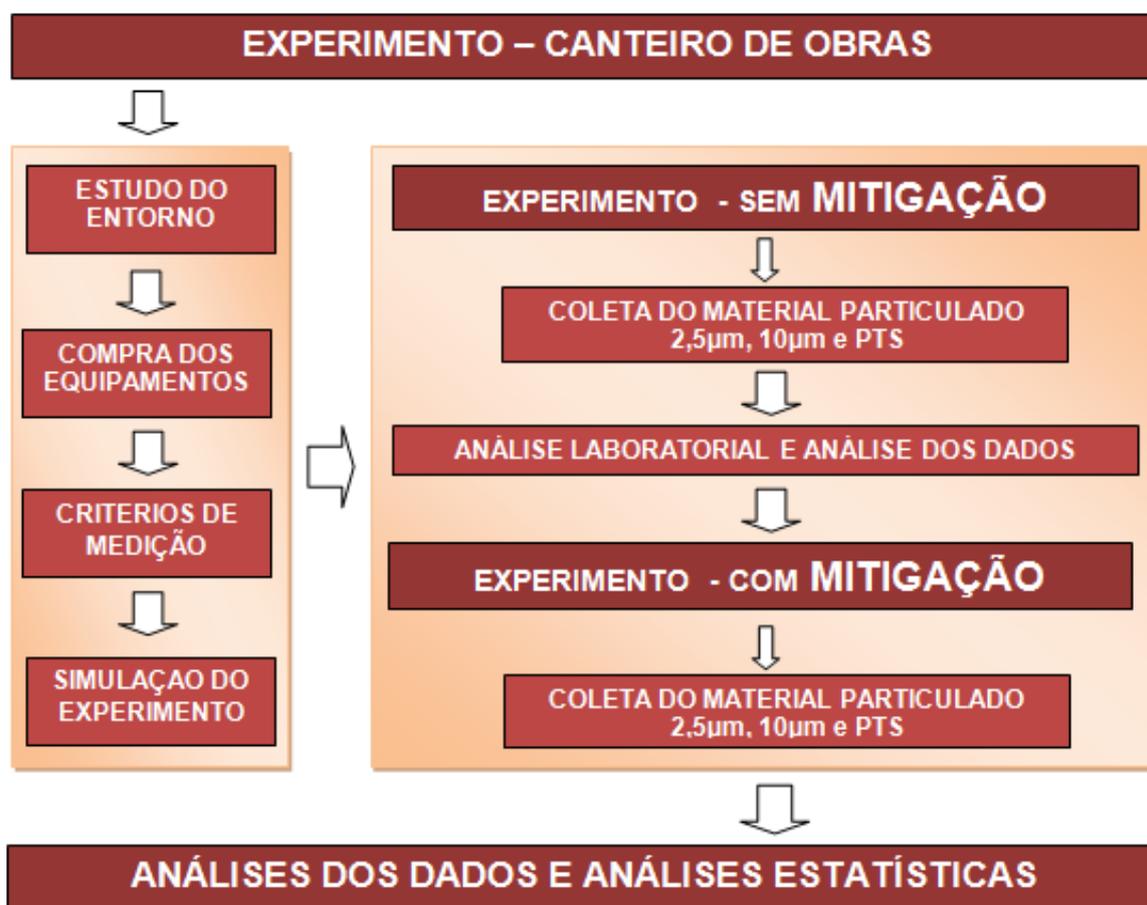
6 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DE EMISSÃO DE MP EM CANTEIROS DE OBRAS

As recomendações e acréscimos metodológicos sugeridos neste capítulo resultaram de adaptações da metodologia proposta no Capítulo 4. As adaptações efetuadas visaram ajustar a metodologia de modo a obter dados adequados à realidade dos canteiros de obra. Estas adaptações foram baseadas nos dados obtidos que serviram para aprimorar a metodologia tornando-a, além de eficaz, eficiente.

6.1 ESTRUTURA DO EXPERIMENTO

Sugere-se que seja seguido um experimento com no mínimo sete etapas: estudo do entorno, compra de equipamentos, critérios de medição, simulação do experimento, medição do experimento sem mitigação e com mitigação, e análises laboratoriais, conforme Figura 56.

Figura 56: Delineamento do experimento



A coleta do MP deve ser realizada por 8 horas diárias (representando o funcionamento do canteiro) e caso haja interesse da pesquisa em 24 horas (representando o período de não funcionamento do canteiro) no mínimo por 10 dias em três fases da obra selecionada:

- Fase 1 – Serviços preliminares, movimento de terra e fundações;
- Fase 2 – Execução de obra bruta;
- Fase 3 – Execução de acabamentos.

Para os Minivols, o critério de medição deve ser por meio da instalação de pontos fixos no interior do canteiro. As posições de amostragem devem ser locadas de modo a permitir a coleta do MP a partir de um número mínimo de locações de equipamentos.

Uma alternativa mais econômica e passível de ser aplicada de forma autônoma pelos gestores das construtoras é a utilização do adesivo *sticky pad* ao invés de MiniVols ou em complemento aos MiniVols, pois o primeiro, é um método que coleta as partículas que vão sendo depositadas, com este método é possível obter dados diários acerca da emissão no interior dos canteiros, e, conseqüentemente, de forma imediata intervir nas atividades mais impactantes.

Para os sticky pads, o critério de medição pode ser instalar os adesivos próximos às atividades que são grandes fontes individuais de geração de material particulado e também pode ser realizado por avaliação de sobreposição de atividades num dado período visando prever a quantidade total de emissão, ou ainda, a posição dos adesivos pode ser instalada a depender do objetivo que se pretende alcançar em cada caso particular.

Vale salientar, que os dados obtidos por meio da utilização dos *sticky pads* não fornecerão detalhes no mesmo grau dos equipamentos MiniVols.

Sugere-se, ainda, a instalação de *sticky pads* na área que circunda o canteiro para que haja possibilidade de mensurar a taxa de poeira real que é encaminhada para a vizinhança da obra.

6.1.2 Simulação do experimento

Sugere-se que antes de iniciar a medição seja realizada uma simulação com a aplicação da metodologia de modo a realizar um treinamento dos pesquisadores em relação às operações diárias, conforme itens listados no protocolo de monitoramento (Apêndice 1).

6.1.3 Experimento sem mitigação

Nesta etapa, sugere-se a investigação das atividades sem intervenção de alternativas mitigadoras para a emissão MP que levantarão dados reais dessas concentrações, para que possibilite a posterior intervenção nas atividades mais impactantes.

6.1.4 Experimento com mitigação

Nesta etapa, sugere-se a intervenção de alternativas mitigadoras nas atividades mais impactantes do canteiro que levantarão dados reais da mitigação, para que haja uma posterior comparação dos dados entre a medição de certa atividade sem mitigação e com mitigação.

6.1.5 Análises dos dados

Mesmo que o perfil químico dos dados obtidos nesta pesquisa tenha apresentado uma similaridade, uma vez que apresentaram percentuais análogos para os elementos químicos, propõe-se realizar a análise química em todos os filtros coletados para obter todos os detalhes de cada pesquisa.

A análise física deve ser realizada tanto para o MP_{2,5} (8 horas), MP₁₀ (8 horas), PTS (8 horas) e MP₁₀ (24 horas).

O Quadro 8 apresenta o resumo de análises físicas e químicas que devem ser realizadas a partir da metodologia proposta.

Quadro 8: Resumo das análises físicas e químicas que devem ser realizadas a partir da metodologia proposta

Análise dos dados		Fase 1 (Serviços preliminares, movimento de terra e fundações)	Fase 2 (Execução de obra bruta)	Fase 3 (Execução de acabamentos)
Análise física	Concentração	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 24hs
	Gravimetria	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs PTS 8hs MP ₁₀ 24hs
Análise química ⁷	-	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 24hs
	-	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 24hs	MP _{2,5} 8hs MP ₁₀ 8hs MP ₁₀ 24hs
Taxa de sedimentação	<i>Sticky pads</i>	Leitura	Leitura	Leitura

Fonte: o autor

⁷ A análise química a ser realizada fica a critério de cada pesquisador.

7 CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÕES FINAIS

Este trabalho propôs uma metodologia com limitações, mas passível de ser replicável, para avaliar a emissão de MP em diferentes fases construtivas de canteiros de obras e que pode ser aplicada para grande variedade de canteiros da construção civil. Esta metodologia possibilita não só quantificar e caracterizar o MP, mas também possibilita a intervenção de atividades mitigadoras imediatas ou quase imediatas para redução da poluição por emissão de MP a depender da escolha do equipamento de medição (MiniVols e/ou *Sticky pads*).

Sob o aspecto da bibliografia acerca da medição de emissão de MP em canteiros de obras, nacionalmente e internacionalmente, o assunto ainda é pouco explorado no que diz respeito à construção civil. Portanto, há uma grande lacuna no estudo de MP em canteiros de obras. Além disso, existe a necessidade de parâmetros sobre a quantificação dessas emissões de MP no âmbito da construção civil, como existem no caso dos resíduos de construção, por exemplo. É necessário conhecer a relação entre o tipo, o tamanho e o teor dessas partículas nas fases da obra, bem como a intensidade do incômodo provocado na vizinhança e nos trabalhadores.

A emissão de MP a partir dos canteiros de obras é um dos diversos efeitos nocivos que as construtoras causam à população em escala local, meso e global. Para as empresas construtoras controlarem as emissões de MP em seus canteiros deverão proporcionar a capacitação dos seus gestores ambientais, visto que a emissão de MP e o seu monitoramento possui muitas especificidades, que precisarão ser estudadas em particular.

Entretanto, o trabalho demonstrou que, apesar de algumas barreiras, o controle de níveis de emissão de MP nos canteiros de obras é viável de ser aplicado por empresas construtoras, mas que se trata de uma tarefa bastante complexa, pois vários aspectos devem ser considerados, tais como: o tamanho da obra, o número de atividades desenvolvidas no canteiro, a duração da obra, entre outros.

Os resultados, deste trabalho, apresentaram claramente que as atividades do canteiro de obras monitorado lançaram no ambiente partículas de vários tamanhos, sendo em maior instância PTS, seguida de MP₁₀ e por fim MP_{2,5}. É preciso destacar que mesmo a PTS

apresentando maior concentração, foram encontrados altos valores para as MP_{10} e $MP_{2,5}$. Além disso, foi demonstrado que na medição da emissão de MP, é imprescindível o monitoramento dos parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade, precipitação, direção e velocidade do vento, entre outras) para compreensão do comportamento dos poluentes atmosféricos, pois a qualidade do ar não depende só da quantidade de partículas lançadas pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrá-los ou dispersá-los.

Neste sentido, conclui-se que as atividades dos canteiros de obras exigem compromisso por parte das empresas construtoras para garantir o controle de suas emissões de MP, de modo a identificar os riscos envolvidos, as atividades emissoras e as ferramentas de prevenção, controle e monitoramento, bem como há necessidade de monitoramento contínuo.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A metodologia e resultados obtidos nesse trabalho podem ser pontos de partida para outros estudos voltados para medição de emissão de material particulado em canteiros de obras. As recomendações para trabalhos futuros são as seguintes:

- Desenvolver estudos em canteiros de obras para embasar parâmetros específicos de qualidade do ar para a construção civil;
- Desenvolver estudos específicos para cada fase da construção seja esta: Fase 1 – Serviços preliminares, movimento de terra e fundações; Fase 2 – Execução de obra bruta; e/ou Fase 3 – Execução de acabamentos;
- Desenvolver estudos para implantar e avaliar soluções tecnológicas e gerenciais para a redução das emissões de MP em canteiros de obras.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9547; 1996 – Material Particulado em suspensão no ar ambiente. Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume.** Disponível em: < www.abnt.org.br >

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13412; 1995 – Material Particulado em suspensão no ar ambiente. Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas.** Disponível em: < www.abnt.org.br>

AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil.** São Paulo: Blucher, 2011.

ALBUQUERQUE, T. T. A. **Distribuição de tamanho, composição química e identificação das fontes do aerossol atmosférico de São Paulo: um estudo de caso para o inverno de 2003.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, 2005.

ALMEIDA, I.T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto.** Dissertação (mestrado)– Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 1999.

Air Metrics. Operation manual. Mini vol tm. Edição 12. Disponível em: www.airmetrics.com. Acesso em: 27 de outubro de 2012.

AMOR, R. **The Development of Sustainable - Construction Planning System.** Journal of Information Technology in Construction, pp. 1874-4753., 2012.

ANINK, D.; BOONSTRA, C.; MAK, J. **Handbook of sustainable building - An environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment.** London : James & James, 1996.

ARAÚJO, V.M; CARDOSO, F.; **Redução de impactos ambientais do canteiro de obras.** Projeto Finep: Habitações mais sustentáveis. Finep. São Paulo, 2007.

ARAÚJO, V.M. **Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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 - método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12065 – Atmosfera – determinação da taxa da poeira sedimentável total.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13412 – Material particulado em suspensão na atmosfera - determinação da concentração de**

partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 14001- Sistemas de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para o uso.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSUNÇÃO, J. V. Poluição atmosférica In: CASTELLANO;E. G.,Ed. **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias.** São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998.

BARBOSA, A.M. **Caracterização elementar sazonal do MP10 e a influência das condições meteorológicas em Cuiabá-MT.** Dissertação (mestrado)– Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 2007.

BELO, P.I.D.; TROFOLI, R. **Quantificação dos níveis de Partículas Finas (MP 2,5) no município de Vitória.** Vitória, 2011.

BRAGA C.F; TEIXEIRA, E.C.; MEIRA, L.; WIEGAND, F.; YONEAMA, M.L.; DIAS, J.F. **Elemental Composition of PM10 and PM2.5 in Urban Environment in South Brazil.** Atmospheric Environment v. 39, p. 1801-1815, 2005.

BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor. **Manual .** BRE Global Ltd, 2009. 346p

BUARQUE, S.C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável.**Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

CAMPOS-RAMOS A.; ARAGÓN-PIÑA, A.; GALINDO-ESTRADA, I.; QUEROL, X.; ALASTUEY, A. **Characterization of atmospheric aerosols by SEM in a rural area in the western part of México and its relation with different pollution sources.** Atmospheric Environment v. 43, p. 6159-6167, 2009.

CARNEIRO, Ana Paula S.; CAMPOS, Luciano de O.; GOMES, Marcelo C. F.; ASSUNÇÃO, Ada A. **Perfil de 300 trabalhadores expostos à sílica atendidos ambulatorialmente em Belo Horizonte.** Jornal de Pneumologia. vol. 28 nº 6. São Paulo, nov. 2002. Print ISSN 0102-3586. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php> >. Acesso em: 03 jan. 2014

CARVALHO, I. M.; PEREIRA, G. C. **Como anda Salvador.** Salvador: Edufba, 2008.

CASTANHO, A.D.A. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo.** Dissertação de mestrado. Instituto de Física. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CASTANHO, A.; ARTAXO, P. **Wintertime and summertime São Paulo aerosol source apportionment study.** Atmospheric Environment v. 35, p. 4889-4902, 2001.

CHENG, E.W..L; CHIANG, Y.H.C; TANG, B.S. **Exploring the economic impact of construction pollution by disaggregating the construction sector of the input-output table.** Building and Environment 41 (2006) p. 1940–1951. Hong Kong, 2005.

CIB. **Agenda 21 on Sustainable Construction.** Rotterdam: Report Publication, 1999.

CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR). 40 CFR Part 50 Appendix J. 2010. Disponível em: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>. Acesso em: 27 de outubro de 2012.

COHEN, A.J.; ANDERSON, H.R.; OSTRO, B.; PANDEY, K.D.; KRZYZANOWSKI, M.; KÜNZLI, N.; GUTSCHMIDT, K.; POPE, A.; ROMIEU, I.; SAMET, J.M.; SMITH, K. **The global burden of disease due to outdoor air pollution.** Journal of Toxicology and Environmental Health A 68, 1301e1307, 2005.

COLE, R.J.; ROSSEAU, D. **Environmental Auditing for Building Construction: Energy and Air Pollution Indices for Building Materials.** Building and Environment. Vol 2- No. 1. pp. 2-30, 1992.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 1990. **Resolução Conama nº003.** Disponível em: < www.mma.conama.gov.br/conama > Acesso em: agosto/2013.

CONCILS LONDON. The Control of Dust and Emissions from Construction and Demolition – Best Practice Guidance. Londres: Greater London Authority , Nov/ 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. 2014. Disponível em: http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padres.asp. Acesso em: janeiro/2014.

COUNTES ENVIRONMENTAL. **Wrap Fugitive Dust Handbook.** West Lake Village: Westerns Governors Association, 2004.

DEGANI, C.M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios.** Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

_____. **Base Institucional e Critérios de Avaliação. Sustentabilidade como Estratégia de Negócios: Perspectivas para Construção Civil e Mercado Imobiliário.** São Paulo: ANAAB 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Characterization of building related construction and demolition debris in the United States Office of solid waste.** Estados Unidos, Junho de 1998. Reportn.o EPA 530-R-98-010.

_____. **Particulate Emission Measurements from Controlled Construction Activities.** Estados Unidos, Abril de 2001. Reportn.o EPA EPA/600/R-01/031.

© EUROPEAN COMMISSION 2006. **Environment fact sheet: moving towards clean air for Europe.** Disponível em: http://themes.eea.eu.int/Environmental_issues/air_quality. Acesso em: 11 de junho de 2013.

FELICIANO, M.; GONÇALVES, A.; GOMES, P.; CARDOSO A.; ARAÚJO, R. **Partículas em Suspensão na Praça Camões (Bragança), durante a Construção do Parque de Estacionamento.** Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1138, 5301-854. BRAGANÇA, 2004.

FERNANDES, R. **Problemas Respiratórios (Materiais Particulados).** Informativo Técnico 3M do Brasil Ltda. Volume 1- Edição 21 – Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, T.M.; FORTI, M.C.; ALVALA, P.C. **Protocolo para coleta de material particulado atmosférico**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação – Governo do Brasil, São José dos Campos, 2012.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. Disponível em:<http://www.vanzolini.org.br>. Acesso: MAIO 2014.

GEHLEN, J. **Construção da sustentabilidade em canteiros de obras**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GIBRALTAR, Department of the environment. **Dust-Best Practice Guide: The control of dust emissions from demolition and construction**. Gibraltar, 2010.

GODISH, T. **Air quality**. Boca Raton: CRC Press, LLC, 1997.

GODOY, M. L. D. P.; GODOY, J. M.; ROLDÃO, L. A.; SOLURI, D. S.; DONAGEMMAB, R. A. **Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil**. Atmospheric Environment v. 43, p. 2366-2374, 2009.

GREATER LONDON AUTHORITY – GLA. **The control of dust emissions from construction and demolition. Versão Draft London Best Practice Guide**. London: Greater London authority e Association of London government, 2005.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Disponível em:<http://www.gbcbrazil.org.br/sistema/certificacao>. Acesso em: agosto/2013.

GRUENZNER, G. **Avaliação da poeira de sílica: um estudo de caso em uma pedreira na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2003.

GUALTIERI, M.; MANTECCA, P.; CORVAJA, V.; LONGHIN, E.; PERRONE, M. G.; BOLZACCHINI, E.; CAMATINI, M. **Winter fine particulate matter from milan induces morphological and functional alterations in human pulmonary epithelial cells (A549)**. Toxicol. Lett, 188, 52–62, 2009.

GUIMARÃES, M.S.O. **Diretrizes para desenvolvimento de canteiro de obrashabitacional de baixo impacto ambiental**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, 2013.

HANAI, F.Y. **Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade do turismo: conceitos, reflexões e perspectivas**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional - v. 8, n. 1, p. 198-231, jan-abr/2012, Taubaté, 2012.

HESKETH, H.E. **Air and waste management**. Lancaster: Tachnomic, 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Air quality –Particle size fraction definitions for health related sampling**. ISO 7708.1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Metodologia das estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2012**. Rio de Janeiro, 2012.

JSBC, Japan Sustainability Building Consortium – CASBEE – **Comprehensive assessment system for building environmental efficiency**. Japan, 2001. Disponível em: www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm. Acesso em: agosto/2013.

JOHN, V.M.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, C. **On agenda 21 for Latin America and Caribbean construbussines: a perspective from Brazil**. Journal Building Research and Information, Rotterdam, 23p., 2001. KUKADIA, V.; UPTON, S.; HALL, D. **Control of dust from construction and demolition activities**. London: BRE Bookshop, 2003.

KUKADIA, V.; UPTON, S.; HALL, D. **Control of dust from construction and demolition activities**. Londres: BRE e DTI, 2003. 50p.

KUNZLI, N. *et al.* **Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European assessment**. Institute for Social and Preventive Medicine, University Basel, Switzerland, 2000.

LIMA, M.M.T.M. **Características da poeira do processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento: estudo no pólo de Santa Gertrudes**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2007.

LIMA, P.R.A. **Diretrizes para a implantação de canteiros de obras com menor impacto ambiental baseadas no referencial AQUA**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Universidade de Pernambuco, Recife, 2010.

LIPFERT, F.W. **Air pollution and community health: a critical review and data sourcebook**. Danvers: Wiley, 1994.

LISBOA, H.M.; KAWANO, M. **Monitoramento de poluentes atmosféricos**. Montreal, 2007.

LOPES, F. **Caracterização química do material particulado suspenso na atmosfera empregando a fluorescência de raios X dispersiva em energia (EDXRF)**. Dissertação de mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2003.

LUCAS, V.S. **Construção sustentável – sistema de avaliação e certificação**. Dissertação (mestrado)– Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

LYRA, D. G. P. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador**. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008.

MAGALHÃES, L.C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto- MG**. Dissertação (mestrado)– Universidade Federal DE Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, 2005.

MAIOLI, B. G. **Quantificação e Caracterização do Material Particulado Fino (MP 2,5) na região metropolitana da grande Vitória**. Vitória 2011.

- MARTINS, A. R. B. **Caracterização e avaliação de poeiras presentes em canteiros de obras de edifícios verticais.** Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica de Pernambuco. Recife, 2009.
- MATEUS, V.L. **Caracterização inorgânica de material particulado (PTS e PM2.5) coletado próximo a um complexo industrial na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2012.
- MIGUEL, A. H. **Poluição atmosférica urbana no Brasil: uma visão geral.** Química Nova (2). Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- MIRANDA, R. M.; ANDRADE, M. F.; WOROBIEC, A.; GRIEKEN, R. V. **Characterization of aerosol particles in the São Paulo Metropolitan Area.** Atmospheric Environment v. 36, p. 345-352, 2002.
- MOTTA, R.S; MENDES, A. F. **Custos de saúde associados à poluição do ar no Brasil.** Texto para discussão nº332. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Distrito Federal e Rio de Janeiro, 1994.
- NASCIMENTO, E.A. **Impactos ambientais gerados na construção de edifícios: contraste entre a norma e a prática.** Dissertação de mestrado. Universidade Católica de Salvador, Salvador, 2008.
- NETO, B.B; SCARMINI, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** 2ª ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2002.
- OFORI, G., GANG, G.; BRIFFETT, C. **Implementing environmental management system in construction: lessons from quality systems.** Building and Environment, Vol. 37, No. 12, pp. 1397-1407, 2002.
- OYAMA, B. S. **Identificação de fontes de partículas finas na atmosfera urbana de São Paulo.** Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- PETERS, A.; POPE III, C.A. **Cardiopulmonary mortality and air pollution.** Lancet 360 (9341), 1184– 1185 (comment), 2002.
- PIPAL, A. S.; KULSHRESTHA A.; TANEJA, A. **Characterization and morphological analysis of airborne PM2.5 and PM10 in Agra located in north central India.** Atmospheric Environment v.45, p. 3621-3630, 2011.
- REBELATTO, A.L. **Determinação de índices quantitativos de material particulado inalável nos períodos seco e úmido na cidade de Cuiabá.** Dissertação (mestrado)– Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 2005.
- RESENDE, F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RESENDE, F.; CARDOSO, F. **Gestão da emissão de material particulado no canteiro de obras de edifícios**. V Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Criação de Valor na Construção Civil: teoria e prática, Campinas, 2007.

RESENDE, F.; CARDOSO, F.; ARAÚJO, I.P.S; MORAES R. J. B de; COSTA, D.B. **Metodologia para medição da concentração de material particulado em canteiros de obra**. SIBRAGEC: 8º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Inovação e Sustentabilidade. Salvador, 2013.

_____. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, *BT/PCC/485*. EPUSP, São Paulo, 2008.

RIBEIRO, F.S.N. *et al.* **Mapa da Exposição à sílica no Brasil**. Rio de Janeiro: UERJ, Ministério da Saúde, 2010.

RODRIGUES, G. L.; ALBIZU, E. J.; RINK, M. R. de M. P; AMARAL, N. **Análise da poeira gerada na utilização de recursos minerais pela indústria da construção civil em Curitiba/PR: influências para os trabalhadores**. In: V CONGRESSO NACIONAL SOBRE CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CMATIC), 2005, Olinda – PE. Anais... Fundacentro, Recife, 2005.

RUMBA, V. C. A. **Guidelines for sustainable building site management – short report**. Office for Urban Planning, Development and Construction, 2004.

SALIBA, T.M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Poeira e Outros Particulados**. Editora LTR, São Paulo, 2012.

SANTOS, A.M.A. **O tamanho das partículas de poeira suspensas no ar dos ambientes de trabalho**. Fundacentro, São Paulo, 2001.

SCOTTISH GOVERNMENT 2008. **Measurement and Modelling of Fine Particulate Emissions (MP10 & PM2.5) From Wood- Burning Biomass Boilers**. AEA Energy & Environment: Edinburgh, 2008.

SEINFELD, J.H.; PANDIS S.N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. New York: Wiley, 2006.

SANCHEZ-CCOYOLLO, O.; ANDRADE, M. F. **The influence of meteorological conditions on the behavior of pollution concentration in São Paulo, Brazil**. Environmental Pollution, v. 116, p. 257-263, 2002.

SCHWARTZ, J.; ZANOBETTI, A.; BATESON, T.F. **Mortality and morbidity among elderly residents of cities with daily PM measurements**. Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health Boston: Health Effects Institute, pp. 25– 58, 2003.

SIELICKI, P.; JANIK, H.; GUZMAN, A.; NAMIEŚNIK, J. **The progress in electron microscopy studies of particulate matters to be used as a standard monitoring method for air dust pollution, critical reviews in analytical chemistry**, 41:4, 314-334, DOI: 10.1080/10408347.2011.607076, 2011.

SILVA, V.G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros:** diretrizes e base metodológica. 2003.210f. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SPANGENBERG, J.H.; BONNIOT, O. **Sustainability indicators: a compass on the road towards sustainability.**Wuppertal: Wuppertal Institute, 1998.

SOUZA, A.M. [et al.]. **Introdução a projetos de experimentos : caderno didático.**Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Departamento de Estatística: Santa Maria, 2002.

TACHIZAWA, T. **Metodologia da pesquisa aplicada à Administração:** a Internet como instrumento de pesquisa. Rio de Janeiro: Pontal, 2002.

TAH, J. H. M.; ABANDA, H. F. **Sustainable building technology knowledge representation: Using Semantic Web techniques.** Advanced Engineering Informatics, Vol. 25, No. 3, pp. 547-558, 2001.

TAM, V.W.Y *et al.* **Environmental performance measurement indicators in construction.** Building and Environment 41 p. 164–173.Hong Kong, 2005.

TOLSTOY, N.; BJÖRKLUND, C.; CARLSON, P.O. **Materials flows in the construction and heavy engineering sector.** In: CIB World Building Congress 1998 - Construction and the Environment. Anais... Symposium A, Vol. 2 - Materials and Technologies for Sustainable Construction.Gävle, Suécia, Junho de 1998. p.857-864.

TORRES, F.T.; MARTINS, L.A. **Determinação dos fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora – MG.** Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Avançado de Jataí – GO. n.5 jul-dez/2005. JATAÍ – GO.

US EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Quality Assurance Guidance Document - Model Quality Assurance Project Plan for the PM Ambient Air 2.5 Monitoring Program at State and Local Air Monitoring Stations 100 (SLAMS).**Draft Report, n°. EPA-454/R-98-005, United States, Apr. 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/pm/>. Acesso em: 13 de junho de 2011.

_____. **Air Quality Criteria for Particulate Matter.**Draft Report, n°. EPA/600/P-99/002Af, United States, Oct. 2004a.Disponível em: <http://www.epa.gov/pm/>. Acesso em: 13 de junho de 2011.

_____.**EPA-CMB8.2 Users Manual.** Draft Report, n°. EPA-452/R-04-011, United States, Dec. 2004b.Disponível em: <http://www.epa.gov>. Acesso em: 13 de junho de 2011.

_____.**CMB Protocol for applying and validating the CMB model.** United States, 2004c. Disponível em: <http://www.epa.gov>. Acesso em: 13 de junho de 2011.

_____.**Particulate Matter (PM) Standards - Review Completed in 2006.** United States, 2006. Disponível em: http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_cr.html. Acesso em: 13 de junho de 2011.

_____. **SPECIATE version 4.2**, United States, 2008. Disponível em:
<http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate/>. Acesso em: 13 de junho de 2011.

VALARINI, S. **Caracterização do material particulado em Cubatão**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 2011.

VALLIUS, M. **Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air; finland national public health institute, department of environmental health: Kuopio, Finland**, 2005.

WANG, L.K.; PEREIRA, N.C.; HUNG; Y.T. **Air pollution control engineering**. Totowa: Human Press, 2004.

WANG Z.; ZHANG, L.; ZHANG, Y.; ZHAO, Z.; ZHANG, S. **Morphology of single inhalable particle in the air polluted city of Shijiazhuang, China**. Journal of Environmental Sciences v. 20, p. 429-435, 2008.

WATSON, J.G. *et al.* **Measurement System Evaluation for Upwind/Downwind Sampling of Fugitive Dust Emissions**. Aerosol and Air Quality Research, 11: 331–350, 2011. Taiwan Association for Aerosol Research ISSN: 1680-8584 print / 2071. Taiwan, 2011.

WATSON, J.G. *et al.* **Measurement System Evaluation for Fugitive Dust Emissions Detection and Quantification**. Desert Research Institute. California, 2010.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Preventing suicide: a resource at work**. World Health Organization. Geneva, 2006.

WORLD BANK BRAZIL, Managing Pollution Problems. **The Brown Environmental Agenda, Volume 1: Policy Report**. Fev. 1998.

VALENTE, J.P. **Certificações na construção civil: comparativo entre LEED e HQE**. Projeto de Graduação da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

XIE, R. K.; SEIP, H. M.; LEINUM, J. T.; WINJE, T.; XIAO, J. S. **Chemical characterization of individual particles (PM10) from ambient air in Guiyang City, China**. Science of the Total Environment, v. 343, p. 261-271, 2005.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 2001.

YUBA, A,N, **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes de madeira e plantios florestais**. 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

APÊNDICE 1
Protocolo de monitoramento

Neste documento está delineada a proposta deste trabalho com diretrizes para monitoramento da emissão de material particulado (MP) para canteiros de obra. O objetivo é estabelecer procedimentos que padronizem as atividades durante a fase de preparação em laboratório, de seleção e escolha dos canteiros, de transporte e análise das amostras, e de desmobilização da estrutura necessária à pesquisa de campo. A uniformização dos procedimentos favorece a comparação dos dados, bem como fornece condições para comparação entre canteiros de obra.

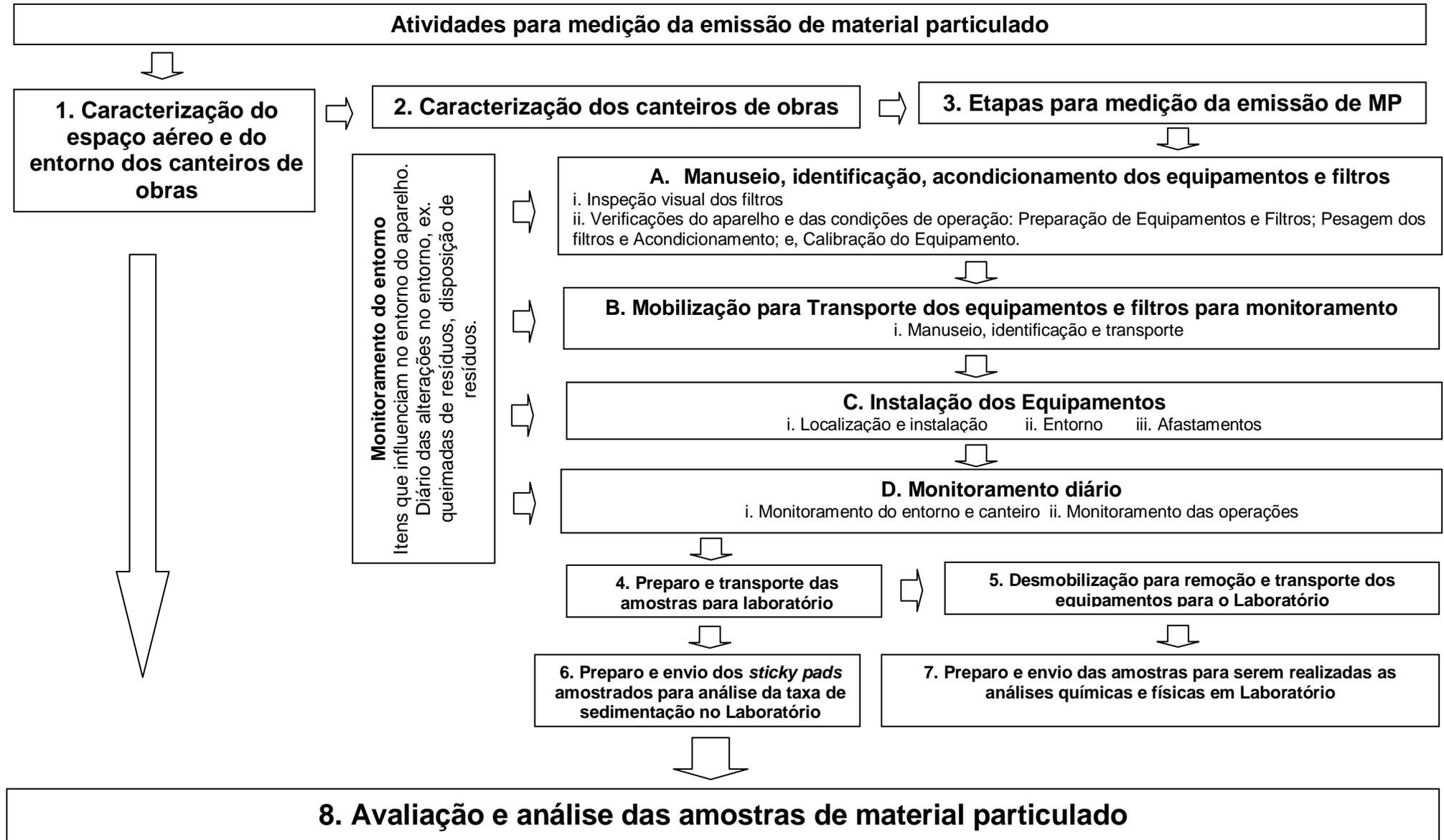
A inobservância de padronização contribui para possíveis discrepâncias e interferências entre as quantidades de material particulado coletado, por equipamento de monitoramento, e sua variação mineralógica capturada, bem como contribui para a pouca ou nenhuma condição de análise de semelhança entre diferentes canteiros de obra.

As interferências citadas são relativas:

- a.** Ao Espaço aéreo que interfere na Magnitude e na variação das partículas coletas pelo equipamento de monitoramento, isto em decorrência da dimensão física da parcela de ar próxima da estação de monitoramento; da concentração populacional do entorno na época do monitoramento; da escala a utilizar de representação espacial local, meso ou global.
- b.** Aos dados dos canteiros que interferem na utilização comparativa entre os canteiros que compreendem a localização (mesma finalidade construtiva, a exemplo de zonas residenciais); proximidade de fontes emissoras; proximidade de centros populacionais; proximidade de aeroportos.

Assim, as proposições de diretrizes para monitoramento estão divididas em grupos sequenciais delineados na Figura 1.

Figura 1: Atividades para monitoramento da emissão de MP



Fonte: Adaptado de RESENDE *et al.* (2013)

De acordo com as atividades descritas na Figura 1, um conjunto de critérios precisa ser discutido dentro de cada etapa. A definição destes critérios foi baseada em bibliografia nacional e internacional, incluindo *Code of Federal Regulations* (2010); *Watson et al.* (2010); *Councils London* (2011); *Belo e Trofoli* (2011); *Maioli* (2011); *Watson et al.* (2011); *Ferreira, Forti e Alvala* (2012); *Air Metrics Operation Manual* (2012). A seguir, apresenta-se a discussão aprofundada de cada critério encontra-se no protocolo de monitoramento (*Apêndice 1*).

1. Caracterização do espaço aéreo e do entorno dos canteiros de obras

A. Na escolha do canteiro deve-se buscar menor interferência externa relacionada às características da região, tais como:

- i. proximidades de vias de tráfego intenso;
- ii. proximidades de aeroportos;
- iii. proximidades de outros canteiros de obras, devido a seu potencial poluidor;
- iv. proximidades de fontes emissoras.

B. Caracterização da microrregião:

- i. canteiro em área urbana residencial, por exemplo dentro da região metropolitana da cidade de Salvador-BA;
- ii. levantados os receptores sensíveis (escolas, creches, hospitais e áreas com grande concentração de público);
- iii. características meteorológicas.

Deve ser realizada diariamente avaliação do cenário local para verificar o surgimento de alterações no entorno durante o intervalo de monitoramento e após a coleta das amostras, de forma a garantir:

- os critérios de afastamento das atividades industriais pesadas e vias de circulação arterial, fontes de emissão de partículas e/ou retenção como surgimento de edifícios ou crescimento de árvores;
- não ocorram alterações das condições iniciais de monitoramento relativas à faixa de volume de ar. Caso contrário, devem ser consideradas as alterações do movimento local (*upwind*) num raio de 100 metros em relação ao canteiro;

- seja realizado um cadastramento das informações sobre as terras desprotegidas, especialmente nas rotas de tráfego mais importantes e a favor do vento, obedecendo a uma escala espacial média de 100 metros.

2. Caracterização dos canteiros de obras

A. Critério seleção dos canteiros de obras⁸:

- i. edificação em área urbana, dentro da região metropolitana, com edificações até 2 pavimentos nos terrenos imediatamente vizinhos;
- ii. terreno com área superior a 1.500 m²;
- iii. uso residencial;
- iv. edifício multi-pavimentos, acima de 10 pavimentos;
- v. para as obras selecionadas acima, devem estar disponíveis os serviços abaixo, no mínimo por 10 dias, sendo aceitas medições das fases em obras distintas:
 - Fase 1 – Serviços preliminares, movimento de terra e fundações;
 - Fase 2 – Execução de obra bruta;
 - Fase 3 – Execução de acabamentos;
- vi. disponibilizar espaço para locação de estações de medição de MP no canteiro, conforme ventos predominantes;
- vii. das obras acima, indicar canteiros onde a empresa possa disponibilizar recursos para aplicar medidas mitigadoras de emissão de MP para os serviços descritos no tópico v do item A por no mínimo mais 10 dias (acrescido do período de medição realizado sem controle).

B. Desejável, mas não obrigatório:

- i. obras que tenham os serviços descritos tópico v do item A por nas épocas mais secas do ano.

3. Etapas para medição da emissão de MP

A. Manuseio, identificação e acondicionamento dos equipamentos e filtros:

⁸ Os tópicos i, ii, iii e iv deste item A são recomendações destinadas a estudos acadêmicos, visto que as empresas construtoras podem aplicar esse protocolo nos seus canteiros de obras.

i. inspeção visual dos filtros - todos os filtros devem ser inspecionados visualmente, antes de sua pesagem inicial, sendo rejeitados aqueles encontrados com defeitos. A inspeção deve, de preferência, ser realizada contra uma fonte de luz plana (igual à usada em checagens de raios-x). Deve-se procurar principalmente pelos seguintes defeitos:

- furinhos - um furo pequeno parecendo com um ponto de luz brilhante de preferência examinar com tela luminosa ou com ponto de luz sobre uma mesa com superfície negra;
- material solto - qualquer outro material solto ou partícula de poeira no filtro que deve ser removido imediatamente e antes da pesagem do filtro;
- descoloração - qualquer descoloração visível que possa ser evidência de contaminação;
- não uniformidade do filtro - qualquer não uniformidade visível na aparência do filtro que quando observada sobre uma mesa com superfície negra possa indicar gradações da porosidade através da face do filtro;
- outros - um filtro com qualquer imperfeição não descrita acima tal como superfícies irregulares ou defeito de fabricação.

ii. verificação dos aparelhos e das condições de operação:

a. preparação de equipamentos e filtros:

- os MiniVols devem ser calibrados e verificados quanto a ocorrência de possíveis vazamentos;
- para determinar a vazão inicial de cada aparelho é necessário que seja realizado um ajuste de vazão seguindo o manual de instruções de cada aparelho. Esses valores devem ser colocados em uma curva de regressão para determinação da vazão inicial de cada aparelho;
- para verificar se há vazamentos nos MiniVols é necessário remover os coletores dos MiniVols, certificar que o tubo de entrada está completamente estendido e cobrir o tubo de entrada de ar com a palma da mão enquanto a

bomba está em execução, para confirmação de que está tudo certo é necessário que a bola do medidor de vazão caia para zero e lá permaneça sem movimento.

b. pesagem dos filtros:

- é preciso que os mesmos sejam armazenados, em laboratório, em condições de equilíbrio do ambiente de temperatura entre 20° e 23°C não podendo variar mais que $\pm 2^\circ$ por 24 horas e a umidade relativa deve estar entre 42 e 47%, e não variar mais que $\pm 5\%$ em 24 horas;
- deve ser realizada a eliminação da carga estática dos filtros para depois proceder a pesagem dos mesmos;
- deve haver a pesagem de filtros que serão amostrados e os brancos de campo que são filtros não amostrados, que devem ser levados até os locais de amostragem e retornados para as condições de acondicionamento;
- a cada 10 filtros amostrados, um branco de campo deve ser realizado para cada fração de MP;
- cada filtro deve ser pesado três vezes para obtenção da massa média, antes e após a coleta;

c. acondicionamento dos filtros:

- devem ser armazenados em placas de petri acondicionadas em um *cooler* que deve ficar armazenado na obra a fim de evitar diversos deslocamentos;
- deve ser realizada a identificação dos filtros. Ex: BA 01, BA 02. Devem ser identificados por sequência de números.

d. operação:

- o pesquisador deve ser responsável pela supervisão do funcionamento das estações de monitoramento, funcionamento da amostra, visitas diárias ao local, verificação semanal de alterações na escala espacial, calibração, substituição dos filtros, manutenção preventiva e registro dos dados.

B. Mobilização para transporte dos equipamentos e filtros para monitoramento:

i. manuseio, identificação e acondicionamento durante o transporte dos equipamentos e filtros:

- deve-se tomar cuidado no transporte dos equipamentos e filtros para o canteiro a fim de evitar contaminação e perdas das características;
- os filtros devem ser manipulados com o auxílio de pinças, sempre evitando o contato com a área a ser amostrada;
- os filtros e as amostras devem ser armazenados em placas de petri identificadas e acondicionadas em tubetes com a finalidade de evitar a hidratação da superfície dos filtros;
- ao retornar ao laboratório as amostras devem ser manuseadas com pinças e armazenadas na sua posição horizontal para evitar a perda de materiais coletados.

C. Instalação dos equipamentos:

i. localização e instalação:

- a entrada do equipamento deve ficar entre 2 metros e 7 metros do solo. Ex.: nesta pesquisa foi deixado a 3,4 metros do solo;
- a entrada do equipamento deve ficar no mínimo 2 metros da entrada de outro equipamento medindo a mesma fração de MP (para amostragens simultâneas e avaliações comparativas), as entradas devem ficar no máximo 4 metros umas das outras;
- não locar o equipamento diretamente no solo;
- não locar o equipamento perto de chaminés ou exaustores;
- deve-se escolher o local para instalação longe de vegetação e com boa circulação de massa de ar;

- deve-se locar em área aberta com semelhança estrutural e ausência de proximidade com arranha-céus em pelo menos três dos quadrantes direcionais do equipamento;
- o fluxo de ar ao redor do amostrador deve ficar livre pelo menos 270° de qualquer obstrução;
- deve-se locar em distâncias adequadas (igual ou maior que 25 metros) de atividade industrial pesada, das principais vias de circulação arterial e outras grandes fontes de emissão de partículas;
- o equipamento deve estar em geral a favor do vento;
- garantir distâncias de fontes poluidoras localizadas no entorno como medida para reduzir as interferências nos níveis medidos;
- a estação de monitoramento deve ser instalada no canteiro de obra no período anterior à instalação dos equipamentos para determinação do vento predominante.

ii. entorno:

As informações sobre o uso e ocupação do solo são importantes para avaliação das interferências internas e impactos.

Devem ser avaliadas e monitoradas as potenciais atividades emissoras durante a realização das amostragens, pois embora não possam ser quantificadas, podem ser sugeridas as suas interferências.

iii. afastamentos:

a. afastamento das estradas:

- recomenda-se considerar o uso de critérios quanto a distâncias rodoviárias, utilizando-se uma distância mínima de pelo menos 25 metros de estradas, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Mínima distância para as vias

<i>Média tráfego (veículos por dia)</i>	≤10.000	15.000	20.000	40.000	70.000	≥110.000
<i>Mínima distância para as vias e as medições (metros)</i>	≥10	20	30	50	100	≥250

Fonte: CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (2011)

b. espaçamento de árvores e edifícios:

Os edifícios, árvores e outros obstáculos podem obstruir o fluxo de vento normal em torno do caminho de monitoramento. Para reduzir esta interferência recomenda-se que 90% do caminho de monitoramento deve ter fluxo livre de 20 metros de distância da linha das árvores ou que a distância entre o equipamento e o obstáculo seja de pelo menos duas vezes a altura máxima do obstáculo;

D. Monitoramento diário:

i. monitoramento do entorno e canteiro:

- o canteiro precisa continuar a cumprir os critérios de afastamento das atividades industriais pesadas, vias de circulação arterial, fontes de emissão de partículas e/ou de edifícios ou crescimento de árvore;
- manter as condições iniciais do monitoramento sobre a faixa de interferências de volume de ar. Caso não seja possível ter esse controle considerar as alterações a título de indicar as principais interferências externas (Tabela 2).

Tabela 02: Raios a serem considerados para interferências no monitoramento

Escala espacial	FAIXA DE VOLUME DE AR - CONCENTRAÇÃO
micro	0,1 km – 100 metros
média	0,1 a 0,5 km – 100 a 500 metros
Entorno urbano	4 a 50 km – área metropolitana

Fonte: o autor

- faz-se necessário cadastrar as informações diariamente durante todo o período de monitoramento.

ii. monitoramento das operações:

a. amostradores MiniVols, ver planilha no Apêndice 2:

- *retirar os filtros dos equipamentos* – na retirada dos filtros é preciso transportá-los na horizontal para evitar a perda de materiais coletados;
- *acondicionar os filtros amostrados* - atenção especial deve ser dada ao ambiente onde serão armazenados os *coolers*, apenas o pesquisador está apto a manuseá-los;
- *alocar filtros novos nos equipamentos* – ao alocar novos filtros nos equipamentos, é preciso atentar para a sua identificação e para a identificação do equipamento;
- *atentar para vazão inicial do equipamento* – é preciso anotar a vazão final encontrada em cada equipamento, e, quando for diferente da vazão inicial, é preciso recolocá-la em cada equipamento;
- *substituir baterias* – é preciso substituir as baterias dos equipamentos a cada 48 horas.

b. adesivos *Sticky Pads*, ver planilha no Apêndice 3:

- *substituir sticky pads* – deve-se ter alguns cuidados com este método devido a susceptibilidade à perda de poeira na chuva e vento fortes. Se o adesivo for exposto durante demasiado tempo, então ele pode saturar com a poeira, uma vez que a poeira nova não vai ficar em cima da poeira já presa. Período de exposição adequado é de 1 a 5 dias. Neste trabalho a amostragem foi de 3 dias.

b. estação meteorológica:

- *descarregar dados* – o descarregamento dos dados da estação deve ser realizado depois do término de cada fase de monitoramento. Por isso, neste trabalho não houve necessidade de preencher planilha diariamente.

c. *check list* e folhas de campo:

- devem ser *anotadas as informações dos canteiros de obra* – Planilha MiniVols (Apêndice 2): identificação do amostrador MiniVol, número do filtro, leitura da vazão final, e leitura do tempo decorrido.
- deve ser *preenchido o check list* - Planilha *Check List* (Apêndice 4). Deve ser investigadas as atividades de produção do dia de monitoramento, avaliar o cronograma de atividades da obra, bem como arguir o responsável das atividades para certificar se todas as atividades foram realizadas;
- *observar o canteiro de obras* - anotar as atividades e ocorrências que possam interferir nos resultados da amostragem durante o período de coleta - Planilha MiniVols (Apêndice 2) e Planilha *Check List* (Apêndice 4).

4. Preparo e transporte das amostras para laboratório

Após as coletas das amostras, os filtros devem ser armazenados, em laboratório, em condições de equilíbrio do ambiente de temperatura entre 20° e 23°C não podendo variar mais que $\pm 2^\circ$ por 24 horas e a umidade relativa deve estar entre 42 e 47%, e não variar mais que $\pm 5\%$ em 24 horas.

Os filtros devem ser inspecionados visualmente e pesados em balança micro analítica três vezes para obtenção do valor médio. Neste procedimento os filtros devem ser pesados antes e depois de amostrados para controle de qualidade das coletas, ou seja, para determinar se houve contaminação ou perda de material durante os processos de transporte e manuseio.

Os filtros brancos devem ser submetidos ao mesmo procedimento analítico dos filtros amostrados. Os filtros brancos de campo que possuem variação superior a 30 μg geram incertezas, desta forma, todos os filtros amostrados naquela semana devem ser descartados.

Deve-se tomar cuidado no transporte dos filtros amostrados para o laboratório a fim de evitar a contaminação e a perda das amostras em razão dos impactos, desse modo os filtros devem ser acondicionados e transportados adequadamente.

Toda ocorrência que possa alterar a amostra deve ser registrada na ficha de campo – Planilha MiniVols (Apêndice 2). Devem ser identificadas as amostras coletadas em cada ponto do canteiro. Esta diferenciação é bastante importante para determinação da contribuição real do canteiro em cada ponto de medição.

5. Desmobilização para remoção e transporte dos equipamentos para Laboratório

Após a finalização das amostragens no canteiro, os equipamentos devem ser desmontados e armazenados em seus respectivos recipientes, verificando a integridade item a item de cada equipamento.

Após verificação dos equipamentos deve ser desmontada a estrutura de suporte dos equipamentos (andaimés), sendo feita a mesma verificação com relação à ausência de partes da estrutura. Neste trabalho, todos os itens foram transportados em veículo adequado para armazenamento no laboratório TIMOSHENKO da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

6. Preparo e envio dos sticky pads amostrados para análise da taxa de sedimentação no Laboratório

A cada término de amostragem dos *sticky pads*, estes devem ser enviados ao laboratório para realização das leituras através do leitor/reflectômetro. Neste trabalho todos foram transportados para o laboratório TIMOSHENKO da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

7. Preparo e envio das amostras para o Laboratório

A cada final de fase, o *cooler* deve ser enviado ao laboratório para realização das análises químicas e físicas. Neste trabalho, os filtros foram enviados ao *Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP)*.

8. Avaliação e análise das amostras de MP

A. Análise física

B. Análise química

C. Análise da taxa de sedimentação

Estes itens estão discutidos no Capítulo 4 - item 4.1.3.4.

Apêndice 2: Planilha MiniVols

CANTEIRO:					DATA DA COLETA:			
RESPONSÁVEL PELA COLETA:								
	ENTRADA DO CANTEIRO				SAÍDA DO CANTEIRO			
	AMOSTRADORES DE 8HS			AMOSTRADOR DE 22HS	AMOSTRADORES DE 8HS			AMOSTRADOR DE 22HS
N° do Amostrador	MP _{2,5}	MP ₁₀	PTS		MP _{2,5}	MP ₁₀	PTS	
Vazão Inicial (l/min)								
Vazão Final (l/min)								
Código do filtro								
OBSERVAÇÕES								

Apêndice 3: Planilha *Sticky Pads*

CANTEIRO:					
RESPONSÁVEL PELA COLETA:					
Raio dos <i>Sticky pads</i>	INÍCIO DA COLETA		FIM DA COLETA		Recolhimento dos <i>Sticky pads</i>
	DIA	HORA	DIA	HORA	
5 metros					
10 metros					
20 metros					
50 metros					
100 metros					

Apêndice 4: Check list das atividades diárias do canteiro

Check List (fase 1)

CANTEIRO:	
RESPONSÁVEL PELA COLETA:	DATA DA COLETA:
FASE: Serviços preliminares, movimento de terra e fundações	
Demolição	
Demolição mecanizada	
Carga de material	
Descarga de material	
Saída de caminhões do canteiro	
Transporte de material	
Trânsito de veículos sobre solo	
Armazenamento de resíduos	
Manuseio de material biológico	
Queima de material	
Serragem manual	
Britagem	
Lixamento	
Quebra manual	
Utilização de explosivos	
Cortes com maçarico	
Movimento de Terra	
Escavação mecanizada	
Escavação manual	
Carga de material	
Descarga de material	
Trânsito de veículos sobre solo	
Transporte de terra	
Saída de caminhões do canteiro	
Estocagem de terra	
Exposição de solo solto	
Fundação	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	

Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Uso de maçarico e soldagem	
Queima de materiais	
Escavação manual	
Escavação mecanizada	
Limpeza com varrição	
Trânsito de veículos sobre solo	
Estocagem de material	
Motores a combustão	
Transporte, armazenagem remoção de materiais e resíduos	
Carga de material pulverulento	
Descarga de material pulverulento	
Trânsito de veículos sobre solo	
Estocagem de material pulverulento ensacado	
Estocagem de material pulverulento em montes	
Motores a combustão	
Transportes horizontais internos de material pulverulento	
Veículos de construção e transportes	
Trânsito de veículos sobre solo no canteiro	
Trânsito de veículos com ressuspensão de partículas	
Motores a combustão	
Saída de veículos do canteiro	

QUADRO DE OBSERVAÇÕES

--	--

Check List (fase 2)

CANTEIRO:	
RESPONSÁVEL PELA COLETA:	DATA DA COLETA:
FASE: Execução de obra bruta e vedações	
Estrutura	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Uso de maçarico e soldagem	
Queima de materiais	
Escavação manual	
Escavação mecanizada	
Limpeza com varrição	
Carga de material pulverulento	
Descarga de material pulverulento	
Trânsito de veículos sobre solo	
Motores a combustão	
Transportes internos de material pulverulento	
Alvenaria	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Limpeza com varrição	
Estocagem de material no local de trabalho	
Transportes internos de material pulverulento	
Revestimentos internos	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	

Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Limpeza com varrição	
Estocagem de material no local de trabalho	
Revestimentos externos	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Limpeza com varrição	
Estocagem de material no local de trabalho	

QUADRO DE OBSERVAÇÕES

Check List (fase 3)

CANTEIRO:	
RESPONSÁVEL PELA COLETA:	DATA DA COLETA:
FASE: Execução de acabamentos	
Pisos argamassados	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Limpeza com varrição	
Trânsito de veículos sobre solo	
Transportes internos de material pulverulento	
Estocagem de material no local de trabalho	
Revestimentos cerâmicos	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Limpeza com varrição	
Estocagem de material no local de trabalho	
Motores a combustão	
Transportes internos de material pulverulento	
Esquadrias	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Desgaste superficial	
Quebras	
Limpeza com varrição	
Impermeabilizações	

Uso de material pulverulento	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Uso de maçarico e soldagem	
Queima de materiais	
Limpeza com varrição	
Estocagem de material no local de trabalho	
Transportes internos de material pulverulento	
Instalações prediais	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Uso de maçarico e soldagem	
Queima de materiais	
Escavação manual	
Escavação mecanizada	
Limpeza com varrição	
Motores a combustão	
Transportes internos de material pulverulento	
Pintura	
Uso de material pulverulento	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Limpeza com varrição	
Transportes internos de material pulverulento	
Cobertura	
Cortes serras manuais	
Cortes serras de bancada	
Perfurações	
Uso de material pulverulento	
Desgaste superficial	
Quebras	
Lançamento de argamassas e concretos	
Aspersão de partículas líquidas	
Uso de maçarico e soldagem	
Limpeza com varrição	
Estocagem de material no local de trabalho	
Motores a combustão	
Transportes internos de material pulverulento	

Paisagismo	
Uso de material pulverulento	
Aspersão de partículas líquidas	
Escavação manual	
Escavação mecanizada	
Limpeza com varrição	
Trânsito de veículos sobre solo	
Estocagem de material no local de trabalho	
Transportes internos de material pulverulento	

QUADRO DE OBSERVAÇÕES

--

Apêndice 5: Concentração dos elementos químicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabela 1: Concentração dos elementos químicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Fase 1

CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - FASE 1																					
Material	Estatística	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Se	Br	Pb
Ponto fixo MP _{2,5} (8horas)	Máxima	1,96	0,27	1,18	3,26	0,14	1,77	3,37	0,41	3,18	0,11	0,01	0,04	0,02	1,31	0,01	0,09	0,04	0,01	0,01	0,01
	Média	1,07	0,08	0,70	1,89	0,05	1,30	2,19	0,25	1,83	0,07	0,00	0,02	0,01	0,81	0,01	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00
	Mediana	1,01	0,05	0,69	2,05	0,04	1,43	2,54	0,28	1,68	0,07	0,00	0,02	0,01	0,85	0,00	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
	Mínima	0,53	0,00	0,12	0,06	0,02	0,50	0,19	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	0,39	0,10	0,35	1,00	0,03	0,39	1,05	0,13	0,94	0,03	0,00	0,01	0,01	0,38	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
	Coeficiente de variação	0,37	1,28	0,50	0,53	0,66	0,30	0,48	0,51	0,52	0,49	1,01	0,60	1,02	0,47	1,00	0,19	0,26	0,39	1,49	1,39
Ponto 1 MP _{2,5} (8horas)	Máxima	3,57	0,24	3,78	8,02	0,45	1,94	3,65	0,77	7,55	0,37	0,01	0,02	0,02	4,30	0,01	0,11	0,15	0,02	0,02	0,02
	Média	1,64	0,10	2,32	5,34	0,19	1,61	2,77	0,52	4,95	0,21	0,00	0,02	0,01	2,80	0,01	0,09	0,06	0,01	0,01	0,01
	Mediana	1,62	0,09	2,06	4,81	0,18	1,63	2,64	0,54	4,97	0,17	0,00	0,02	0,01	2,63	0,01	0,09	0,05	0,01	0,01	0,01
	Mínima	0,00	0,00	0,97	1,94	0,00	1,08	1,70	0,21	1,18	0,08	0,00	0,01	0,01	1,28	0,00	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	1,00	0,08	1,08	1,89	0,12	0,29	0,74	0,16	1,70	0,10	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,01
	Coeficiente de variação	0,61	0,79	0,47	0,35	0,66	0,18	0,27	0,30	0,34	0,48	0,74	0,24	0,32	0,43	0,75	0,12	0,60	0,81	0,79	0,85
Ponto fixo MP ₁₀ (8horas)	Máxima	6,54	0,87	3,32	10,94	0,36	4,00	32,95	1,66	11,91	0,38	0,01	0,03	0,04	4,41	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00
	Média	3,91	0,36	2,07	6,40	0,19	2,05	16,21	0,91	6,33	0,23	0,00	0,01	0,02	2,53	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
	Mediana	3,69	0,33	2,01	6,08	0,19	2,20	14,83	0,90	5,98	0,23	0,00	0,01	0,02	2,48	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	Mínima	1,09	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	1,70	0,29	1,09	3,39	0,12	1,06	8,97	0,51	3,49	0,13	0,00	0,01	0,01	1,39	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
	Coeficiente de variação	0,43	0,80	0,53	0,53	0,64	0,52	0,55	0,56	0,55	0,54	2,00	0,72	0,56	0,55	1,98	0,00	0,72	1,82	1,23	2,20
Ponto 1 MP ₁₀ (8horas)	Máxima	3,93	0,63	9,44	22,18	0,59	2,18	13,47	2,00	19,64	1,10	0,01	0,02	0,05	17,60	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,01
	Média	2,42	0,20	5,33	11,59	0,29	1,68	9,31	1,10	10,06	0,53	0,00	0,01	0,03	7,74	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	Mediana	2,94	0,13	4,67	10,70	0,30	1,75	8,88	1,03	9,83	0,45	0,00	0,01	0,02	6,23	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
	Mínima	0,00	0,00	2,56	5,80	0,00	1,14	5,34	0,54	5,49	0,31	0,00	0,00	0,02	3,44	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	1,51	0,21	2,53	5,10	0,17	0,35	2,50	0,41	4,41	0,26	0,00	0,01	0,01	4,40	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
	Coeficiente de variação	0,62	1,05	0,47	0,44	0,58	0,21	0,27	0,37	0,44	0,48	1,08	0,85	0,39	0,57	3,00	0,00	0,57	3,00	1,58	1,27
Ponto fixo MP ₁₀ (22horas)	Máxima	4,24	0,41	1,28	4,18	0,08	2,48	22,53	0,86	4,65	0,16	0,00	0,01	0,02	1,69	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00
	Média	2,84	0,29	0,93	3,09	0,05	1,71	15,69	0,60	3,16	0,12	0,00	0,01	0,01	1,28	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
	Mediana	2,75	0,26	0,89	2,81	0,05	1,60	15,05	0,54	3,05	0,12	0,00	0,01	0,01	1,19	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
	Mínima	1,98	0,22	0,57	2,16	0,01	1,28	10,86	0,43	2,29	0,08	0,00	0,00	0,01	0,92	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
	Desvio Padrão	0,69	0,08	0,27	0,89	0,03	0,42	4,40	0,16	0,87	0,03	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	Coeficiente de variação	0,24	0,27	0,29	0,29	0,55	0,24	0,28	0,27	0,27	0,26	2,02	0,83	0,27	0,26	2,83	0,00	0,18	0,00	0,70	2,83

Fonte: o autor

Tabela 2: Concentração dos elementos químicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Fase 2

CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - FASE 2																						
Material	Estatística	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Se	Br	Pb	
Ponto fixo MP2,5 (8horas)	Máxima	1,78	0,03	0,14	1,35	0,10	1,17	2,04	0,31	3,98	0,09	0,00	1,09	0,08	3,64	0,01	0,01	0,06	0,00	0,01	0,01	
	Média	0,24	0,00	0,08	0,93	0,03	0,98	1,43	0,22	2,01	0,06	0,00	0,12	0,02	0,70	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	
	Mediana	0,00	0,00	0,09	0,90	0,01	0,95	1,46	0,22	1,54	0,06	0,00	0,00	0,00	0,51	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
	Mínima	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	0,81	0,59	0,09	0,74	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	0,59	0,01	0,06	0,31	0,04	0,13	0,45	0,08	1,16	0,02	0,00	0,36	0,03	1,13	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coefficiente de variação	2,44	3,00	0,70	0,34	1,31	0,13	0,32	0,34	0,58	0,38	2,92	3,00	1,81	1,61	0,75	1,21	0,84	3,00	0,94	1,15	
Ponto 2 MP2,5 (8horas)	Máxima	2,09	0,03	0,91	4,71	0,31	1,55	2,67	0,98	9,79	0,25	0,01	0,00	0,08	3,05	0,01	0,04	0,06	0,01	0,01	0,01	
	Média	0,60	0,00	0,56	2,86	0,17	1,23	1,68	0,52	5,57	0,16	0,00	0,00	0,01	1,76	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	
	Mediana	0,46	0,00	0,45	2,87	0,18	1,21	1,74	0,52	5,96	0,16	0,00	0,00	0,00	1,56	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	
	Mínima	0,00	0,00	0,21	1,13	0,03	1,08	0,83	0,32	2,91	0,07	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	
	Desvio Padrão	0,69	0,01	0,25	1,06	0,09	0,14	0,60	0,20	2,03	0,05	0,00	0,00	0,03	0,82	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
	Coefficiente de variação	1,17	3,00	0,45	0,37	0,52	0,12	0,35	0,38	0,37	0,34	1,26	0,00	2,17	0,46	1,00	1,05	0,47	2,26	1,14	1,30	
Ponto fixo MP10 (8horas)	Máxima	3,32	0,29	2,92	9,29	0,39	2,45	21,13	1,58	15,85	0,38	0,01	0,10	0,06	4,18	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	
	Média	0,70	0,05	1,32	5,32	0,24	1,79	13,92	1,12	8,34	0,27	0,00	0,02	0,03	3,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	
	Mediana	0,24	0,00	1,27	5,37	0,22	1,81	14,20	1,14	7,60	0,29	0,00	0,01	0,03	3,15	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	
	Mínima	0,00	0,00	0,50	2,29	0,05	0,82	4,70	0,43	3,44	0,13	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	
	Desvio Padrão	1,08	0,11	0,68	2,10	0,12	0,55	5,39	0,38	3,91	0,09	0,00	0,03	0,02	0,93	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	
	Coefficiente de variação	1,55	2,05	0,52	0,40	0,50	0,30	0,39	0,34	0,47	0,34	1,14	1,56	0,59	0,31	1,43	0,00	0,45	0,00	0,47	1,53	
Ponto 2 MP10 (8horas)	Máxima	0,77	0,00	4,37	17,04	0,77	2,17	12,09	2,66	26,21	1,13	0,01	0,14	0,06	12,54	0,01	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	
	Média	0,32	0,00	2,73	9,63	0,45	1,45	8,06	1,47	14,26	0,52	0,01	0,03	0,03	7,17	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	
	Mediana	0,20	0,00	2,68	11,16	0,52	1,62	9,52	1,58	15,81	0,54	0,01	0,00	0,03	8,15	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
	Mínima	0,00	0,00	0,05	0,16	0,00	0,15	0,37	0,05	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Desvio Padrão	0,34	0,00	1,35	4,74	0,22	0,57	3,85	0,73	7,33	0,30	0,00	0,05	0,02	3,60	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	
	Coefficiente de variação	1,06	0,00	0,49	0,49	0,50	0,39	0,48	0,50	0,51	0,58	0,64	1,62	0,60	0,50	1,14	2,60	0,78	3,00	1,10	2,07	
Ponto fixo MP10 (22horas)	Máxima	2,01	0,11	0,69	3,23	0,23	2,28	22,52	0,98	8,50	0,18	0,00	0,01	0,02	2,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	
	Média	1,39	0,05	0,55	2,60	0,10	1,66	15,71	0,73	4,91	0,14	0,00	0,01	0,02	1,60	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	
	Mediana	1,37	0,04	0,62	2,75	0,10	1,63	15,67	0,70	4,96	0,15	0,00	0,01	0,02	1,65	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	
	Mínima	0,97	0,00	0,31	1,50	0,03	1,13	10,12	0,51	2,17	0,08	0,00	0,00	0,01	1,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	
	Desvio Padrão	0,36	0,05	0,16	0,66	0,07	0,38	4,00	0,17	2,19	0,04	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
	Coefficiente de variação	0,26	1,01	0,29	0,26	0,71	0,23	0,25	0,23	0,45	0,28	1,10	0,76	0,26	0,24	1,56	0,00	0,20	0,00	0,32	0,00	

Fonte: o autor

Tabela 3: Concentração dos elementos químicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - Fase 3

CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - FASE 3																					
Material	Estatística	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Se	Br	Pb
Ponto fixo MP _{2,5} (8horas)	Máxima	1,82	0,22	1,04	2,95	0,14	2,22	20,38	0,63	4,69	0,19	0,01	1,96	0,13	7,17	0,14	0,16	0,07	0,02	0,03	0,02
	Média	0,67	0,03	0,62	1,43	0,08	1,49	4,05	0,39	2,70	0,10	0,00	0,42	0,03	2,36	0,03	0,12	0,05	0,01	0,01	0,01
	Mediana	0,79	0,00	0,50	1,25	0,08	1,39	2,63	0,35	2,68	0,08	0,00	0,05	0,01	1,50	0,00	0,12	0,05	0,01	0,01	0,01
	Mínima	0,00	0,00	0,42	0,57	0,03	1,28	0,81	0,16	1,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,84	0,00	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	0,57	0,07	0,23	0,77	0,04	0,28	6,18	0,17	1,25	0,05	0,00	0,72	0,04	2,18	0,05	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00
	Coeficiente de variação	0,85	2,27	0,37	0,54	0,46	0,19	1,53	0,43	0,46	0,50	0,80	1,71	1,48	0,92	1,79	0,20	0,21	0,45	0,43	0,28
Ponto 3 MP _{2,5} (8horas)	Máxima	2,06	0,30	0,63	1,37	0,15	1,51	2,45	0,35	3,51	0,10	0,01	0,05	0,01	1,40	0,01	0,15	0,06	0,03	0,02	0,03
	Média	1,07	0,15	0,41	1,04	0,10	1,30	1,56	0,27	2,55	0,07	0,00	0,03	0,01	1,02	0,01	0,13	0,05	0,01	0,01	0,02
	Mediana	1,07	0,14	0,41	0,99	0,09	1,29	1,73	0,26	2,67	0,07	0,00	0,03	0,01	1,00	0,01	0,14	0,05	0,01	0,01	0,01
	Mínima	0,01	0,00	0,29	0,63	0,05	1,17	0,60	0,22	1,57	0,04	0,00	0,02	0,00	0,61	0,00	0,11	0,04	0,01	0,00	0,01
	Desvio Padrão	0,64	0,11	0,10	0,25	0,04	0,10	0,64	0,04	0,59	0,02	0,00	0,01	0,00	0,25	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	Coeficiente de variação	0,59	0,74	0,24	0,24	0,39	0,08	0,41	0,15	0,23	0,27	0,85	0,30	0,64	0,25	0,95	0,13	0,14	0,63	0,54	0,36
Ponto fixo MP ₁₀ (8horas)	Máxima	2,09	0,27	3,75	12,89	0,43	3,28	27,82	2,55	15,67	0,70	0,08	32,08	1,82	82,03	2,80	0,02	0,04	0,00	0,07	0,02
	Média	0,72	0,08	1,76	5,75	0,24	1,83	13,61	1,20	7,88	0,31	0,01	3,56	0,23	12,35	0,31	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
	Mediana	0,71	0,07	1,36	4,56	0,24	1,74	12,64	0,96	6,84	0,24	0,00	0,00	0,02	2,87	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
	Mínima	0,00	0,00	0,79	2,69	0,08	1,28	5,74	0,50	3,72	0,10	0,00	0,00	0,01	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	0,70	0,09	0,92	3,26	0,14	0,60	6,55	0,60	3,65	0,19	0,02	10,69	0,60	26,20	0,93	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
	Coeficiente de variação	0,97	1,10	0,52	0,57	0,57	0,33	0,48	0,50	0,46	0,60	2,07	3,00	2,62	2,12	3,00	3,00	0,43	1,95	1,10	3,00
Ponto 3 MP ₁₀ (8horas)	Máxima	1,41	0,13	2,01	6,56	0,45	2,04	16,64	1,14	10,49	0,37	0,00	0,00	0,02	5,35	0,01	0,00	0,05	0,01	0,02	0,01
	Média	0,57	0,03	1,21	3,80	0,26	1,33	9,18	0,73	7,11	0,21	0,00	0,00	0,01	2,89	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
	Mediana	0,65	0,00	1,18	3,76	0,28	1,56	9,87	0,74	7,58	0,23	0,00	0,00	0,01	2,90	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
	Mínima	0,00	0,00	0,36	1,73	0,07	0,66	3,56	0,33	3,73	0,09	0,00	0,00	0,00	1,09	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Desvio Padrão	0,41	0,05	0,60	1,81	0,14	0,52	4,67	0,30	2,74	0,11	0,00	0,00	0,01	1,57	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
	Coeficiente de variação	0,72	1,62	0,50	0,48	0,52	0,39	0,51	0,41	0,39	0,51	1,37	0,00	0,76	0,54	3,00	0,00	0,44	2,80	0,76	2,44
Ponto fixo MP ₁₀ (22horas)	Máxima	1,94	0,14	1,19	4,39	0,16	2,33	24,76	1,17	6,49	0,28	0,00	0,08	0,02	3,09	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
	Média	0,94	0,06	0,72	2,67	0,09	1,55	15,16	0,73	3,98	0,16	0,00	0,01	0,01	1,77	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
	Mediana	0,93	0,08	0,63	2,27	0,09	1,45	14,45	0,63	3,35	0,12	0,00	0,00	0,01	1,37	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
	Mínima	0,08	0,00	0,40	1,67	0,02	0,93	8,26	0,44	2,48	0,09	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
	Desvio Padrão	0,54	0,05	0,29	1,06	0,05	0,52	6,30	0,25	1,56	0,07	0,00	0,03	0,01	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	Coeficiente de variação	0,57	0,86	0,40	0,39	0,49	0,33	0,42	0,35	0,39	0,45	0,99	2,98	0,58	0,44	2,23	3,00	0,24	3,00	0,62	2,59

Fonte: o autor