



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA

RITA JANE BRITO DE MORAES

**AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DO MATERIAL PARTICULADO
PROVENIENTE DE CANTEIROS DE OBRAS HABITACIONAIS NA
FASE DE ESTRUTURAS E ALVENARIA**

Salvador

2015

RITA JANE BRITO DE MORAES

**AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DO MATERIAL PARTICULADO
PROVENIENTE DE CANTEIROS DE OBRAS HABITACIONAIS NA
FASE DE ESTRUTURAS E ALVENARIA**

Dissertação apresentada ao mestrado em
Engenharia Ambiental Urbana como requisito parcial à
obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA
AMBIENTAL URBANA

Orientadora: Dra. Dayana Bastos Costa

Salvador

2015

M827 Moraes, Rita Jane Brito de.

Avaliação da emissão do material particulado proveniente de canteiros de obras habitacionais na fase de estruturas e alvenaria/ Rita Jane Brito de Moraes. – Salvador, 2015.

264f. : il. color.

Orientadora: Profa. Dra. Dayana Bastos Costa

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Escola Politécnica, 2015.

1. Ar - poluição. 2. Canteiros de obras. 3. Partículas - material. I.
Costa, Dayana Bastos. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD: 628.53

RITA JANE BRITO DE MORAES

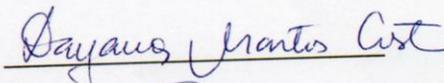
AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DO MATERIAL PARTICULADO
PROVENIENTE DE CANTEIROS DE OBRAS
HABITACIONAIS NA FASE DE ESTRUTURAS E
ALVENARIA.

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

Salvador, 21 de JULHO de 2015

Banca Examinadora:

Profª Drª Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Profº Drº Ricardo Fernandes Carvalho
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Profº Drº Neyval Costa Reis Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES



*Agradeço a Deus por esta grande vitória, sobretudo a sua
presença constante em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

À FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo financiamento do Projeto CANTECHIS - Tecnologias para Canteiros de Obras Sustentáveis de Habitação de Interesse Social e pela concessão de minha bolsa de estudos;

À minha orientadora Dayana Bastos Costa pelo bom relacionamento e confiança depositada em mim, além da excelente orientação e ensinamentos adquiridos;

Aos professores Ricardo Fernandes Carvalho (UFBA) e Francisco Ferreira Cardoso (USP) pelo apoio e grande contribuição durante toda a realização desta pesquisa;

À equipe de pesquisadores do SPEMP/UFBA, especialmente aos bolsistas de iniciação científica Jair Lopes Junior e Jaconias Carneiro Gomes que estiveram ao meu lado durante todo o desenvolvimento desta pesquisa;

À amiga Ingrid pela experiência transmitida durante o trabalho conjunto;

À equipe do CANTECHIS da USP, em especial aos bolsistas Wildner Mataragia e Erika Miura, pelo apoio constante ofertado para realização das análises físicas;

Ao grupo do LAPAT/IAG/USP, em especial à Rosana Astolfo, especialista em laboratório e Mestre em geociências, pela realização das análises químicas;

Ao Membro externo Professor Dr. Neyval Costa Reis Júnior pelas contribuições para o enriquecimento desta pesquisa;

Agradeço também, às empresas construtoras que tornaram possível a pesquisa de campo, permitindo o nosso acesso aos canteiros e proporcionando pessoal para apoiar a realização das atividades do nosso estudo;

À minha família pela torcida, em especial ao meu Esposo pela paciência e grande contribuição.

Não sei se a vida é curta ou longa para nós, mas sei que nada do que vivemos tem sentido, se não tocarmos o coração das pessoas. Muitas vezes basta ser: colo que acolhe, braço que envolve, palavra que conforta, silêncio que respeita, alegria que contagia, lágrima que corre, olhar que acaricia, desejo que sacia, amor que promove.

É isso não é coisa de outro mundo, é o que dá sentido à vida. É o que faz com que ela não seja nem curta, nem longa demais, mas que seja intensa, verdadeira, pura enquanto durar. “Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”.

Cora Coralina (1889-1985)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.2	GESTÃO SUSTENTÁVEL EM CANTEIROS DE OBRAS	26
1.3	POLUIÇÃO DO AR E MATERIAL PARTICULADO	30
1.4	PROBLEMA DE PESQUISA.....	32
1.5	CONTEXTO DA PESQUISA	34
1.6	QUESTÕES DE PESQUISA	36
1.6.1	Questão Principal.....	36
1.6.2	Questões Secundarias.....	36
1.7	OBJETIVOS	36
1.7.1	Objetivo Geral.....	36
1.7.2	Objetivos Específicos	36
1.8	HIPÓTESES DE PESQUISA	37
1.9	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	37
1.10	ESTRUTURA DO TRABALHO	38
2	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E MATERIAL PARTICULADO	39
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	39
2.1.1	Fontes de Poluição.....	40
2.1.2	Poluentes Atmosféricos.....	40
2.1.3	Efeitos da Poluição Atmosférica.....	42
2.1.4	Parâmetros Meteorológicos e Outros Parâmetros.....	47
2.2	MATERIAL PARTICULADO	50
2.2.1	Composição Química do Material Particulado.....	54
2.2.2	Distribuição Granulométrica do Material Particulado	55
2.3	MONITORAMENTO DO MATERIAL PARTICULADO	55
2.3.1	Tipos de Amostragem	61
2.4	TIPOS DE ANÁLISE PARA O MATERIAL PARTICULADO	63
2.4.1	Determinação da massa	63

2.4.2	Caracterização Química	63
2.5	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	65
2.6	MATERIAL PARTICULADO NO CANTEIRO DE OBRAS	69
2.6.1	Fase de Obra Bruta na Construção de Edificações.....	73
2.7	MEDIDAS DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM CANTEIROS DE OBRAS	74
3	MÉTODO DE PESQUISA	78
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	78
3.2	DILINEAMENTO DA PESQUISA	79
3.2.1	Equipamentos Utilizados	81
3.3	DETALHAMENTO DO ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISES	84
3.3.1	Caracterização dos Canteiros Estudados	84
3.3.2	Coleta de Dados.....	85
3.3.3	Análise das Amostras	89
3.3.3.1	Análise da taxa de sedimentação	89
3.3.3.2	Análise Gravimétrica (massa)	90
3.3.3.3	Análise Química com Fluorescência de Raio-X	92
3.3.4	Análise dos Resultados	94
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	95
4.1	CANTEIRO DE OBRAS 1	95
4.1.1	Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 1	96
4.1.2	Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 1	99
4.1.3	Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 1	111
4.2	CANTEIRO DE OBRAS 2	112
4.2.1	Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 2.....	114
4.2.2	Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 2	115
4.2.3	Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 2.....	129

4.3	CANTEIRO DE OBRAS 3	130
4.3.1	Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 3	131
4.3.2	Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 3	132
4.3.3	Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 3	145
4.4	CANTEIRO DE OBRAS 4	146
4.4.1	Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 4.....	147
4.4.2	Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 4	149
4.4.3	Considerações sobre os resultados obtidos no canteiro de obras 4	160
4.5	CANTEIRO REFERÊNCIA	161
4.5.1	Identificação da direção predominante do vento	161
4.5.2	Medição da Concentração do material particulado no Canteiro de Obras Referência	162
4.5.3	Análise quantitativa e qualitativa do material particulado no Canteiro de Obras Referência no Ponto Fixo	166
4.5.4	Análise quantitativa e qualitativa do ponto 2.....	167
4.6.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	171
4.6.1	Fatores Meteorológicos que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras.....	174
4.6.2	Atividades de construção na fase de obra bruta que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras.....	175
4.6.3	Relação entre os resultados obtidos nas coletas das amostras de material particulado com a utilização dos amostradores <i>MiniVols</i> e dos <i>Sticky Pads</i>	175
4.6.4	Existe relação entre os níveis de concentração de material particulado gerados nos diferentes canteiros de obras estudados	180
5.	CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS	182
5.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	185
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	185

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	186
ANEXO A (Protocolo de coleta do Material Particulado)	196
ANEXO B (Manual de Operação)	209
APÊNDICE A (Diário de Campo para coleta dos dados)	214
APÊNDICE B (Médias diárias da direção do vento – Canteiro 1)	216
APÊNDICE C (Gráficos de correlação das variáveis meteorológicas x concentração) ...	220
APÊNDICE D (Dados da Análise Química)	224
APÊNDICE E (Médias diárias da direção do vento - Canteiro 2)	228
APÊNDICE F (Gráficos de Correlação das variáveis meteorológicas x concentração) ...	231
APÊNDICE G (Dados da Análise Química)	234
APÊNDICE H (Médias diárias da direção do vento - Canteiro 3)	237
APÊNDICE I (Gráficos de correlação das variáveis meteorológicas x concentração)	240
APÊNDICE J (Dados da Análise Química)	245
APÊNDICE L (Médias diárias da direção do vento - Canteiro 4)	249
APÊNDICE M (Gráficos de Correlação das variáveis meteorológicas x concentração) .	252
APÊNDICE N (Dados da Análise Química)	257

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema representativo da relação dos aspectos e impactos ambientais	28
Figura 2: Áreas de deposição de partículas no sistema respiratório humano	44
Figura 3: Classificação do material particulado com base nas suas propriedades	51
Figura 4: Comparação entre partículas (MP10; MP2,5 e Partículas Ultrafinas)	52
Figura 5: Delineamento da pesquisa	80
Figura 6: Amostrador Portátil <i>MiniVol</i>	81
Figura 7: Impactador para separação de partículas por tamanho	82
Figura 8: Adesivo <i>Sticky Pad</i>	83
Figura 9: Estação Meteorológica <i>VANTAGE VUE DAVIS</i> e console	84
Figura 10: Esquema da montagem dos equipamentos para medição do material particulado no canteiro de obras	87
Figura 11: Fixação dos equipamentos nos andaimes	87
Figura 12: Coleta da poeira sedimentável com os <i>Sticky Pads</i>	88
Figura 13: Refletômetro para leitura dos <i>Sticky Pads</i>	89
Figura 14: Balança com precisão nominal de 1 µg e aparelho para deseletrização de cargas elétricas dos filtros	90
Figura 15: EDX 700 HS utilizado para quantificação elementar das amostras	93
Figura 16: Carrossel para análise elementar das amostras	93
Figura 17: Foto Aérea da localização do canteiro 1	95
Figura 18 a: Posicionamento da estação ponto1 (Entrada do canteiro)	96
Figura 18 b: Posicionamento da estação – Ponto 2 (saída do canteiro do canteiro)	96
Figura 19: Direção predominante do vento (Entrada do canteiro)	97
Figura 20: Direção predominante do vento (Saída do canteiro)	97
Figura 21: Fase de obra bruta Canteiro 1	99
Figura 22 a: Coleta de material particulado utilizando os amostradores <i>MiniVol</i> se os <i>Sticky Pads</i> (Entrada e saída do canteiro)	99
Figura 22 b: Coleta do material particulado utilizando os <i>MiniVols</i> e os <i>Sticky Pads</i> (parte posterior do canteiro)	99

Figura 23: Simetria e variabilidade das amostras de PTS (Entrada e saída)	103
Figura 24: Simetria e variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e saída)	103
Figura 25: Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Entrada Canteiro 1).....	105
Figura 26: Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Saída do Canteiro1)	105
Figura 27: Via secundária em frente ao Canteiro 1	107
Figura 28: Gráfico de Correlação x Velocidade MP10 Entrada do Canteiro 1	108
Figura 29: Gráfico de Correlação x Velocidade MP10 Saída da do Canteiro 1	108
Figura 30: Análise Química do Material Particulado MP10 Entrada do Canteiro	110
Figura 31: Análise Química do Material Particulado MP10 Saída do Canteiro	110
Figura 32: Foto Aérea da localização do Canteiro 2	113
Figura 33: Posicionamento da estação meteorológica - Ponto 1 (Saída do Canteiro).....	113
Figura 34: Direção predominante do vento (Parte saída do canteiro).....	114
Figura 35a: Equipamentos instalados na entrada do canteiro.....	115
Figura 35b: Equipamentos instalados na saída do canteiro	115
Figura 36: Coleta do material particulado utilizando os adesivos <i>Sticky Pads</i>	115
Figura 37: Fase de obra bruta do Canteiro 2	116
Figura 38: Simetria e Variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e Saída).....	119
Figura 39: Simetria e Variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e Saída).....	120
Figura 40: Perfil do material particulado na entrada do canteiro.....	122
Figura 41: Perfil do material particulado na saída do canteiro	122
Figura 42: Via de movimentação de veículos em frente ao canteiro	123
Figura 43a: Movimentação de caminhões betoneira no canteiro	123
Figura 43b: Movimentação de caminhões betoneira no canteiro	123
Figura 44: Gráficos de Correlação da Concentração x Precipitação MP10 Entrada.....	124
Figura 45: Gráficos de Correlação da Concentração x Precipitação MP10 Saída	124
Figura 46: Gráficos de Correlação da Concentração x Precipitação PTS Saída	124
Figura 47: Gráficos de Correlação Concentração x Velocidade PTS Entrada.....	125
Figura 48: Gráficos de Correlação da Concentração x Velocidade PTS Saída.....	125
Figura 49: Gráficos de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 Saída.....	126
Figura 50: Gráficos de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 Saída.....	126
Figura 51: Análise Química da Fração MP10 Entrada	127

Figura 52: Análise Química da Fração MP10 Saída	128
Figura 53: Foto Aérea da localização do Canteiro 3	131
Figura 54: Direção predominante do vento	132
Figura 55: Instalação da Estação Meteorológica	132
Figura 56: Posicionamento dos <i>MiniVols</i> e <i>Sticky Pads</i> (frente e lateral do canteiro)	133
Figura 57: Fase de obra bruta 1 do Canteiro 3	133
Figura 58: Fase de obra bruta 2 do Canteiro 3	134
Figura 59: Simetria e Variabilidade das amostras de PTS (Entrada e Saída)	137
Figura 60: Simetria e Variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e Saída)	138
Figura 61: Perfil do Material Particulado PTS e MP10 Entrada.....	141
Figura 62: Perfil do Material Particulado PTS e MP10 Saída	141
Figura 63: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade do vento PTS (Entrada)	142
Figura 64: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade do vento PTS (Saída)	142
Figura 65: Composição Química do MP10 (Entrada do Canteiro)	144
Figura 66: Composição Química do MP10 (Saída do Canteiro)	144
Figura 67: Foto Aérea da localização do canteiro 4	147
Figura 68: Direção do vento predominante	148
Figura 69: Ponto 1 (Ponto de instalação da Estação Meteorológica)	149
Figura 70: Fase de obra bruta Canteiro 4	149
Figura 71: Coleta de material particulado (Entrada do canteiro)	150
Figura 72: Coleta do material particulado (Saída do canteiro)	150
Figura 73: Simetria e variabilidade das amostras de PTS (Entrada do canteiro)	154
Figura 74: Simetria e variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e saída do canteiro)	154
Figura 75: Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Entrada do canteiro)	156
Figura 76: Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Saída do canteiro)	156
Figura 77: Correlação da Concentração x Precipitação PTS (Saída do canteiro)	157
Figura 78: Correlação da Concentração x Precipitação MP10 (Saída do canteiro)	157
Figura 79: Composição Química do Material Particulado MP10 (Entrada)	159
Figura 80: Composição Química do Material Particulado MP10 (Saída)	159
Figura 81: Foto aérea do Canteiro Referência.....	162
Figura 82: Localização dos pontos de amostragens	163

Figura 83: Equipamentos no (a) Ponto Fixo e (b) Ponto 2	163
Figura 84: MP10 (8 horas) – Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)	167
Figura 85: Gráfico de evolução das concentrações de PTS, MP10, MP2,5 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Ponto 2	168
Figura 86: Percentual dos elementos químicos das amostras de MP10 DO Ponto 2 – Fase 2	170
Figura 87: Gráfico de Correlação Concentração x Leitura <i>sticky pads</i> Entrada do Canteiro 2	177
Figura 88: Gráfico de Correlação Concentração x Leitura <i>sticky pad</i> Saída do Canteiro 2	178
Figura 89: Gráfico de Correlação Concentração x Leitura <i>sticky pad</i> Entrada do Canteiro 3	178
Figura 90: Gráfico de Correlação Concentração x Leitura <i>sticky pad</i> Saída do Canteiro 3	178
Figura 91: Gráfico de Correlação Concentração x Leitura <i>sticky pad</i> Entrada do Canteiro 4	179
Figura 92: Gráfico de Correlação Concentração x Leitura <i>sticky pad</i> Saída do Canteiro 4	179
Figura 93: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação PTS entrada.....	221
Figura 94: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação PTS saída	221
Figura 95: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação MP10 entrada.....	221
Figura 96: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação MP10 saída	221
Figura 97: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS entrada.....	222
Figura 98: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS saída	222
Figura 99: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 entrada.....	222
Figura 100: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 saída	223
Figura 101: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS entrada	223
Figura 102: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS saída.....	223
Figura 103: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação PTS entrada.....	232
Figura 104: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS entrada.....	232
Figura 105: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS entrada	232
Figura 106: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS saída.....	233
Figura 107: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 entrada	233

Figura 108: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 saída.....	233
Figura 109: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação PTS entrada.....	241
Figura 110: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação PTS saída	241
Figura 111: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação MP10 entrada.....	241
Figura 112: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação MP10 saída	242
Figura 113: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS entrada.....	242
Figura 114: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS saída	242
Figura 115: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 entrada.....	243
Figura 116: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 saída	243
Figura 117: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 entrada	243
Figura 118: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 saída.....	244
Figura 119: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 Entrada.....	253
Figura 120: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 saída	253
Figura 121: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS entrada.....	254
Figura 122: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS saída	254
Figura 123: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS entrada.....	255
Figura 124: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS saída	255
Figura 125: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 entrada	256
Figura 126: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 saída.....	256
Figura 127: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação MP10 Entrada	261
Figura 128: Gráfico de Correlação Concentração x Precipitação PTS Entrada	261
Figura 129: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 Entrada.....	261
Figura 130: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade MP10 Saída.....	262
Figura 131: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS Entrada	262
Figura 132: Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS Saída	262
Figura 133: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 Entrada	263
Figura 134: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade MP10 Saída.....	263
Figura 135: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS Entrada	263
Figura 136: Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS Saída	264

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Informações sobre cada fração de material particulado.....	53
Quadro 2: Efeitos Nocivos potenciais da concentração de material particulado a partir dos canteiros de obras.....	71
Quadro 3: Relação de materiais usados na fase de obra bruta na construção	73
Quadro 4: Medidas de Controle de Caráter Geral	76
Quadro 5: Características dos canteiros de obras estudados	85
Quadro 6: Período de Estudo	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porcentagens em massa de poeira inalável, torácica e respirável.....	45
Tabela 2: Perfis de composição das fontes	54
Tabela 3: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/1990)	66
Tabela 4: Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar (Resolução CONAMA nº 03de 28/06/1990).....	67
Tabela 5: Critérios de Qualidade do Ar adotados no mundo	67
Tabela 6: Valores de Referência do incômodo gerado	90
Tabela 7: Variáveis meteorológicas do Período 1	98
Tabela 8: Variáveis meteorológicas do Período 2	98
Tabela 9: Variáveis meteorológicas do Período de coleta	100
Tabela 10: Resultados das amostras no período de coleta do Canteiro de obras 1. EAC, <i>effective area coverage</i>	101
Tabela 11: Variáveis meteorológicas do período de estudo 1.....	114
Tabela 12: Variáveis Meteorológicas do período de coleta	117
Tabela 13: Resultados das amostras no período de coleta do Canteiro de obras 2. EAC, <i>effective area coverage</i>	118
Tabela 14: Variáveis Meteorológicas do período 1	131
Tabela 15: Variáveis Meteorológicas do período de coleta	135
Tabela 16: Resultados das amostras no período de coleta do Canteiro de obras 3. EAC, <i>effective area coverage</i>	136
Tabela 17: Variáveis Meteorológicas do período 1	148
Tabela 18: Variáveis Meteorológicas do período de coleta	151
Tabela 19: Resultados das amostras no período de coleta do Canteiro de obras 4. EAC, <i>effective area coverage</i>	152
Tabela 20: Variáveis Meteorológicas – Fase 2.....	164
Tabela 21: Resultados das concentrações das amostras no período de coleta do Canteiro Referência.....	165

Tabela 22: Estatística descritiva das concentrações de PTS e MP10 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos quatro canteiros estudados e no Canteiro Referência.....	171
Tabela 23: Variáveis meteorológicas dos pontos máximos e mínimos das concentrações de PTS e MP10 nos canteiros estudados	172
Tabela 24: Resumo das atividades construtivas e métodos de controle de poeira nos canteiros estudados.....	173
Tabela 25: Síntese dos Percentuais dos Elementos Químicos presentes nas amostras de MP10 nos quatro canteiros e Canteiro Referência	173
Tabela 26: Leitura dos <i>Sticky Pads</i> – EAC%. Área de Cobertura Efetiva nos dias de mínima e máxima concentração de PTS	174
Tabela 27: Diário de Campo para coleta de dados	215
Tabela 28: Médias diárias da direção do vento no Período 1.....	217
Tabela 29: Médias diárias da direção do vento no Período 2.....	218
Tabela 30: Média diária das direções do vento no Período de Coleta.....	219
Tabela 31: Elementos Químicos presentes na entrada do canteiro	225
Tabela 32: Estatística dos elementos Químicos da entrada do canteiro	225
Tabela 33: Elementos Químicos presentes na saída do canteiro.....	226
Tabela 34: Estatística dos elementos Químicos da saída do canteiro	226
Tabela 35: Porcentagem dos elementos químicos	227
Tabela 36: Porcentagem dos elementos químicos mais presentes	227
Tabela 37: Médias diárias da direção do vento no Período 1.....	229
Tabela 38: Média diária das direções do vento no Período de Coleta.....	230
Tabela 39: Elementos Químicos presentes na entrada do canteiro	235
Tabela 40: Estatística dos elementos químicos da entrada do canteiro.....	235
Tabela 41: Elementos químicos presentes na saída do canteiro.....	235
Tabela 42: Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro	235
Tabela 43: Porcentagem dos elementos químicos	236
Tabela 44: Porcentagem dos elementos químicos mais presentes	236
Tabela 45: Médias diárias da direção do vento no Período 1.....	238
Tabela 46: Média diária das direções do vento no Período de Coleta.....	239
Tabela 47: Elementos Químicos presentes na entrada do canteiro	246

Tabela 48: Estatística dos elementos químicos da entrada do canteiro	246
Tabela 49: Elementos Químicos presentes na saída do canteiro	247
Tabela 50: Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro	247
Tabela 51: Porcentagem dos elementos químicos	248
Tabela 52: Porcentagem dos elementos químicos mais presentes	248
Tabela 53: Médias diárias da direção do vento no Período 1	250
Tabela 54: Média diária das direções do vento no Período de Coleta.....	251
Tabela 55: Elementos Químicos presentes na entrada do canteiro	258
Tabela 56: Estatística dos elementos químicos da entrada do canteiro	258
Tabela 57: Elementos químicos presentes na saída do canteiro.....	259
Tabela 58: Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro	259
Tabela 59: Porcentagem dos elementos químicos	260
Tabela 60: Porcentagem dos elementos químicos mais presentes	260

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AEA	American Economic Association Technology
AFG	Amostrador Fino e Grosso
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BRE	Building Research Establishment
CANTECHIS	Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentáveis
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFR	Código de Regulamentos Federais
CH₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DEFRA	Department for Environmental, Food and Rural Affairs
EAC	Área Efetiva Coberta
EDX	Energia Dispersiva de Raio-X
EPA	Environment Protection Act
FINEP	Financiadora Nacional de Projetos
FMC	Fumaça
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLA	London Authority
HIS	Habitação de Interesse Social

HiVol	Amostrador de Grande Volume
H₂S	Ácido Sulfídrico
HNO₃	Ácido Nítrico
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
ISO	International Organization for Standardization
LAPAT	Laboratório de Análises e Processos Atmosféricos
MOUDI	Micro Orifice Uniform Deposit Impactor
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
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
NBR	Norma Brasileira
NH₃	Amônia
NO	Oxido de nitrogênio
NO₂	Dióxido de nitrogênio
N₂O	Oxido nitroso
NOX	Número de Oxidação
O₃	Ozônio
Pb	Chumbo
PIXE	Emissão de raios-x por partículas induzidas
PNOC	Particulates not Otherwise Classified

PNOS	Partículas não especificadas de outra maneira
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SO₂	Dióxido de enxofre
ROG	Reactive Organic Gases
SPEMP	Sub-projeto para Desenvolvimento de Soluções para Redução da Emissão de Material Particulado
SSSIs	Locais de interesse científico especial
TEOM	Tapered Element Oscilating Monitor
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USGBC	United States Green Building Council
USP	Universidade de São Paulo
XRF	Fluorescência de Raio-X
WinQXAS	Windows X-Ray Analysis

MORAES, Rita Jane Brito de. Avaliação da emissão do material particulado proveniente de canteiros de obras habitacionais na fase de estruturas e alvenaria. 264 fls.il. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica, 2015.

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das principais causadoras de impactos no meio ambiente, durante toda a fase da obra. Um dos impactos gerados que merece atenção especial dos pesquisadores é a poluição do ar por emissão de material particulado, devido aos impactos e incômodos causados tanto na saúde do trabalhador, quanto na vizinhança da obra.

Entretanto poucos são os estudos específicos que identificam e quantificam as poeiras existentes nesses ambientes, bem como não existem parâmetros e limites nacionais para este tipo de emissão. A legislação brasileira não estabelece padrões de qualidade do ar levando em consideração a fonte geradora canteiro de obra, nem tampouco a composição química dos materiais gerados, levando apenas em consideração a concentração em termos de massa o que pode representar um risco potencial tóxico significativo.

O presente trabalho teve como objetivo determinar a concentração de material particulado proveniente dos canteiros de obras estudados, na fase de obra bruta, nas frações PTS e PM10, bem como os elementos químicos que fazem parte da composição deste material. Buscou-se ainda avaliar comparativamente as concentrações do material particulado obtidas nos quatro canteiros de obra estudados, além do canteiro adotado como referência pesquisado por Araújo (2014), identificando os fatores meteorológicos que influenciaram na variação da concentração, a existência de atividades construtivas potencialmente geradoras de material particulado, além de avaliar a correlação entre os diferentes métodos de coleta adotados.

O estudo experimental foi desenvolvido em quatro canteiros de obras habitacionais que não utilizaram as boas práticas para minimização das emissões de material particulado e impactos na vizinhança das obras, durante no mínimo 11 dias de trabalho nos canteiros e um dia de obra parada (Domingo), durante 8 horas diárias. Para coleta do material particulado e determinação das concentrações foram utilizados os amostradores *MiniVols* e para coleta da poeira sedimentável, os adesivos *sticky pads*, além de uma estação meteorológica portátil para determinação das variáveis meteorológicas. Para caracterização das amostras foi realizada a análise física de gravimetria e a análise química de Raio-X. As amostras do *sticky pads* foram submetidas a análise de Refletância. Foi realizada uma análise comparativa dos níveis de emissão dos quatro canteiros estudados com o canteiro referência, em função das variáveis meteorológicas obtidas em cada dia, das principais atividades construtivas desenvolvidas no período de coleta e da composição química das amostras.

A principal contribuição deste estudo é o melhor entendimento do comportamento do material particulado em canteiros de obra, sua composição, as variáveis meteorológicas e as atividades construtivas que mais influenciaram na sua concentração e os fatores que interferem nos resultados da coleta. Este estudo contribui ainda com a formação de futuras bases de dados de emissão de material particulado em canteiros de obra, que é fundamental para identificação de futuros parâmetros ou faixas de valores que determinem se o canteiro apresenta alto grau de emissão de material particulado, bem como possibilitem avaliar as soluções mais adequadas para mitigação desta emissão durante as diferentes fases de execução da obra.

Palavras Chaves: Poluição Atmosférica, Material Particulado, Canteiros de obras.

MORAES, Rita Jane de Brito. Evaluation of the particulate matter emission from jobsites focusing on concrete and masonry works. 264 fls.il. 2015. Thesis (MS) - Federal University of Bahia - Polytechnic School, 2015.

ABSTRACT

The construction industry is one of the main causes of environmental impacts during the life cycle of the building. One of those impacts, which deserve great attention, is the emission of particulate matter due to the discomfort and possible healthy diseases caused to workers and neighboring area.

However, few specific studies seek to identify and quantify the existing dust from the construction sites, and there is a lack of national or international value limits for the particulate emission during construction. Brazilian regulations does not establish air quality standards taking into account the generating source on construction site, nor the chemical composition of materials generated, only taking into account the concentration of mass which may represent a toxic potential significant.

This study aimed to determine the concentration of particulate material from construction sites during reinforce concrete structure and masonry construction phases for PTS and PM10 fractions as well as the chemical elements that make up the composition of this material. In addition, this study aims to evaluate comparatively the concentrations of particulate matter obtained from four construction sites studied and the construction site adopted as reference (Araújo, 2014), identifying the meteorological variables that influenced the variation the concentration, the existence of constructive activities which potentially generating the particulate matter, as well as the correlation between two different data collection methods adopted.

The experimental study was conducted in four residential construction sites, which did not use any practices for minimizing the emissions of particulate matter and the impacts in neighboring area. The measurement of particulate matter emission from the construction sites held for at least 11 work days and one day off (Sunday) during 8 hours a day. MiniVols samplers were used to collect the particulate matter and to determine its concentrations; sticky pads adhesives were used to collect the settleable dust and to determine the sedimentation rate, and a portable weather station were adopted to determine the meteorological variables. Spreadsheet was used to collect data about the construction activities performed during the days of the measurement. Physical gravimetric analysis and X-Ray chemical analysis was carried out for samples' characterization. The samples of the sticky pads were subjected to reflectance analysis. Comparative data analysis was performed through data obtained from the four construction sites studied and the reference construction site, including the emission levels, the meteorological variables, the main construction activities performed during the period and the chemical composition.

The main contribution of this study is a better understanding of particulate matter behavior on construction sites, its composition, the meteorological variables and constructive activities that most influenced in its concentration and the factors that interfere the results of the data collection. Moreover, this study contributes to the creation of a database with particulate matter concentration data from construction sites, which is important for identifying further parameter or reference values which provide information to determine the level of particulate matter emission of the site, enabling the adoption of mitigating measures to reduce the impact of those emission for workers and neighboring area during the different construction phases.

Key Words: Air Pollution, Particulate Matter, Jobsites.

1. INTRODUÇÃO

1.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A indústria da construção civil pode ser considerada como uma das maiores causadoras de impactos ambientais, visto que causam sérios danos ao meio ambiente, desde a fase de extração de recursos naturais não renováveis e necessários à produção de materiais, até a fase de geração de resíduos e, conseqüente, poluição, que podem ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos – construção, manutenção, reformas e demolição (RESENDE; CARDOSO, 2007). As atividades de construção são consideradas como um dos principais obstáculos para o desenvolvimento sustentável (WETHERILL *et al.*, 2007), por causarem desperdício de recursos, poluição ambiental e os problemas de segurança nos países em desenvolvimento (UNITED STATE GREEN BUILDING COUNCIL - USGBC, 2001).

Segundo Jacobi (1999), o quadro socioambiental que caracteriza as sociedades contemporâneas revela que os impactos dos humanos sobre o meio ambiente estão se tornando cada vez mais complexos. Este quadro surge para dar resposta à necessidade de harmonizar as dimensões ambientais com as socioeconômicas, maximizando a produção dos ecossistemas para favorecer as necessidades humanas presentes e futuras. Estas dimensões explicitam a necessidade de tornar compatível a melhoria da qualidade de vida com a preservação ambiental invertendo a tendência autodestrutiva dos processos de desenvolvimento em detrimento aos abusos contra a natureza (JACOBI, 1999).

A partir dessa nova visão de produção surge o conceito de desenvolvimento sustentável, o qual implica em um novo modelo de desenvolvimento que passa a incorporar e avaliar todos os impactos das atividades de produção e consumo. Esse modelo preocupa-se desde a extração da matéria prima até o destino final do produto após sua utilização (DUNDEE CITY COUNCIL, 2006; WAHLSTRÖM, M. *et al.*, 2014).

As atividades de construção sempre causam impactos ambientais indesejáveis, mas a aplicação dos princípios de construção sustentável pode reduzir tais impactos ambientais (OFORI, 2000; GEHLEN, 2008). Segundo Araújo (2008) e Ofori (2000), pode-se considerar a moderna construção sustentável como sendo uma construção que visa promover intervenções sobre o meio ambiente, considerando suas condições de uso, produção e consumo humano, sem findar com os recursos naturais. Este tipo de construção utiliza materiais que causam menos impacto ambiental, além de alternativas tecnológicas inteligentes

que contribuam para maior sustentabilidade, além de prevê a redução das emissões (ARAÚJO, 2008).

No que diz respeito à evolução tecnológica do setor, a construção civil ao longo dos tempos vem desenvolvendo processos mais adequados com métodos cada vez mais práticos e eficientes, com a redução de perdas e consumo, menor geração de resíduos, emissões, etc. Como exemplos destas práticas pode-se citar: vedações verticais com gesso acartonado, estruturas pré-moldadas de concreto e aplicação de lajes nervuradas ou de concreto protendido, entre outros (MARTINS, 2009).

1.2 GESTÃO SUSTENTÁVEL EM CANTEIROS DE OBRAS

Um empreendimento sustentável não é definido só pelos benefícios ambientais e sociais no seu uso e operação, mas também na sua construção (MARTINS, 2010). A fase de execução de uma obra pode causar sérios danos e impactos à vizinhança e ao meio ambiente, como a exaustão dos recursos naturais renováveis e não renováveis ou desperdício de recursos naturais, a desconfiguração do solo, perda da biodiversidade, poluição do ar e da água por uma má gestão do canteiro de obras (MARTINS, 2010).

Para que as construções sejam consideradas ambientalmente corretas ou possam contribuir para o desenvolvimento sustentável, é preciso que adotem procedimentos que atendam aos requisitos da gestão dos canteiros de obras e da utilização de práticas mais sustentáveis (DEGANI, 2003).

Como exemplo desta postura pode-se citar os resultados do trabalho de Gangolells *et al.* (2009), que apresenta uma abordagem sistemática para lidar com os potenciais impactos ambientais adversos na fase de pré-construção. A metodologia proposta serve como uma ferramenta de avaliação para projetos de construção para medir o desempenho ambiental de suas atividades de construção, fornecendo uma base consistente para comparações e para o futuro da rotulagem ecológica e adoção de melhores práticas ambientais entre construtoras e canteiros de obras.

Nacionalmente, Gehlen (2008) abordou a sustentabilidade e a sua aplicação nos canteiros de obras. Neste trabalho, a autora propõe que a sustentabilidade não é um conjunto de regras fixas, mas uma série de práticas que vão se aprimorando a medida que os agentes da cadeia produtiva atingem as metas iniciais. O estudo mostra o papel das construtoras enquanto agentes vetores de mudanças na cadeia produtiva da construção civil e como um canteiro de

obras sustentável pode ser atingido por meio da aplicação de ações estratégicas tais como, compra responsável; relação com a comunidade; gestão de saúde e segurança ocupacional; projeto de gestão da qualidade; redução das perdas de materiais; gestão de resíduos sólidos; uso e ocupação do solo (implantação do canteiro); consumo de água; consumo de energia e transporte; conservação de fauna e flora local; e educação dos colaboradores. Este estudo buscou contribuir com a formação de uma base de dados para o desenvolvimento do setor, sendo traçado o panorama das práticas adotadas em canteiros de obras no Distrito Federal, mostrando como o aprimoramento é alcançado gradativamente pelo setor.

Outro exemplo nacional é o trabalho de Guimarães (2013), que teve como objetivo principal propor diretrizes para o desenvolvimento de canteiro de obras habitacional de baixo impacto. Como resultado, este trabalho identificou 44 necessidades prioritárias de pesquisa e soluções tecnológicas de sustentabilidade relativas a consumo de materiais, uso racional de água, eficiência energética, emissão de materiais particulados, instalações provisórias, saúde e segurança do trabalhador, novas tecnologias para as instalações provisórias. Identificou ainda como e por que as diretrizes e práticas são adotadas pelos canteiros, bem como as carências que dificultam a adoção destas diretrizes sustentáveis.

Como desdobramento do estudo de Guimarães (2013), foi desenvolvido o estudo de Thomas (2013) que teve como objetivo implantar soluções para a realização de canteiro de obras de baixo impacto ambiental na Nova Sede do Sinduscon-BA, empreendimento este, construído dentro dos critérios de sustentabilidade do Processo de Alta Qualidade Ambiental (AQUA), visando a criação de uma metodologia de implantação de canteiro de obras de baixo impacto ambiental. Após uma avaliação profunda do processo de implantação do canteiro, aliados aos estudos paralelos identificaram-se barreiras, limitações e necessidades dos diferentes intervenientes da indústria da construção civil, seja pelo setor privado, da indústria, do governo e da academia.

Os estudos de Guimarães (2013) e Thomas (2013) contribuíram para a identificação de indutores estratégicos para a realização de uma nova política para a Ciência, Tecnologia e Inovação no que diz respeito à sustentabilidade ambiental na construção civil, que está sendo elaborada pelo Projeto CANTECHIS - Tecnologias para Canteiro de Obras Sustentável de Habitações de Interesse Social (HIS), que é uma rede de pesquisa nacional apoiada pela FINEP formada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade de São Paulo (USP), Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal da Bahia (UFBA).

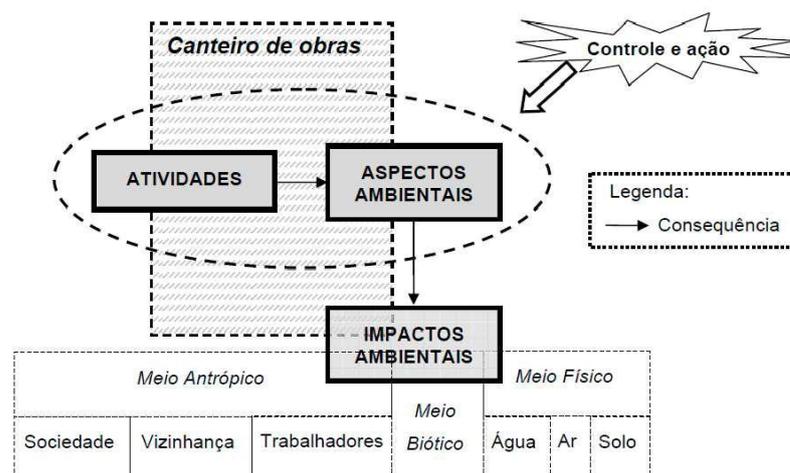
Diante dos estudos apresentados, entende-se como importante a redução dos impactos ou modificações adversas do ambiente causadas pela etapa de construção. As atividades desenvolvidas trazem como consequência elementos que podem interagir com o ambiente, sobre os quais a equipe de obra pode agir e ter controle, os chamados “aspectos ambientais” (CARDOSO; ARAÚJO, 2007).

A NBR ISO 14001 define aspecto ambiental como “o elemento das atividades ou produtos e serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente”, cuja significância é dada pelo seu poder de gerar um impacto ambiental significativo, em intensidade ou frequência (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2004).

De modo geral, “as atividades de construção civil geram aspectos ambientais, que por sua vez provocam impactos ambientais, que atingem o meio ambiente (meios físico, biótico e antrópico) alterando suas propriedades naturais” (ARAÚJO, 2009).

Desta forma, deve-se empregar o controle dos aspectos ambientais das atividades do canteiro de obras de forma a evitar os impactos ambientais. A Figura 1 apresenta o esquema representativo da relação entre aspecto e impacto ambiental no canteiro de obras.

Figura 1 - Esquema representativo da relação dos aspectos e impactos ambientais



Fonte: Araújo (2009)

Segundo Degani (2003) os aspectos ambientais podem ser divididos nos seguintes temas:

- Recursos:** consumo de recursos, consumo e desperdício de água e de energia;
- Incômodos e poluição:** geração de resíduos perigosos, emissão de vibração, emissão de ruído e de material particulado;

- c) **Resíduos:** queima de resíduos, manejo de resíduos;
- d) **Infraestrutura do canteiro de obras:** supressão da vegetação, esgotamento de águas servidas, armazenamento de materiais, geração de energia no canteiro, etc.

Outro importante conceito é o impacto ambiental, que pode ser definido como “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2004). Por meio da correlação entre aspectos ambientais e impactos ambientais, pode-se identificar em um canteiro, qual a atividade geradora de cada aspecto ambiental, e também, qual aspecto ambiental é gerador de cada impacto ambiental (ARAÚJO, 2009).

De acordo com Degani (2003), existem alguns aspectos ambientais que estão relacionados com as atividades desenvolvidas nos canteiros e que causam impactos significativos, tais como: geração de resíduos perigosos, geração de resíduos sólidos, emissão de vibração, emissão de ruídos, lançamento de fragmentos, emissão de material particulado, risco de geração de faíscas onde há gases dispersos, desprendimento de gases, fibras e outros.

Ainda segundo Degani (2003), os impactos ambientais derivados das atividades desenvolvidas nos canteiros de obras podem ser divididos em três categorias: impactos ao meio biótico, físico (solo, água e ar), e ao meio antrópico (trabalhadores, vizinhança e sociedade).

- a) **ao meio físico:** alteração das propriedades físicas do sol, contaminação química, indução de processos erosivos, esgotamento de jazidas minerais, deterioração da qualidade do ar, poluição sonora, alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, aumento da quantidade de sólidos, poluição de águas subterrâneas, alteração nos regimes de escoamento e escassez de água.
- b) **ao meio biótico:** interferências na fauna e na flora local; e alteração da dinâmica dos ecossistemas locais e globais.
- c) **ao meio antrópico:** alterações nas condições de saúde, modificações nas condições de segurança, alterações da qualidade paisagística, alterações das condições de saúde dos trabalhadores, incômodos para a comunidade e vizinhança, alteração no tráfego das vias locais, pressões sobre os serviços urbanos; danos aos bens edificados; interferência na drenagem urbana; escassez de energia elétrica e aumento do volume de aterros e resíduos.

Gangoellis *et al* (2009) dividem os aspectos ambientais relativos ao processo construtivo em: emissões atmosféricas, emissões na água, geração de resíduos, alteração no solo, consumo de recursos, questões relacionadas à vizinhança, transporte, efeitos na biodiversidade e situações de emergência.

Dentre as interferências à vizinhança podem ser relacionados os impactos como poluição do ar, da água, poluição sonora, visuais e vibração. Dentre estes impactos, um de grande relevância é a alteração da qualidade do ar causada por emissão de material particulado na atmosfera, que é responsável por danos a fauna e a flora e por muitos problemas respiratórios e cardíacos nas pessoas (CARDOSO; ARAÚJO, 2007).

1.3 POLUIÇÃO DO AR E MATERIAL PARTICULADO

A poluição do ar ocorre quando há alteração e degradação do ar comprometendo os processos fotossintéticos que prejudicam a vegetação, ocorre agressão dos ciclos do nitrogênio, oxigênio e carbono ocasionando as mudanças climáticas, a diminuição da intensidade da luz, afetando o solo e a água, além da saúde humana e dos animais (LISBOA; KAWANO, 2007). A poluição pode ser causada por poluentes lançados na atmosfera, ou por reações químicas que ocorrem entre os gases presentes na própria atmosfera (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 2004).

Um poluente atmosférico pode ser considerado como qualquer substância presente no ar que pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Um destes poluentes de grande relevância é o material particulado devido aos danos que pode causar a saúde humana e animal (Organização Mundial da Saúde - OMS, 2006). O Material Particulado (MP) é um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaça e todo o tipo de material sólido ou líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa do seu pequeno tamanho (CETESB, 2004). Para se determinar a concentração de material particulado no ar, podem ser adotados os seguintes parâmetros: Partículas Totais em Suspensão (PTS), com diâmetro menor que 100 micra; Partículas Inaláveis (PM10), com diâmetro menor que 10 micra; bem como Partículas Inaláveis finas (PM2,5) (CETESB, 2004).

As emissões antrópicas são em grande parte responsáveis pelo aumento das concentrações de material particulado (MP) e poluição do ar. As principais fontes antropogênicas incluem combustão de combustíveis fósseis na indústria, transporte e habitação, queima de biomassa na agricultura e desmatamento, e as atividades humanas, como a construção (RESENDE, 2007; MARTINS, 2009), mineração e agricultura (CHEN *et al.*, 2011).

A principal fonte de MP em áreas urbanas é o transporte rodoviário, além da queima de combustíveis fósseis em usinas de energia e fábricas (KELLY, FUSSELL, 2012). O material particulado também pode se formar na atmosfera através de reações químicas no ar de gases como o dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NOX) e compostos orgânicos voláteis (COV), que são emitidos principalmente em atividades de combustão (CETESB, 2004).

Na construção civil, em especial durante a execução da obra, diariamente ocorre geração de poeira. O mecanismo de emissão dessa poeira está relacionado à ação dos ventos que atuam durante a realização de atividades como a mistura e a subdivisão de diversas matérias primas de diferentes granulometrias, tais como: areia, cimento, cal, gesso, argamassas, madeira, cerâmica, granito, aço, entre outras, ou por meio das atividades tais como: fabricação de concreto e argamassa, jateamento de argamassa, corte de aço, corte de madeira, cerâmica e granito, aplicação de gesso, varrição a seco, lixamento de superfícies, escavações, estocagem de pilhas de materiais, quando ao ar livre, das vias de tráfego, especialmente as não pavimentadas, da movimentação de veículos e equipamentos movidos à combustão entre outras atividades, as quais são geradoras de diversos tipos de poeiras que se propagam no ambiente de trabalho e na vizinhança da construção (ENVIRONMENT AGENCY, 2004; RESENDE, 2007; CARDOSO, 2008; MARTINS, 2009).

Os efeitos da inalação dessas poeiras dependem da composição química das substâncias, da concentração e dos mecanismos de defesa do organismo, de suas propriedades irritantes, da duração da exposição e da resposta ou susceptibilidade do indivíduo (MARTINS, 2009).

As doenças pulmonares ocasionadas pela inalação de poeiras inorgânicas são chamadas pneumoconioses. A silicose é um tipo de pneumoconiose ocasionada pela inalação de poeiras contendo partículas finas de sílica livre e cristalina, sendo uma doença pulmonar crônica, incurável e irreversível (GOELZER, 2000).

As poeiras contendo sílica livre cristalina são freqüentemente invisíveis a olho nu e são tão leves que podem permanecer em suspensão por um longo período. Essas poeiras também podem atravessar grandes distâncias, em suspensão no ar, e afetar tanto os trabalhadores quanto a vizinhança que aparentemente não correm risco (NETO, 2007). As partículas em suspensão são extremamente finas e têm grande poder de penetração no sistema respiratório, podendo atingir até os alvéolos, o que as torna altamente prejudiciais à saúde (ALGRANTI, 1995).

No Brasil algumas atividades que apresentam risco de se contrair a silicose são: fabricação de cerâmicas; perfuração de rochas na construção de túneis, barragens e estradas; moagem de quartzo e outras pedras contendo sílica livre e cristalina; execução de trabalhos em marmorarias com granito, ardósia e outras pedras decorativas; escavação de poços e a construção civil (NETO, 2007).

1.4 PROBLEMA DE PESQUISA

O tema emissão de material particulado vem sendo bastante estudado em ambientes como poluição veicular (KADO; KUZMICKY, 2003; GUERREIRO *et al.*, 2011; DRUMM *et al.*, 2014), poluição industrial (ALMEIDA, 1999; LIMA, 2007), já existindo inclusive parâmetros e normas nacionais (Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 1990) e internacionais (*United States Environmental Protection Agency* - USEPA, 2006) para alguns destes casos. Entretanto, estudos sobre material particulado em canteiro de obras ainda são escassos tanto em nível nacional quanto a nível internacional. Alguns projetos internacionais vêm buscando melhorar as estimativas das emissões da construção, tais como *Building Research Establishment* (BRE), *The American Economic Association Technology* (AEA), *Greater London Authority* (GLA), *Department for Environmental, Food and Rural Affairs* (DEFRA) e outros (SADLER, 2005).

Outros estudos internacionais como *Greater London Authority* (2010), *London Councils* (2006) e *Environment Agency* (2004) realizaram levantamentos dos riscos e das atividades geradoras, propondo um controle das emissões por meio do uso de boas práticas, porém não estabelecem limites ou definem uma metodologia para medição do material particulado.

Um estudo internacional desenvolvido em Bragança, na Praça de Camões (FELICIANO *et al.*, 2004), durante a construção de um estacionamento subterrâneo, avaliou a incidência das atividades desta construção sobre a qualidade do ar local, através de medições para

determinação da concentração das massas das frações de tamanhos PTS, PM10 e PM2,5, simultaneamente, em diferentes fases da obra. O estudo demonstrou que a obra motivou um aumento dos níveis locais das três frações de partículas em suspensão, susceptível de causar algum incômodo e problemas de saúde às populações locais. Os principais resultados mostraram claramente que as atividades de construção civil lançam para a atmosfera partículas de vários tamanhos, sendo particularmente preocupante a sua contribuição para o aumento dos níveis da fração PM10, a qual é suscetível de causar efeitos adversos à saúde humana. Foram várias situações em que se registraram excesso do valor-limite de emissão diária (24 horas) para PM10 estabelecido pela OMS (2006) de 50 µg/m³, principalmente na fase de construção.

Uma das pesquisas nacionais que tratam de emissão de material particulado provenientes de canteiro de obras é a de Resende (2007) cujos objetivos foram identificar as fontes potenciais geradoras de material particulado, bem como os principais dispositivos para controle e monitoramento destas emissões. No entanto, neste estudo não foram realizadas medições que quantificassem os níveis de concentração, nem tão pouco estabeleceu uma metodologia para amostragem.

Outro estudo relacionado ao canteiro é o de Martins (2009), que realizou medições das concentrações do material particulado, mas avaliando apenas a exposição ocupacional dos trabalhadores nos seus postos de trabalho. A Norma Regulamentadora - NR 15 e a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) estabelecem limites de exposição para alguns componentes, a exemplo da sílica e possuem uma metodologia para realização das amostragens - Norma de Higiene Ocupacional - NHO 08 (FUNDACENTRO, 2009).

Em muitos países, o poder público tem se mobilizado para criar leis que regulamentem as concentrações de material particulado dos canteiros de obras, a exemplo dos Estados Unidos, pois é reconhecido que o canteiro é uma fonte potencial de efeitos nocivos diversos à saúde humana (RESENDE, 2007). No Brasil as regulamentações legais acerca da concentração de material particulado proveniente de canteiros de obras são inexistentes, não havendo parâmetros nacionais para este tipo de emissão.

De forma geral a legislação nacional e internacional adota valores diferenciados de padrões de qualidade do ar para os principais poluentes atmosféricos. Esses valores são adotados universalmente como indicadores de qualidade do ar (dióxido de enxofre, partículas em suspensão, MP10, MP2,5, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio e dióxido de nitrogênio). Os valores estabelecidos são para concentrações de massa do

material ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e não levam em conta as fontes de emissão diferenciadas, como o canteiro de obras, bem como a composição química deste material, fator importante, pois revela o potencial tóxico e de promoção de agravos à saúde.

Segundo vários autores (RESENDE, 2007; MARTINS, 2009; GREATER LONDON AUTHORITY, 2010), a poluição e os incômodos gerados nos canteiros de obras e vizinhanças são provenientes de diversas fases construtivas, destacando-se as fases de demolição, terraplanagem, superestruturas, vedações e acabamento (RESENDE, 2007).

Dentre as fases supracitadas, a que se caracteriza por uma grande geração de partículas é a terraplanagem, cujo material componente é a terra, porém é inerte e não traz problemas de intoxicação às pessoas, havendo, entretanto, a possibilidade de problemas alérgicos – Consultoria Planejamento e Estudos Ambientais - CPEA 685 (CPEA, 2009). O diâmetro médio das partículas de terra é grande, o que reduz a agressividade à saúde (CPEA, 2009).

Entretanto, a fase de obra bruta¹ e acabamento possuem um potencial poluidor considerável, visto que envolvem um grande número de atividades que favorecem a subdivisão dos materiais com redução do tamanho das partículas e que possuem composição diversa (RESENDE, 2007; MARTINS, 2009). Estudos recentes revelam que os efeitos adversos do material particulado sobre a saúde das pessoas estão relacionados mesmo com baixas concentrações deste material (MAIOLI, 2011).

Diante do quadro apresentado, destaca-se a necessidade de se desenvolver trabalhos que busquem melhorar os métodos de estimativas de material particulado em canteiros de obra, principalmente nas fases de obra que geram maior impacto ao ser humano e ao ambiente, além da necessidade de se criar base de dados atuais que possam ser utilizados como parâmetros para estabelecimento de limites para a concentração de material particulado provenientes especificamente de canteiros de obra.

1.5 CONTEXTO DA PESQUISA

Este trabalho faz parte do Subprojeto para Desenvolvimento de Soluções para Redução da Concentração de Materiais Particulados (SPEMP), que faz parte do Projeto Tecnologias

¹ Entende-se como o termo obra bruta a fase da obra que envolve as estruturas em concreto armado, as escadas e as paredes externas em alvenaria (GEBAUHER, 2002).

para Canteiros de Obra Sustentável em Habitação de Interesse Social, Projeto CANTECHIS. O SPEMP tem como objetivo realizar medições das concentrações do 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. O CANTECHIS é uma rede de pesquisa nacional apoiada pela FINEP formada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade de São Paulo (USP), Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal da Bahia (UFBA).

A primeira fase deste estudo envolveu a aquisição de equipamentos para medição do material particulado, além da elaboração de um protocolo e da proposição de uma metodologia de medição (RESENDE *et al.*, 2013). Ainda na primeira fase foi realizado um estudo piloto para validação do protocolo e da metodologia proposta (ARAÚJO, 2014; ARAÚJO, COSTA, MORAES, 2014).

Os resultados apresentados no estudo de Araújo (2014) e Araújo, Costa e Moraes (2014) evidenciaram que os canteiros de obras lançam no ambiente partícula de vários tamanhos sendo que o perfil apresentado demonstra que as frações MP10 e MP2,5 estão numa faixa de 40% e 17% respectivamente da fração PTS. Partindo do pressuposto que as frações maiores (PTS e MP10) permanecem menor tempo no ambiente por se sedimentarem mais rápido e causarem os maiores incômodos na vizinhança, além de representarem o maior percentual emitido pelos canteiros, identificou-se a relevância de novos estudos destas frações. Além disso, apesar de limitado a um único canteiro, o estudo de Araújo (2014) apresentou maiores valores de concentração na fase de obra bruta.

O estudo de Feliciano *et al.*(2004) realizado em Bragança/ Portugal corrobora com os estudos de Araújo (2014) em que foram encontrados altos valores de concentração para a fração PTS, sendo superiores a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; MP10 superiores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP2,5 inferiores a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Diante deste contexto, o presente trabalho faz parte da segunda etapa do Projeto SPEMP-CANTECHIS, cujo foco é a medição da concentração do material particulado em canteiros de obras que não adotam as boas práticas para controle e minimização das emissões deste particulado, especificamente na fase de obra bruta, pelo fato desta fase ter se revelado com alto potencial para gerar materiais particulados e impactos para a vizinhança da obra. Esta pesquisa seguiu o protocolo de medição para coleta do material particulado conforme Resende *et al.* (2013) e Araújo (2014).

1.6 QUESTÕES DE PESQUISA

1.6.1 Questão Principal

Quais concentrações de material particulado provenientes de canteiros de obras, na fase de obra bruta, e de seus elementos químicos que podem causar incômodos/danos à vizinhança?

1.6.2 Questões Secundárias

- a) Quais fatores meteorológicos influenciam a variação da concentração de material particulado na fase de obra bruta nos canteiros de obras?
- b) Quais as principais atividades de construção na fase de obra bruta que influenciam a variação da concentração de material particulado e de seus elementos químicos nos canteiros de obras?
- c) Qual é a relação entre os resultados obtidos com a aplicação de métodos de coleta do material particulado “*MiniVol*” e “*Sticky Pad*” em canteiros de obras?
- d) Qual a relação dos resultados do presente estudo com o estudo de Araújo (2014)?

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo Geral

Determinar a concentração de material particulado proveniente de canteiros de obras na fase de obra bruta, nas frações PTS (Partículas Totais em Suspensão) e MP10 (Material Particulado 10 micrômetros), bem como os seus elementos químicos.

1.7.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar os fatores meteorológicos que influenciam a variação da concentração de material particulado na fase de obra bruta nos diferentes canteiros de obras.
- b) Identificar as atividades de construção da fase de obra bruta que influenciam a variação da concentração de material particulado e de seus elementos químicos na fase de obra bruta nos diferentes canteiros de obras.

- c) Identificar a existência de relação entre os resultados obtidos com as medições de material particulado utilizando amostradores *MiniVols* e o método dos *Sticky Pads* visando maior economicidade.
- d) Analisar comparativamente as concentrações do material particulado na fase de obra bruta e de seus elementos químicos com o estudo de Araújo (2014).

1.8 HIPÓTESES DE PESQUISA

- e) Existem fatores meteorológicos que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras.
- f) Existem atividades de construção na fase de obra bruta que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras.
- g) Existe relação entre os resultados obtidos nas coletas das amostras de material particulado com a utilização dos amostradores *MiniVols* e dos *Sticky Pads*.
- h) Existe relação entre os níveis de concentração de material particulado gerados nos canteiros de obras.

1.9 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi realizada em quatro canteiros de obras de construção de habitação, localizados na região metropolitana de Salvador.

O presente estudo limita-se a avaliação da concentração de material particulado e de seus elementos químicos na fase de obra bruta, que incluem atividades como elevação de alvenaria, fôrma e desforma, concretagem, produção de argamassa, etc.

A medição da concentração de material particulado limitou-se a utilização de *Mini Vols* e *Sticky Pad* para determinação da concentração de material particulado gerado pelo canteiro que causam impactos/incômodos na vizinhança da obra.

1.10 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 5 (cinco) capítulos, sendo que o primeiro refere-se à introdução do tema, sendo discutido o problema de pesquisa, questões de pesquisa, hipóteses e objetivos geral e específicos, além da delimitação e estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica nacional e internacional sobre os temas Poluição Atmosférica e o Material Particulado com a finalidade de fornecer subsídios teóricos para desenvolvimento do estudo.

O terceiro capítulo descreve o método de pesquisa desenvolvido neste estudo, a estratégia de pesquisa e o seu delineamento, equipamentos utilizados e detalhamento das etapas da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta os resultados individuais dos quatro estudos realizados, destacando as análises gravimétricas, químicas e de taxa de sedimentação de cada um dos estudos, apresenta o Canteiro Referência, bem como uma análise cruzada dos mesmos visando a validação das hipóteses propostas e resposta aos objetivos.

O quinto capítulo apresenta as conclusões estabelecidas com base na análise dos resultados e recomendações para trabalhos futuros a serem desenvolvidos sobre a mesma temática.

2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E MATERIAL PARTICULADO

Este capítulo apresenta os temas poluição atmosférica e material particulado, destacando os principais conceitos, as principais fontes de poluição e poluentes atmosféricos, parâmetros meteorológicos e fatores que influenciam no monitoramento do MP, bem como sua classificação, efeitos na saúde e no ambiente, sua composição e distribuição granulométrica, tipos de monitoramento e análises do MP, Padrões nacionais e internacionais, além do material particulado nos canteiros de obras.

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica ocorre devido às diversas atividades antropogênicas, causas naturais e aos fenômenos físicos e químicos que contribuem para a deterioração da qualidade do ar, que consiste de gases, líquidos ou sólidos presentes na atmosfera em concentração suficiente para causar dano ao ser humano, animais, plantas e materiais (CONAMA, 1990). Dentre os diversos impactos gerados no ambiente por emissão de particulados, a poluição atmosférica é um dos que merece destaque devido aos males que pode causar ao meio ambiente e a saúde do homem.

No mundo todo, estima-se que a poluição atmosférica é responsável anualmente, por aproximadamente, 0,8 milhões de mortes prematuras e 6,4 milhões de anos de vidas perdidas (COHEN *et al.*, 2005).

A poluição atmosférica é transfronteiriça, pois o vento cuida de levá-la a grandes distâncias da sua fonte (LISBOA; KAWANO, 2007), assim como as condições meteorológicas (temperatura, velocidade do vento, movimento de sistemas de alta e baixa pressão e interação destes com a topografia local) também influenciam na dispersão dos poluentes.

Globalmente, os poluentes do ar antropogênicos têm se intensificado na atmosfera das cidades metropolitanas e nos centros. Sabe-se que os poluentes do ar têm efeitos adversos sobre os seres humanos, bem como para o ambiente. A estreita relação entre as condições de saúde desfavoráveis e poluição do ar urbano tem aumentado o interesse em estudos voltados para a melhoria da qualidade do ar de áreas urbanas (TECER *et al.*, 2008).

De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981, no seu artigo 3º, poluição atmosférica pode ser definida como:

“a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) *prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população;*
- b) *criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*
- c) *afetem desfavoravelmente a biota;*
- d) *afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;*
- e) *lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.*

Este trabalho se concentrará em um único tipo de poluição, causada por um único tipo de poluente: o material particulado.

2.1.1 Fontes de Poluição

As fontes de poluição são classificadas em antropogênica (emissões geradas por carros, fábricas, produção de energia, etc.) e as naturais (emissões provenientes de vulcões, furneiras, metanos emitidos naturalmente por animais, fumos e fuligens de incêndios florestais, etc.) (ALMEIDA, 1999).

As principais fontes de poluição estão descritas a seguir.

- a) Fontes Estacionárias são emissões provenientes de fontes fixas, como centrais elétricas e termoelétricas, instalações de produção, incineradores, fornos, construção civil, etc.
- b) Fontes Móveis são provenientes de fontes em movimento, como os tráfegos aéreos, rodoviários, incluindo emissões sonoras e térmicas.
- c) Fontes Pontuais são pontos de emissão contínua de um dado processo, cuja característica deste determina o perfil da emissão. “Por exemplo: chaminés, desgaseificação de equipamentos, outras.

2.1.2 Poluentes Atmosféricos

De acordo com a Resolução CONAMA nº 5, Parágrafo Único, de 15 de junho de 1989, Poluente atmosférico é caracterizado como:

Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I – impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados, conforme a seguir.

- a) Estado Físico: Material Particulado; Gases e Vapores;
- b) Origem: Poluentes Primários - são partículas produzidas através de processos químicos e físicos diretamente de fontes de poluição; Poluentes Secundários - são formados na atmosfera como resultado de reações químicas envolvendo poluentes primários e componentes naturais da atmosfera;
- c) Classe Química: Poluentes Orgânicos e Poluentes Inorgânico.

De acordo com Daly e Zannetti (2007), os principais poluentes primários conhecidos por causar danos em concentrações suficientemente elevadas são as seguintes:

- a) Compostos de carbono, tais como CO, CO₂, CH₄ e COV (Compostos Orgânicos Voláteis);
- b) Compostos de nitrogênio, como o NO, N₂O e NH₃;
- c) Compostos de enxofre, tais como H₂S e SO₂;
- d) Compostos de halogenados, tais como cloretos, fluoretos, brometos e;
- e) Partículas (Material Particulado ou "Aerossóis") sejam na forma sólida ou líquida.

Os poluentes secundários não são diretamente emitidos a partir de fontes, mas se formam na atmosfera a partir de poluentes primários (também chamados de "precursores"). Os principais poluentes secundários conhecidos por causar danos em concentrações suficientemente elevadas são as seguintes:

- a) NO₂ e HNO₃ formado a partir de NO;
- b) o ozônio (O₃) formado a partir de reações fotoquímicas de óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis;
- c) gotas de ácidos sulfúrico formadas a partir de SO₂ e gotas de ácido nítrico formadas a partir de NO₂;
- d) aerossóis de sulfatos e nitratos formado a partir de reações de gotículas de ácido sulfúrico e ácido nítrico com gotas de NH₃, respectivamente;

- e) aerossóis orgânicos formados a partir de compostos orgânicos voláteis em reações de partícula-gás.

Alguns poluentes secundários - sulfatos, nitratos e partículas orgânicas - podem ser transportados por longas distâncias, por centenas e até milhares de quilômetros. A deposição seca e úmida destes poluentes contribui para o problema "deposição ácida", muitas vezes chamado de "chuva ácida", com possíveis danos ao solo, vegetação, lagos suscetíveis e a construção (DALY; ZANNETTI, 2007).

Estas partículas variam nas suas propriedades físicas e químicas, incluindo forma, tamanho, solubilidade, tempo de residência, reativação, toxicidade, composição química e estrutura. Em adição à definição destas propriedades, a determinação de estratégias para a redução da poluição também depende da definição de suas fontes de poluição (TECER *et al.*, 2008).

2.1.3 Efeitos da Poluição Atmosférica

Há evidências de que a exposição às partículas em que vivem as populações de países desenvolvidos quanto dos países em desenvolvimento provoca uma série de efeitos adversos para a saúde. Estas evidências surgiram principalmente a partir dos resultados de estudos epidemiológicos norte-americanos (KELLY; FUSSELL, 2012).

Pesquisas sobre os efeitos do material particulado sobre a saúde humana foram iniciadas na década de 1970 (FERRIS *et al.*, 1979) e têm sido fortemente desenvolvidas desde então. Estudos (DOCKERY *et al.*, 1993; POPE; DOCKERY, 2006) realizadas nos últimos anos sugerem que estas pequenas partículas podem causar sérios problemas para a saúde humana, contribuindo para o aumento da mortalidade e doenças (MASTALERZ *et al.*, 1998; SHI *et al.*, 2003; MUELLER-ANNELING *et al.*, 2004; LORENZO *et al.*, 2006). Os mecanismos subjacentes a esses efeitos adversos não são bem compreendidos e as principais questões relativas à fração tamanho, espécie, composição química e mecanismos causais que conduzem aos efeitos observados na saúde permanecem (DIOCIAIUTI *et al.*, 2001; SONDRAL *et al.*, 2004; KOCBACH *et al.*, 2006).

Segundo Muñoz e Palacios (2001) para analisar a relação de contaminação atmosférica com a saúde do ser humano é necessário especificar o que constitui seu efeito adverso, tais como os efeitos sobre o sistema respiratório:

- a) Aumento da mortalidade;
- b) Aumento da incidência de câncer;
- c) Aumento da frequência de crises asmáticas;
- d) Aumento da incidência de infecções do trato respiratório inferior;
- e) A exacerbação de doença em pessoas com patologia cardiopulmonar crônica;
- f) Redução do volume respiratório forçando a capacidade vital;
- g) Aumento da prevalência da respiração ofegante;
- h) Aumento da prevalência e incidência de dor no tórax;
- i) Aumento da prevalência e incidência da tosse e expectoração que requer atenção médica;
- j) Infecções agudas das vias respiratórias superiores que não interferem com a atividade normal;
- k) Irritação dos olhos, nariz e garganta.

A susceptibilidade das crianças aos problemas de saúde como resultado da exposição à poluição do ar é motivo de preocupação, pois elas recebem uma dose maior de poluentes nos pulmões em comparação com adultos (WHEELER *et al.*, 2000).

A fração de tamanho de MP10 é a que causa maior preocupação para a saúde humana, pois é a que mais facilmente pode penetrar nos pulmões, além de serem levadas à deposição em carros janelas e propriedades. As partículas também podem se transportar aderidas aos compostos cancerígenos até os pulmões. As pessoas mais vulneráveis são os idosos, os muito jovens e os que têm problemas de pulmão e coração preexistentes (LONDON COUNCILS, 2006).

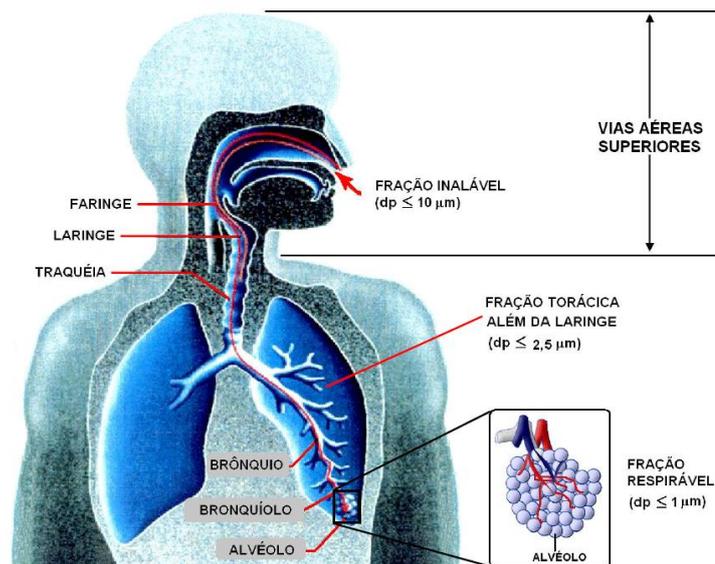
Quanto menor é a partícula, maior é a sua absorção nas trocas gasosas efetuadas pelo pulmão, carregando consigo compostos nocivos que podem se manifestar causando lesões não só locais, no sistema respiratório, mas também de ordem sistêmica, manifestada em qualquer outro órgão ou sistema de organismo (CETESB, 2004).

As partículas ultrafinas (isto é, diâmetros inferiores a 0,1 μm) são consideradas especialmente prejudiciais para a saúde humana, uma vez que estas partículas podem ser inaladas e depositadas no fundo dos alvéolos dos pulmões humanos (KETZEL *et al.*, 2004). A deposição de poluentes nas vias aéreas superiores é menos prejudicial do que nas vias aéreas inferiores, porque a remoção das vias aéreas superiores é mais rápida e o epitélio é protegido por uma camada de muco (USEPA, 2004).

Em trabalhos relativos à saúde do ser humano, considerando que as partículas inaláveis são de diâmetro menor do que $10\mu\text{m}$, e que parte delas fica retida no trato respiratório superior, e as menores que $2,5\mu\text{m}$ podem ir até os alvéolos, de acordo com a figura 2 a seguir, então é possível classificar as partículas em grossas ($2,5 < dp \leq 10\mu\text{m}$) e finas ($dp \leq 2,5\mu\text{m}$) (CARVALHO, 2008).

A Figura 2 representa as áreas de deposição das partículas no sistema respiratório humano.

Figura 2 - Áreas de deposição de partículas no sistema respiratório humano



Fonte: CARVALHO (2008)

As partículas finas são mantidas suspensas por movimentos de ar normais e têm taxas de deposição muito baixas nas superfícies. Elas podem ser transportadas por milhares de quilômetros e permanecer na atmosfera por certo número de dias (USEPA, 2004).

As partículas grossas podem se estabelecer rapidamente na atmosfera (em poucas horas) e, normalmente, viajar apenas curtas distâncias. No entanto, quando misturadas no alto da atmosfera, como em tempestades de poeira, as partículas de menor porte do modo grosso têm vida mais longa e viajam distâncias maiores (USEPA, 2004).

Segundo Santos (2001), com relação às partículas menores, que possuem grande facilidade de penetração e chegam aos alvéolos, por serem tão leves uma boa parte acaba sendo expelida junto com o ar exalado e, portanto, não se depositam em grandes números.

Já as partículas de diâmetro intermediário passam pelas defesas naturais do organismo e chegam aos alvéolos, mas não retornam com o ar exalado. Permanecem na região de trocas gasosas e acabam sendo levadas à corrente sanguínea (SANTOS, 2001).

A Tabela 1 mostra as porcentagens em massa representativas dos tamanhos de partículas de cada fração.

Tabela 1 – Porcentagens em massa de poeira inalável, torácica e respirável

Inalável		Torácica		Respirável	
Diâmetro aerodinâmico das partículas (μm)	Massa de particulado inalável (%)	Diâmetro aerodinâmico das partículas (μm)	Massa de particulado Torácico (%)	Diâmetro aerodinâmico das partículas (μm)	Massa de particulado Respirável (%)
0	100	0	100	0	100
1	97	2	94	1	97
2	94	4	89	2	91
5	87	6	80,5	3	74
10	77	8	67	4	50
20	65	10	50	5	30
30	58	12	35	6	17
40	54,5	14	23	7	9
50	52,5	16	15	8	5
100	50	18	9,5	10	1
		20	6		
		25	2		

Fonte: SANTOS, 2001

De acordo com Peixoto (2013), os contaminantes particulados são classificados de acordo com os seus efeitos fisiológicos no organismo, da seguinte forma:

- **Incômodas ou PNOC** (*Particulates Not Otherwise Classified*) ou Partículas insolúveis. Não Classificadas de Outra Maneira, partículas não contendo asbesto ou com teor de sílica cristalina abaixo de 1%, sem efeito conhecido. Ex.: gesso, amido celulose, calcário
- **Fibrogênicas** - alteram a estrutura celular dos alvéolos restringindo a capacidade de troca de oxigênio. Ex: Sílica cristalina, amianto, berílio 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, cromatos, radio nucleídeos.
- **Mutagênicas e Teratogênicas** – induzem mutação em nível celular (mutagênicas), ou alterações genéticas (teratogênicas). Ex.: chumbo e mercúrio.

E também quanto aos seus efeitos de toxicidade no organismo:

- **Efeitos locais** – pele e mucosas.
- **Efeitos sistêmicos** – através da corrente sanguínea, atingindo outros órgãos.
- **Efeitos agudos** – exposição de curta duração com concentração elevada, ou por substância que pode ser rapidamente absorvida pelo organismo.
- **Efeitos crônicos** – danos permanentes, que podem ter um período de latência de muitos anos.

De uma maneira geral, algumas doenças ou intoxicação provocadas por substâncias prejudiciais à saúde, se manifestam através de sintomas como tosse, dificuldade para respirar, dor no peito, pressão no peito, ritmo respiratório anormal, irritação ocular, dores de cabeça. Porém muitos contaminantes provocam enfermidades de diferentes características fisiológicas e toxicidade que, em seu estado inicial, não são percebidas pelo indivíduo, através desses sintomas. Essa talvez seja a maior dificuldade quanto à conscientização do trabalhador, no que diz respeito ao mal que ele sofre enquanto está exposto ao ambiente contaminado (OMS, 2006; BURNETT et al, 2002; SANTOS, 2001).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a vegetação vão desde a necrose do tecido das folhas, caules e frutos, a redução e /ou redução da taxa de crescimento; o aumento da susceptibilidade a doenças e pestes até a interrupção total do processo reprodutivo das plantas (ASSUNÇÃO, 1998).

É importante considerar o impacto da poeira em locais sensíveis, como Zonas Especiais de Conservação (ZEC), Zonas de Proteção Especial (ZPE), locais de Interesse Científico especial (SSSIs) e não estatutários e locais com vida selvagem na vizinhança de um canteiro de obras (LONDON COUNCILS, 2006).

Na vida animal os efeitos dos poluentes atmosféricos incluem o enfraquecimento do sistema respiratório, danos aos olhos, dentes e ossos, aumento da susceptibilidade a doenças, pestes e outros riscos relacionados a “stress” e a diminuição da capacidade de reprodução

(ALMEIDA, 1999). No ambiente aquático com o aumento de partículas suspensas ou dissolvidas na água causa alteração na ecologia aquática (RESENDE, 2007).

Também é visível o efeito da poluição sobre os materiais através da deposição de partículas, principalmente poeira e fumaça, nas edificações e monumentos. Estes efeitos estão relacionados com a aparência estética e danos físicos resultando basicamente na descoloração, erosão, corrosão, enfraquecimento e decomposição de materiais de construção (ALMEIDA, 1999; USEPA, 2004).

O material particulado também influencia diretamente o clima, absorvendo e dispersando a radiação solar, e indiretamente, agindo como núcleos de condensação de nuvens (CCN) e núcleos de gelo (IN), afetando a microfísica das nuvens e propriedades ópticas, bem como a taxa de precipitação e o tempo de vida das nuvens (JOHNSON *et al.*, 2005; SUN, ARIYA, 2006; GERASOPOULOS *et al.*, 2007; MILFORD, DAVIDSON, 2013).

Por fim, a influência das partículas na dispersão da luz, gerando degradação da visibilidade depende do tamanho das partículas, da sua composição e da solubilidade (PRYOR, STEYN, 1994; USEPA, 2004; MILFORD, DAVIDSON, 2012). As partículas finas dispersam mais luz do que as partículas mais grosseiras, isto é, a luz espalhada por unidade de massa é maior para as partículas menores. Espécies de partículas finas incluem sulfatos (assumido ser sulfato de amônia), nitratos (presume-se nitrato de amônia), orgânicos, que absorvem luz do carbono, e do solo (MALM *et al.*, 1994).

2.1.4 Parâmetros Meteorológicos e outros Parâmetros

O monitoramento dos parâmetros meteorológicos 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 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.

De acordo com a *Environment Agency* (2004) as condições meteorológicas estão sujeitas a variações diurnas e sazonais, que podem sobrepor um efeito sobre aqueles devido a variações na resistência da fonte de emissão de partículas. Portanto, devida consideração deve ser dada à avaliação das condições meteorológicas e aos detalhes de origem das emissões.

As propriedades físicas e químicas de MP variam muito com o tempo, região, meteorologia e categoria de fontes, complicando assim, a avaliação dos efeitos do MP na saúde e no bem-estar (USEPA, 2004).

De fato, no ar o MP apresenta uma complexidade muito maior do que a maioria dos outros poluentes do ar comuns. A identificação dos efeitos específicos do MP é ainda mais difícil, quando se considera que ele pode variar no espaço e no tempo, como consequência de condições meteorológicas e da química atmosférica, bem como as complexas interações que existe entre ele e os poluentes atmosféricos gasosos (como o ozônio, O₃), especialmente desde que o último tem biologicamente plausíveis associações com diversos desfechos de saúde que também são potencialmente relacionadas com o MP (KREWSKI *et al.*, 2000; GAUDERMAN *et al.*, 2004).

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 (MARTINS, 1996). Outros parâmetros e condições de interesse em que se produzem essas emissões são: velocidade do vento, direção do vento, radiação solar, temperatura, umidade ambiente, precipitação pluviométrica e pressão atmosférica (LYRA, 2008).

A direção e a velocidade dos ventos propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos e identificam a sua trajetória e alcances possíveis, uma vez que ele tem efeito diluidor sobre as concentrações dos poluentes (BARBOSA, 2007). Estes parâmetros devem ser medidos em um ou mais dos locais de monitoramento para indicar de que direção o ar recolhido emana (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

O grau de estabilidade atmosférica determina a capacidade das partículas presentes no ar expandirem-se verticalmente. Esta estabilidade é determinada pela velocidade do vento e pelo gradiente térmico na vertical (BARBOSA, 2007). 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 (BARBOSA, 2007; CETESB, 2004).

A relevância da temperatura do ar para avaliação da qualidade do ar pode ser relacionada com o balanço das trocas energéticas entre superfície e atmosfera (CETESB,

2004), assim como nos resultados do transporte. Enquanto que as altas temperaturas favorecem o transporte dos poluentes para os mais altos níveis da atmosfera, as menores temperaturas permitem a manutenção dos poluentes mais próximos da superfície (CETESB, 2004).

A precipitação pluviométrica 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, 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, além disso, o solo úmido evita que ocorra a ressuspensão de partículas para a atmosfera (BARBOSA, 2007).

A precipitação, névoa, nuvem e umidade da superfície fornecem informações sobre os mecanismos para a remoção de poluentes atmosféricos. Estas são particularmente importantes na interpretação dos resultados de pesquisas de poeira, uma vez que o ressecamento e baixa umidade podem resultar em aumento das concentrações de partículas em suspensão, devido à suspensão de poeira da superfície (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

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, sobretudo na ocorrência do *smog* fotoquímico (ALMEIDA, 1999).

As estações de amostragem não devem ser localizadas em áreas com efeitos topográficos incomuns (por exemplo, vales, limites água-terra, morros ou cordilheiras), a menos que a investigação faça parte das metas e objetivos do estudo. Um efeito local comum é a formação de remoinhos por ventos desviados por colinas e cristas. Estes afetam as emissões de pilhas de partículas da chaminé, trazendo a pluma para o mais próximo do solo para a fonte que seria esperada. Emissões de partículas fugitivas tendem a ser ainda mais influenciada pela topografia do local porque eles são geralmente emitidos junto ao solo (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

Estudos desenvolvidos por Pinheiro e Monteiro (1992); Almeida (1999); CETESB (1998) e Resende (2007) abordam a importância dos parâmetros meteorológicos na concentração e dispersão dos poluentes no monitoramento da qualidade do ar.

2.2 MATERIAL PARTICULADO

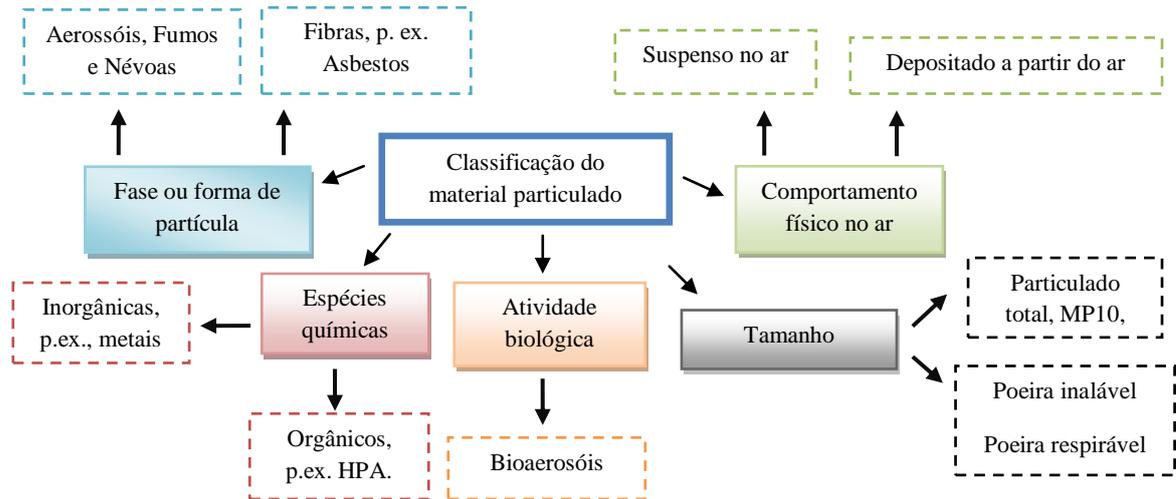
O termo material particulado atmosférico ou partículas em suspensão podem ser associados a diversos outros termos como material particulado em suspensão, aerossol, partículas totais inaláveis, partículas respiráveis, partículas torácicas, MP₁₀, MP_{2,5}, poeira, fumaça, fumos, névoas, entre outros (ALMEIDA, 1999).

Material particulado é definido como um conjunto de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido ou líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho (CETESB, 2004). Essas partículas são classificadas como:

- a) Material Particulado em suspensão (MPS): conjunto de partículas sólidas e/ou dispersas no ar.
- b) Aerossol: conjunto de partículas sólidas e/ou líquidas (excluindo gotas de nuvem) suspensas em um meio gasoso.
- c) Partículas totais em suspensão (PTS): são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm . Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, a outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade. Podem existir na forma sólida ou líquida, e inclui fumo, pó, aerossóis, óxidos metálicos, e pólen.
- d) Partículas inaláveis (MP₁₀): são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 μm . Podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar profundamente alcançando os alvéolos pulmonares.
- e) Partículas inaláveis finas (MP_{2,5}) ou Partículas Respiráveis: são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 2,5 μm . Devido ao seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.
- f) Fumaça (FMC) – normalmente está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão e está diretamente relacionada ao teor de fuligem na atmosfera (associado à opacidade).

A Figura 3 resume a classificação do MP de acordo com a Environment Agency (2004).

Figura 3: Classificação do material particulado com base nas suas propriedades



Fonte: Adaptado de *Environment Agency* (2004)

O tamanho das partículas é um dos parâmetros mais importantes no estudo da poluição atmosférica, pois exerce influência sobre vários fenômenos associados aos aerossóis, tais como, o transporte, a deposição na atmosfera e a migração através do ambiente, além de efeitos nocivos. Assim, o tamanho de uma partícula é o principal fator determinante para o comportamento de um aerossol. As partículas se comportam distintamente em diferentes faixas de tamanho (WILLEKE; BARON, 1993).

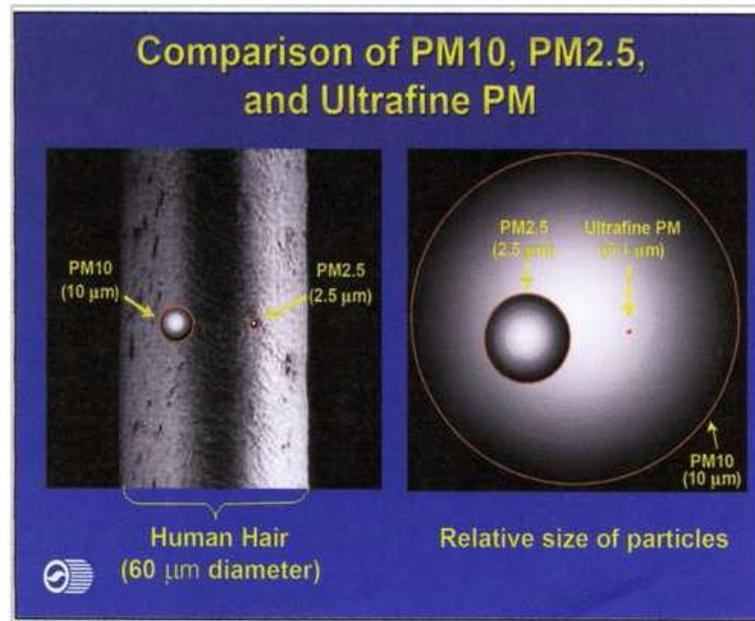
A definição do tamanho de uma partícula é uma tarefa complexa. Frequentemente são definidas apenas aquelas partículas pertencentes a uma faixa de tamanho que pode ser medida ou calculada. Por esta razão foi estabelecido o diâmetro equivalente a partir do qual se pode chegar a várias definições para tamanho de partículas (ALMEIDA, 1999).

As partículas presentes na atmosfera geralmente não são esféricas, por isso, o Diâmetro Equivalente aparece como um conceito utilizado para definir o tamanho de uma partícula. Ele determina o tamanho de uma esfera de densidade unitária que possui o mesmo valor de uma propriedade física ou comportamento da partícula (USEPA, 2004).

De acordo com os fenômenos mais importantes para o estudo realizado, ou de acordo com o método de análise utilizado são estabelecidos diferentes diâmetros equivalentes. O diâmetro aerodinâmico é o mais apropriado para discussões de coleta e deposição de partículas. Esse diâmetro equivalente consiste em equiparar a partícula com uma esfera que possui iguais propriedades gravitacionais, como a velocidade terminal de sedimentação (ALMEIDA, 1999).

O termo "MP" engloba uma variedade muito diversificada de pequenas partículas que diferem em termos de sua formação, das suas propriedades químicas, tamanho, massa, toxicidade, e da forma como elas se comportam na atmosfera. A Figura 4 ilustra a comparação entre os diâmetros das partículas MP10, MP2,5 e o diâmetro de um fio de cabelo (~ 60 μm).

Figura 4 - Comparação entre partículas (MP10, MP2,5 e Partículas Ultrafinas)



Fonte: BAY AREA AIR QUALITY, 2012

As partículas denominadas finas, diâmetros menores que 2,5 μm , são as mais danosas ao ser humano e também influenciam a visibilidade. A formação dessas partículas depende das condições atmosféricas como umidade, radiação e temperatura. Os processos pelos quais podem ser originados envolvem condensação de vapores quentes, transformação de gases em partículas, coagulação e partículas formadas fotoquimicamente. Dessa maneira, uma única partícula pode ser composta por elementos de diversas fontes. Por terem origem em reações químicas, essas partículas menores podem conter mais substâncias tóxicas que as partículas maiores (USEPA, 2004).

As partículas mais grossas, que por sua vez possuem diâmetro maior que 2,5 μm , estão mais sujeitas a força gravitacional, são formadas a partir de processos mecânicos, como ressuspensão de poeira de solo por ventos, sal marinho, cinzas de combustão e emissões biogênicas naturais (PANDIS *et al.*, 19922 apud QUEIROZ, 2007).

²Pandis, S. N.; Harley, R. A.; Cass, G. R.; Seinfeld, J. H.; Atmos. Environ. 1992, 26A, 2269.

Exemplos de partículas atmosféricas incluem partículas geradas por combustão, tal como a fuligem de diesel ou cinzas volantes; partículas produzidas fotoquimicamente, tais como aquelas encontradas na neblina urbana; partículas de sal marinho, e as partículas do solo, como da poeira em suspensão (USEPA, 2004).

No Quadro1 estão presentes informações como a origem, composição, solubilidade, tempo de residência, processo de remoção e distâncias alcançadas por cada fração do MP.

Quadro1 - Informações sobre cada fração de material particulado

	Partículas Finas		Partículas Grossas
	Ultrafinas	Modo de Acumulação	
Processo de Formação	Combustão, processo de alta temperatura e reações atmosféricas.	Combustão, processo de alta temperatura e reações atmosféricas.	Quebra de Grandes sólidos e gotas líquidas.
Formado por	Nucleação; condensação e coagulação.	Condensação, coagulação, reações de gases dentro ou sobre as partículas, evaporação de neblina ou nuvens, gotas líquidas dissolvidas ou reagidas por gases.	Ruptura mecânica, evaporação de sprays; suspensão de poeiras; reações de gases dentro ou sobre partícula.
Composto de	Sulfato, Carbono elementar; compostos orgânicos com muito baixa pressão de vapor de saturação na temperatura ambiente.	Íons Sulfatos, Nitratos, amônia e hidrogênio; carbono elementar, grande variedade de compostos orgânicos; compostos de chumbo, Cádmio, níquel, cobre, zinco, manganês, ferro e etc., partículas envoltas em água.	Suspensão de solo ou poeira; cinzas voláteis da combustão não controlada de carvão, óleo e madeira; nitratos, clorados, sulfatos da reação de HNO ₃ /HCL/SO ₂ com partículas grossas; óxidos de materiais brutos; CaCO ₃ ; CaSO ₄ ; NaCl; sal marinho; pólen; fragmentos de plantas e animais; resíduos de pneus, pastilhas de freio e desgaste de estradas.
Solubilidade	Provavelmente menos solúvel que o modo de acumulação.	Amplamente solúvel e higroscópico (absorve umidade do ar).	Amplamente insolúvel e não higroscópico.
Origens	Combustão; transformação atmosférica de SO ₂ e alguns compostos orgânicos; processos de alta temperatura.	Combustão de carvão, óleo, gasolina, diesel e madeira; Transformação atmosférica de NO _x , SO ₂ e compostos orgânicos, incluindo espécies orgânicas biogênicas; processos de alta temperatura, moinhos de aço, etc.	Ressuspensão de poeiras industriais e de solos em ruas e estradas; suspensão após movimentação no solo; construções e demolições; combustão não controlada de carvão e óleo; spray do oceano; fontes biológicas.
Via Atmosférica	Minutos a horas.	Dias a semanas	Minutos a horas
Processo de Remoção	Quando crescem e passam para o modo de acumulação; difusas por gotas de chuva.	Formação de gotas nas nuvens e chuvas; deposição seca.	Deposição seca por queda; remoção por gotas de chuva
Distância de Percurso	1 a dezenas de km.	Centenas a milhares de km.	1 a dezenas de km, centenas a milhares de km em tempestades de poeira.

Fonte: USEPA (2004)

2.2.1 Composição Química do Material Particulado

A composição química do MP é outra característica fundamental para o estudo de seus efeitos ao ambiente e à saúde. Segundo Godish (1991), o MP possui uma grande variabilidade de elementos em sua composição. Esse número é atribuído pela grande capacidade de absorção das partículas finas, portanto, para se determinar a composição do material particulado é necessário avaliar sua fonte e permanência na atmosfera.

O material particulado tem por composição básica um núcleo de carbono (combustão), partículas primárias, ou seja, pequenas unidades esféricas formadas basicamente por carbono e algum material inorgânico, onde estão adsorvidos 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 (GODISH, 1997). As partículas inaláveis se mantêm por longo tempo junto às células do tecido pulmonar, permitindo que pequenas quantidades de tóxicos causem danos graças à sua prolongada permanência (CETESB, 2004).

Os materiais da crosta terrestre, como cálcio, alumínio, silício, magnésio e ferro encontram-se, predominantemente, nas partículas grosseiras. Alguns materiais orgânicos primários, tais como pólen, esporos e resíduos de plantas e de animais, também são encontrados predominantemente no modo grosso (USEPA, 2004). Os perfis de composição das partículas são listados na Tabela 2 de acordo com sua origem.

Tabela 2 – Perfis de composição das fontes

Composição das fontes	Tamanho das partículas	Elementos químicos em porcentagem de massa			
		< 0,1%	0,1 – 1%	1 – 10%	>10%
Poeira de rua pavimentada	Grossa	Rb, Ni, Zr, Sr, Cu, Mn, Pb,	P, Zn, K+, Ti, S, SO ₄ -,K	EC, Fe, Al	Si, OC, Ca
Poeira de rua despavimentada	Grossa	Y, Cu Pb, Rb, Cr, Br, Zr, Ni, Zn, Mn,Sr, Cl ⁻ , P, K+	Ti, SO ₄ ²⁻ , S, NO ₃ ⁻	K, EC, Fe, Al, OC	Si, Ca
Construção	Grossa	Cr, Mn, Zn, Sr, Ba	SO₄²⁻, K+, S, Ti	OC, Al, K, Ca, Fe	Si
Solos	Fina	Cr, Mn, Sr, Zn, Ba.	Cl ⁻ , Na+, EC, P, S, Cl,Ti	OC, Al, Mg, K, Ca, Fe	Si
Veículos	Fina	Br, Mn, Cu	Na+, Zn, Fe	S	OC, EC
Queima de vegetação	Fina	Ni, Se, Rb, Zn	Al NO ₃ -, S	SO ₄ ²⁻ , K, Cl, Cl	OC, EC
Mar	Fina e Grossa	Ti, V, Ni, Sr, Zr, Pb, Ag, Sn, Sb, Pb	Al, Si, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ba, La	NO ₃ ⁻ ,SO ₄ ²⁻ , OC,EC	Cl ⁻ , Na+, Na,Cl

Fonte: Chow *et al.* (2004) e Chow (1995)

2.2.2 Distribuição Granulométrica do Material Particulado

Os diâmetros das partículas atmosféricas variam de 1 μm a 100 μm , abrangendo cinco ordens de grandeza (USEPA, 2004). De acordo com Almeida (1999), o estudo da distribuição granulométrica de particulados em suspensão é de grande interesse devido aos efeitos adversos a saúde provocados por estas partículas em certas faixas de tamanhos.

As partículas encontradas no ar urbano apresentam tamanhos que variam de 0,005 até 100 μm de diâmetro aerodinâmico. As distribuições dessas partículas englobam três tamanhos de diâmetros aerodinâmicos: o tipo núcleo, menores que cerca de 0,1 μm ; o tipo acumulação, que engloba partículas entre 0,1 μm e 1 μm ; e o tipo grosseiro, engloba tamanhos maiores que 1 μm . Outras definições englobam as partículas ultrafinas com tamanhos inferiores a 0,1 μm de diâmetro aerodinâmico, correspondendo às partículas do modo núcleo e as partículas finas, com diâmetros inferiores a 1 μm de diâmetro aerodinâmico, englobam as partículas dos tipos núcleo e acumulação (HEALTH EFFECTS INSTITUTE PERSPECTIVE, 2002).

2.3 MONITORAMENTO DO MATERIAL PARTICULADO

O monitoramento atmosférico é uma das várias formas de avaliação da qualidade do ar de uma determinada região, onde se deve observar cuidadosamente os métodos analíticos e equipamentos de forma que produzam resultados apropriados aos propósitos aos quais se destinam, levando em conta também a quantidade de estações de amostragem, bem como a frequência das mesmas (AMORIM, 2004).

A amostragem de material particulado pode ser realizada por meio da determinação do material particulado, de acordo com a legislação vigente e a identificação das propriedades físico-químicas (HINDS, 1999).

As informações que devem ser obtidas quando se realiza uma amostragem de partículas na atmosfera devem ser a massa, concentração, o tamanho e a composição elementar das partículas (POZZA, 2009).

A estação de amostragem deve ser instalada num determinado local visando avaliar a qualidade do ar de uma área ou região. A escolha do local adequado para a estação de amostragem, além de contemplar as características de distribuição dos poluentes e objetos do estudo, deve levar em consideração também a segurança, proteção dos equipamentos contra

intempéries, vandalismo e disponibilidade de recursos, como por exemplo, energia elétrica (POZZA, 2009).

Vários equipamentos já foram desenvolvidos para determinar a quantidade de material particulado presente no ar atmosférico. A confiabilidade dos valores obtidos nas medições depende da sensibilidade e precisão do equipamento (LISBOA; KAWANO, 2007). A literatura aponta diferentes equipamentos para o monitoramento do material particulado, quais sejam:

- a) **Amostradores de poeiras totais** – são aqueles que coletam as partículas sem fazer qualquer seleção de tamanho, geralmente possuem um único estágio e são utilizados na determinação de massa total de poeira coletada.
- b) **Amostradores seletivos** – são baseados na discriminação do tamanho das partículas, das propriedades físicas, óticas, eletrostática e aerodinâmicas das partículas. Coletam partículas com diferentes faixas de tamanho.
- c) **Amostradores inerciais** – o funcionamento desses amostradores se baseia na conservação da quantidade de movimento dos particulados. Possibilita a separação das partículas em diferentes tamanhos.
- d) **Ciclone** – devido a sua forma física, as linhas de correntes são circunferências concêntricas, fazendo as partículas desenvolverem uma trajetória circular. As partículas que possuem inércia suficiente e vencem a força que o fluido exerce sobre elas, são coletadas por um coletor, as demais seguem a linha e são coletadas no filtro. Os ciclones geralmente são utilizados como estágio inicial de outros tipos de amostradores.
- e) **Amostrador Grosso e Fino (AFG)** – este tipo de amostragem permite determinar, nos períodos amostrados propriedades importantes do material particulado inalável. A partir da análise Gravimétrica pode-se determinar a concentração de particulados nas frações finas e grossas. Este tipo de amostrador é utilizado para coleta de partículas ao nível do solo. O material particulado é coletado por impactação em filtros dispostos em série. Ele utiliza um pré-seletor de partículas, para que só as massas menores do que um determinado valor de corte sejam arrastadas pelas linhas de corrente do fluxo e penetrem no amostrador, onde são separadas em duas frações de tamanho, dependendo da velocidade de fluxo e da eficiência de retenção do filtro coletor – Partículas grossas (MPG) e partículas finas (MPF).

- f) **Amostradores de Grande Volume (AGV) OU *HIVOL*** – a amostragem com este aparelho é largamente aceita pelo mundo. Trata-se de um equipamento de baixo custo, de baixo nível de sofisticação técnica e alta durabilidade. O seu método de ensaio consiste em instalar um ou mais amostradores em posições estratégicas. O aparelho aspira certa quantidade de ar ambiente através de um filtro, geralmente de fibra de vidro ou material relativamente inerte, não higroscópico e que apresente baixa resistência a passagem do ar, dentro de um ambiente coberto, durante um período de amostragem de 24 horas. A vazão imprimida pelo amostrador e a geometria do abrigo favorecem a coleta de partículas de até 100 µm (diâmetro aerodinâmico), dependendo da velocidade e direção do vento.

Este método é aplicado em medições de concentração em massa de PTS de 24 horas, com níveis acima de 1-5 µg/m³ e partículas com tamanho entre 0,3 e 100 µm. É adequado, portanto, para utilização em medições no canteiro de obras. O método, no Brasil, é regulamentado pela norma NBR 9547 – Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume (ABNT, 1997). Especificamente para determinação de concentração de partículas MP10, o método de ensaio é complementado pela 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 (ABNT, 1995).

Muitos trabalhos desenvolvidos a nível nacional e internacional utilizaram este método para medição do material particulado, dentre os quais pode-se citar MAZIVIERO et al (2011); SALLES, PIUZANA (2006); MAGALHÃES (2005); CAO et al (2013); WADLEY et al (2012) e WATSON et al (2011).

- g) **Amostrador de médio volume** - nesse método 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. O limite de detecção é de cerca de 10 µg/m³ para um período de 24 horas. Usualmente, esse equipamento não é indicado para medição de concentração de PTS. Pelas suas características, não é um equipamento indicado para medição em canteiros de obras.
- h) **Amostradores de Pequeno Volume** - neste método 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. Devido ao pequeno volume de ar amostrado, o limite de detecção é muito alto (dezenas µg/m³). O método não é indicado para medição de concentração de PTS, mas

apenas para análises subsequentes dos filtros carregados de material particulado. É comumente utilizado para medições de escurecimento e pode ser usado em alguns casos para medição de metais e aerossóis secundários (ALMEIDA, 1999). Pelas suas 138 características, não é um equipamento indicado para medição em canteiros de obras.

- i) **TEOM (*Tapered Oscillating Monitor*)**, série 1400^a da *Rupprech & Patashnick*, realiza medidas de concentração de particulados presentes na atmosfera em tempo real. O princípio de funcionamento do equipamento é basicamente a gravimetria. O monitoramento de particulado inalável em tempo real é de grande importância para identificar o ciclo das concentrações de particulado durante o dia e compreender os processos que levam a esta variabilidade, complementando as informações que não se obtém com o AFG.
- j) **Impactador em cascata com deposição uniforme - MOUDI (*Micro-orifice Uniform Deposit Impactor*)** é um impactador inercial em cascata com deposição uniforme utilizado para amostragem de particulado atmosférico, que permite a separação física das partículas em intervalos de diferentes tamanhos. O seu princípio de funcionamento é simples: um fluxo de ar de 30 l/ min passa por um estágio com determinado tamanho de orifícios, as partículas maiores que o diâmetro de corte deste estágio sofrem impactação inercial no filtro nuclepore, as partículas menores seguem ao segundo estágio. No próximo estágio o fluxo de ar passa por orifícios ainda menores, as partículas sofrem um aumento de velocidade, fazendo com que partículas com um novo diâmetro sejam impactadas, selecionando assim um novo diâmetro de corte, e assim sucessivamente até o estágio final como amostra. Nas superfícies de impactação são utilizados filtros de policarbonato (nuclepore) de 47 mm de diâmetro com poros de 8µm com cobertura de *apiezon* utilizada para evitar repiques das partículas na impactação e garantindo a aderência destas, no filtro. Há ainda um monitor de pressão entre os estágios para evitar os entupimentos nos filtros mais finos.
- k) **Bioindicadores** - esta forma de monitoramento da qualidade do meio ambiente avalia de forma indireta os níveis das substâncias presentes no ar. Os bioindicadores são animais e/ou vegetais altamente sensíveis à poluição que podem incorporar substâncias modificando o seu comportamento. As observações destas modificações e a determinação da concentração dessas substâncias nesses organismos têm sido largamente utilizadas para monitorar o meio ambiente.

A avaliação da contaminação por poluentes atmosféricos também tem sido realizada através do uso de musgos, líquens, cascas de árvores e folhas de plantas. As folhas e cascas de árvores recebem a contribuição dos elementos absorvidos pela raiz da planta, enquanto os líquens e musgos não dependem da raiz, eles absorvem os nutrientes diretamente da atmosfera (LISBOA; KAWANO, 2008).

As principais vantagens do uso dos bioindicadores na avaliação da qualidade do ar é a facilidade de coleta, o baixo custo para obtenção de informações sobre o passado da região. Outra vantagem é que determinando as concentrações de poluentes em líquens coletados a diferentes distâncias e direções da fonte, pode-se obter uma distribuição espacial dos poluentes. No entanto esta técnica não fornece informações sobre a concentração no ar dos elementos ou sobre a faixa de tamanho das partículas (LISBOA; KAWANO, 2008).

- 1) **MiniVol** – é uma amostrador portátil de partículas de baixo volume, fabricado pela *Airmetrics*. O *Minivol* é calibrado para as condições padrão e ajustado para operar com uma vazão de 5,0L/min nessas condições. Condição padrão é definida como uma pressão atmosférica de 760 mmHg e uma temperatura de 298°K. Em outras localidades, o *MiniVol* deve ser ajustado para contabilizar as diferentes temperaturas ambiente e pressão atmosférica.

A entrada do amostrador é composta de um impactador que separa as partículas pelo tamanho sendo a eficiência de coleta das partículas de tamanho definido, dependente da velocidade com que o fluxo de ar passa pela placa de impactação. O impactador é projetado para diâmetros de cortes de 10 μ m ou 2,5 μ m a uma vazão de 5,0L/min. Para manter esses diâmetros de corte, a vazão do amostrador deve ser ajustada para as condições de temperatura e pressão local, de modo que a vazão que passa pelo impactador seja mantida em 5,0L/min.

- m) **Sticky Pad System ou método de Beaman & Kingsbury** - Esta técnica foi desenvolvida com a finalidade de avaliar o incômodo causado pela deposição de poeira. Ela consiste na colocação de uma almofada branca e pegajosa disposta horizontalmente ou verticalmente em áreas externas durante um período de tempo determinado, recebendo a poeira depositada ou poeira sedimentável. É um método não regulamentado por normas. O período de amostragem padrão é de sete dias, mas pode ser feita em um dia ou menos (BEAMAN; KINGSBURY, 1981).

A grande vantagem é que o método fornece a taxa de sedimentação de imediato, sem a necessidade de serviços laboratoriais. Este método é ideal para identificar o caminho do qual a poeira surgiu (Método Direcional). É muito utilizado para modelação e mapeamento da poeira. A unidade de medida não é equivalente a dos outros métodos: ela é registrada em percentual de área efetiva coberta por partícula (EAC%) por dia, que é relacionado com o número de queixas prováveis. O método determina as mudanças em uma superfície quanto à quantidade de poeira depositada durante um período. Um refletômetro determina a porcentagem de área efetiva do adesivo coberta por poeira num determinado período. Depois o adesivo é levado para análise para determinar suas alterações na refletância. Uma alternativa ao método é a utilização de uma lâmina de vidro em vez do adesivo, que depois é levada ao laboratório para determinar suas alterações na refletância (BEAMAN; KINGSBURY, 1981).

O maior problema deste método é a sua suscetibilidade à chuva pesada e ventos fortes, mas trata-se de um método bastante econômico e detalhado que pode ser realizado em diversos pontos e de análise rápida, que possibilita facilmente identificar o que pode estar ocorrendo em diversas superfícies, como a de automóveis vizinhos à obra, por exemplo, (Resende, 2007).

Os *Sticky Pads* devem ser colocados em locais alto o suficiente para não serem retirados por pessoas não autorizadas.

Em relação aos amostradores mais comumente usados em pesquisas de canteiro de obras, embora o *Hivol* seja bastante utilizado em todo o mundo e seja um dos amostradores mais empregados em canteiros de obra, ele possui uma logística dificultada devido ao seu grande tamanho e o seu peso, o que dificulta o seu transporte e o seu posicionamento dentro do canteiro. Por outro lado, o *MiniVol* é um amostrador portátil e de fácil instalação que pode ser colocado numa variedade de estruturas ao ar livre, a exemplo de postes, vigas, etc. Recentemente, este aparelho está sendo largamente utilizado devido aos resultados fornecidos que oferecem uma grande precisão. A técnica de amostragem utilizada pelo “*MiniVol TAS*” é uma adaptação do método de referência MP₁₀ descrito no Código de Regulamentos Federais dos EUA (40 CFR parte 50, Apêndice J).

Vale ressaltar que o amostrador *MiniVol* tem sido recentemente utilizado em estudos para determinação dos níveis de MP_{2,5} e caracterização de partículas tanto em pesquisas no Brasil (ALBUQUERQUE, 2005; OLIVEIRA, 2007; ARAÚJO, 2014) quanto em outros países do mundo (WANG *et al.*, 2006; WEINSTEIN *et al.*, 2010).

Os programas de monitoramento de qualidade do ar devem ser projetados para fornecer os dados mais adequados para o cumprimento dos objetivos e metas de um estudo particular. Esta fase de projeto produz uma estratégia de monitoramento e exige que as seguintes decisões sejam tomadas: o que, onde e quando amostrar; quanto tempo para amostrar; quantas amostras coletar; que técnica e método utilizar (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

O tempo de resposta ou o tempo de amostragem do método devem ser considerados em relação ao período de amostragem necessária. Muitas vezes, a escolha será entre uma técnica automática contínua e que fornece uma grande quantidade de dados com uma resolução de tempo muito pequena e técnicas manuais mais baratas. Este último pode ser utilizado para experimentar virtualmente continuamente e são perfeitamente adequados para muitas aplicações (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

Alguns fatores que afetam significativamente a variabilidade temporal das concentrações de partículas em suspensão são as variações sazonais das condições meteorológicas; os ciclos diurnos de condições meteorológicas; os padrões de emissões, tais como diferenças de semana/fim de semana, e as variações de longo prazo, por exemplo, padrões de trabalho. Esses fatores precisam ser levados em conta ao escolher a duração do programa de monitoramento (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

Além disso, o que constitui uma duração para um levantamento adequado dependerá também do método de medição utilizado, em particular o período de amostragem e a frequência.

Ainda de acordo com a *Environment Agency* (2004), se a amostragem é intermitente e realizada semanalmente, será necessário experimentar ao longo de um período de pelo menos três meses para se obter uma concentração média de longo prazo amplamente representativa. Programas de amostragem longos são geralmente necessários quando as comparações estão sendo feitas com os critérios de qualidade do ar em longo prazo.

2.3.1 Tipos de Amostragem

A seguir serão apresentados os tipos de amostragens utilizados para medição do material particulado.

a) Amostragem direcional

Se a amostragem é realizada em todas as direções ou em todas as direções do vento (amostragem omnidirecional), então a direção do vento deve ser levada em conta quando os dados são avaliados. Alternativamente, a própria amostragem pode ser concebida para ser direcional. Partículas em suspensão podem ser recolhidas por um sistema de amostragem ativo vinculado a um cata-vento e anemômetro e a amostragem só começa quando o vento está soprando a partir de uma direção especificada e está acima de uma velocidade mínima do vento (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

A principal aplicação de amostradores direcionais é para avaliar o impacto de uma instalação em particular. Esta abordagem é mais útil quando existe uma fonte de poluição claramente definida e suspeita. Em tais casos, um único amostrador direcional localizado na linha da direção do vento e da fonte, por um período adequado, seria o necessário para dar uma boa estimativa da contribuição da fonte (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

b) Amostragem de ponto fixo

O sistema de amostragem mais comum é o de uma rede de locais em locais fixos, cada um fornecendo valores de concentração local instantâneo ou concentrações em média. O sucesso de uma rede fixa de amostradores depende muito do cuidado com que os locais são escolhidos em relação aos objetivos da pesquisa (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

c) Monitoramento dos incômodos causados na comunidade do entorno

Para avaliar os riscos para a saúde de uma comunidade em relação aos poluentes, as estações de amostragem devem estar localizadas nas principais concentrações de população (por exemplo, áreas de habitação), onde as pessoas estão expostas continuamente por longos períodos. Em alguns casos, pode ser conveniente monitorar em locais sensíveis (por exemplo, escolas ou hospitais), onde os ocupantes podem ser especialmente vulneráveis a má qualidade do ar. A devida atenção deve ser dada para onde se espera que ocorram as concentrações máximas ou deposições de partículas, em algumas pesquisas, é tão ou mais importante localizar os amostradores próximos de receptores sensíveis ou áreas principais de habitação (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

2.4 TIPOS DE ANÁLISE PARA O MATERIAL PARTICULADO

De acordo com a *United Nations Environment Programme* (UNEP)/OMS (1994) e Baumbach (1996), a análise do MP coletado em filtros pode ser realizada por meio de diferentes técnicas analíticas. Em estudos nos quais se deseja obter informações para a avaliação da qualidade do ar, usualmente são realizados três diferentes tipos de análise, quais sejam:

- a) Determinação da massa (cálculo da concentração de massa total do MP);
- b) Caracterização física (determinação da distribuição gravimétrica do MP);
- c) Caracterização química (análise da composição química do MP).

Neste estudo serão adotados dois tipos de análises que são: determinação de massa e caracterização química.

2.4.1 Determinação da massa

Segundo a UNEP/ OMS (1994) existem quatro técnicas para a determinação da massa total de partículas em filtros: Gravimetria, Radiometria/ Atenuação β e Nefelometria/ Espalhamento de luz.

Neste estudo será adotada a técnica da gravimetria que consiste em determinar a massa total do MP coletado em filtros. A massa é obtida em uma balança eletrônica analítica com sensibilidade de 0,1 mg. Nesta técnica os filtros são pesados antes e depois de cada amostragem com o intuito de determinar a massa líquida de material particulado coletado. De acordo com a NBR 9547 (ABNT, 1986), os filtros “virgens” bem como os já amostrados, são acondicionados no laboratório 24hs antes de cada pesagem para manter a temperatura entre 15 e 30° C e uma umidade relativa abaixo de 50%. Neste estudo adotaremos a técnica da gravimetria.

2.4.2 Caracterização Química

As análises químicas permitem obter uma série de informações referentes ao material que está sendo estudado, tais como a identificação dos elementos químicos presentes (análise qualitativa) e sua quantificação (análise quantitativa). Por esta caracterização também podem

ser obtidas informações quanto à origem, características e particularidades do material analisado (ALMEIDA, 1999).

Uma grande variedade de técnicas de análises químicas está disponível para identificar a composição do MP coletado. Essas técnicas são utilizadas para determinar grupos iônicos e metais.

A análise química do material do MP coletado em filtros é usualmente realizada com a finalidade de determinar a presença de componentes específicos desse particulado, tais como metais, além de fornecer a caracterização básica das partículas como sendo orgânica ou inorgânica na origem. Essa caracterização composicional torna-se importante para uma avaliação dos efeitos potenciais do MP à saúde humana e ao meio ambiente, assim como para uma investigação da contribuição de diferentes fontes de partículas do MPS (ALMEIDA, 1999; ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

De acordo com UNEP/OMS (1994), existem sete técnicas analíticas disponíveis que são utilizadas na obtenção da caracterização química de elementos presentes em amostras de MPS, são elas:

- a) Fluorescência de Raio-X;
- b) Análise por ativação de nêutrons (NAA);
- c) Emissão de Raio X por partículas induzidas (PIXE);
- d) Espectrometria de emissão atômica por plasma;
- e) Espectrometria de emissão atômica por plasma induzido (ICP-AES);
- f) Espectrometria de massa por plasma induzido (ICP-ACS);
- g) Cromatografia Iônica (IC).

Exemplos de estudos que utilizaram a análise química e física para caracterizar o material particulado são os de Albuquerque (2005); Barbosa (2007); Maioli (2011) e Machado (2012).

O presente estudo utilizará a técnica de Fluorescência de Raio-X para determinar a composição elementar do material particulado coletado nas diferentes frações PTS e MP10, pois este tipo de análise possibilita quantificar os elementos de número atômico de 11 a 82 (do Na ao Pb) da tabela periódica, sendo possível assim, identificar os elementos químicos presentes nas amostras.

2.5 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

A poluição ocorre quando a alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera resulta em danos reais ou potenciais à saúde humana, a fauna, a flora, aos ecossistemas em geral, aos materiais e a propriedade ou afeta as atividades normais da população ou seu bem estar (ASSUNÇÃO, HASEGAWA, 2001). Para tanto, são estabelecidos valores de referência para diferenciar uma atmosfera poluída de uma não poluída. Esta diferenciação é feita por meio de padrões de qualidade do ar que são concentrações de poluentes atmosféricos que se ultrapassados poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população (Padrão Primário), bem como ocasionar danos a flora e à fauna, aos materiais e ao ambiente em geral (Padrão Secundário). Esses padrões foram baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos (CETESB, 2004).

A importância do monitoramento da qualidade do ar é fornecer dados para ativação de ações de emergência, quando os níveis de poluentes representem risco a saúde pública, além de subsidiar na monitorização das mudanças da qualidade do ar devido às alterações nas emissões de poluentes e avaliar a qualidade do ar de acordo com os limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem estar da população (LISBOA; KAWANO, 2007). O objetivo de se estabelecer os padrões secundários é se estabelecer uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar em áreas de preservação (CETESB, 2004).

Para atingir o valor de referência de qualidade do ar, a OMS propõe uma evolução progressiva, onde metas devem ser alcançadas por níveis, e quando atingidos, novas ações devem ser adotadas para que se atinja o nível subsequente (OMS, 2006).

Estes valores têm como objetivo orientar os países a desenvolverem e revisarem seus padrões nacionais. Em geral, apresentam valores de referência expressos em valores numéricos de concentração ambiental, ou nível de efeito relacionados a um tempo médio de exposição. As primeiras diretrizes datam de 1987, tendo sido revisados em 1997 (publicados em 2000) e em 2005. O processo de revisão baseia-se em estudos científicos mais recentes sobre o efeito da poluição à saúde e leva em conta a opinião dos gestores de qualidade do ar e de responsáveis pelas políticas públicas, quanto à lógica e ao formato das diretrizes, a fim aperfeiçoar sua aplicabilidade em várias partes do mundo (SANTANA, 2012).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Número 03, de 28 de Junho de 1990 (CONAMA, 1990), prevê a aplicação diferenciada dos padrões primários e secundários

dividindo a sua aplicação em classes de área: Classe I, Classe II e Classe III. Esta Resolução prevê ainda, que quando não forem estabelecidas as classes, devem-se utilizar os padrões primários, conforme Tabela 3.

Os padrões nacionais de qualidade do ar e episódios críticos de poluição estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03 de 1990 há 25 anos, ainda hoje em vigor, encontram-se desatualizados face aos novos conhecimentos científicos, especialmente da OMS, em prejuízo à transparência da informação e ao combate dos altos níveis de poluição atmosférica e seus efeitos sobre a saúde da população.

O Brasil é tido como o penúltimo país a ter alterado o padrão, na década de 90, comparado aos outros países que vêm estabelecendo a atualização de seus padrões desde então (VAHLSING; SMITH, 2012). Atualmente a Resolução CONAMA nº 03/1990 está em discussão no Conselho Nacional do Meio Ambiente. O Grupo de trabalho aprovou a atualização dos padrões seguindo a referência da OMS, no entanto, não houve consenso sobre o prazo para se atingir os nove anos, escalonados em metas intermediárias para se atingir o 9º padrão final. De outro, o Ministério do Meio Ambiente, órgãos ambientais e a Confederação Nacional das Indústrias defendem o escalonamento de metas intermediárias, sem prazo definido, a depender da avaliação própria dos estados na capacidade de se atingir a meta intermediária da próxima etapa. A adesão deste impasse cabe à Câmara Técnica.

Tabela 3 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

(Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrões Primários µg/m³	Padrões Secundários µg/m³	Método de medição
Partículas Totais em Suspensão	24 horas(1) mga (2)	240 80	150 60	Amostrador de Grande Volume
Partículas Inaláveis (MP10)	24 horas(1) maa (3)	150 50	150 50	Separação Inercial/ Filtração

Fonte: CETESB (2004)

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

(2) – Média geométrica anual.

(3) – Média aritmética anual.

A CONAMA nº 03 (CONAMA, 1990) 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, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar
(Resolução Conama Nº 03 de 28/06/90)

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 (2004)

A Tabela 5 apresenta os padrões de qualidade do ar estabelecidos para o material particulado em alguns países incluindo as diretrizes da OMS.

Os padrões de qualidade do ar norte-americanos (NAAQS – *National Ambient Air Quality Standards*) são regidos pelo *Clean Air Act* de 1990. Em 2006 os padrões norte-americanos para material particulado sofreram algumas alterações que permanecem em vigor até os dias de hoje. O padrão anual para MP10 foi revogado devido à falta de evidências que ligam problemas de saúde a exposição em longo prazo e o padrão de 24 horas para MP2,5 passou de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e manteve o padrão anual de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SANTIAGO, 2013).

Tabela 5 - Critérios de Qualidade do Ar adotados no mundo

País /Poluente - Padrão	PM _{2,5} Padrão Primário	PM ₁₀ Padrão Primário	Tempo de amostragem	Fonte
OMS	10 25	20 50	Anual 24 horas	PACYNA (2005)
EUA	15 35	Revogado 150	Anual 24 horas	US EPA (2006)
REINO UNIDO	25 -	40 50	Anual 24 horas	<i>Air Quality Standards Regulation</i> (2010)

Fonte: Adaptado de PACYNA (2005); USEPA (2006) e *Air Quality Regulation* (2010)

O *Clean Air Act* estabelece padrões nacionais de qualidade do ar, mas delega aos estados a responsabilidade de garantir que os padrões sejam atendidos. O principal argumento desta ação é que cada estado possui particularidades, que às vezes precisam de mais rigor que os padrões nacionais, podendo assim, estabelecer padrões mais rigorosos, mas nunca menores

do que os exigidos na lei nacional. Com isso, os estados criaram um Plano de Implementação Estadual (*State Implementation Plan - SIP*), para aprovação do USEPA, onde colocaram as condições que seriam utilizadas para atenderem aos requisitos do *Clean Air Act* (SANTIAGO, 2013).

Os padrões de qualidade do ar na Inglaterra são regidos pela parte IV do *Environment Act* de 1995 e seguem os limites dispostos no “*The Air Quality Standards Regulations 2010*”, que estabelece os valores-limite para o material particulado recomendado pela “*Directiva 2008/50/CE*” do Conselho da União Europeia. Nela não há a divisão entre padrão primário e secundário, existindo um único padrão. Porém estabelece os limites anuais para o MP2,5.

Comparando com os padrões brasileiros, as metas propostas pela OMS são mais restritivas, além de propor padrões para MP2,5 que não são previstos atualmente na legislação nacional. Para MP10 o padrão brasileiro estabelece concentração média anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quando o ideal segundo a OMS é de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; e para concentração de 24 horas o padrão nacional é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto o estabelecido pela organização é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comparando a legislação brasileira e a americana observa-se que a legislação brasileira não tem parâmetros para MP2,5, enquanto que a americana não tem parâmetros para PTS. Além disso, na legislação brasileira existe diferença de valores entre os padrões primários e secundários, ao passo que a americana adota os mesmos valores.

Os padrões britânicos são mais rigorosos quando comparados aos padrões brasileiros e norte-americanos, sendo a concentração de MP10 para 24 horas de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no Reino Unido contra $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no Brasil e nos EUA e a média anual estabelecida é de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto a média no Brasil é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Além disso, a legislação britânica estabeleceu prazo para redução de exposição ao MP2,5 a um limite abaixo de 8,5% até o ano de 2020. Neste sentido, os padrões ingleses são os mais próximos dos padrões ideais da OMS.

No presente projeto serão adotados os padrões nacionais e os padrões estabelecidos pela OMS para efeito de comparação com os níveis de concentração obtidos nos canteiros de obra para PTS e MP10.

2.6 MATERIAL PARTICULADO NO CANTEIRO DE OBRAS

Embora haja o reconhecimento de que a atividade de construção civil constitui uma importante fonte de emissão de material particulado (MP), até recentemente, poucas pesquisas haviam sido direcionadas para a sua caracterização (MULESKI *et al.*, 2005).

A atividade de construção se diferencia de outras fontes, por exemplo, das fontes fixas, na estimativa direta e no controle de suas emissões. A construção consta de uma série de operações e atividades diferentes, cada uma com um tempo de duração próprio e uma geração potencial de MP, ou seja, se podem esperar emissões isoladas em qualquer local dentro de uma construção, tendo uma origem definida e um destino que pode variar substancialmente em fases diferentes do processo de construção (MUÑOZ; PALACIOS, 2001).

De acordo com *Countess Environmental* (2006), Resende (2007) e *California Natural Resources Agency Guide* (CEQA, 2013), as emissões geradas a partir de atividades de construção comuns incluem:

- a) Emissões de escape de material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NOx) da queima de combustíveis de veículos pesados a diesel e equipamentos movidos à gasolina, equipamento auxiliar portátil, caminhões de entrega de material e de viagens diárias de troca de trabalhadores.
- b) Poeira de MP fugitiva (proveniente de atividades não fixas) da movimentação de solo e da atividade de demolição, limpeza e estocagem, perfuração, serragem, produção de concretos e argamassas.
- c) Emissões por evaporação de gases orgânicos reativos, compostos orgânicos voláteis (COV) de atividade e da aplicação de revestimentos arquitetônicos de pavimentação. A aplicação de revestimentos arquitetônicos normalmente é uma das maiores fontes de emissões ROG (*Reactive Organic Gases*) ou COV durante a atividade de construção.
- d) Emissões de escape de gases de efeito estufa (GEE) como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

No caso específico do canteiro de obras, o material particulado é constituído de pó de cimento, gesso, cal, argamassa industrializada, poeira do solo, entre outros (RESENDE, 2007). As emissões secundárias (emissões não relacionadas diretamente às atividades de construção), apesar de não tão significativas, devem ser consideradas na elaboração de estratégias de redução do impacto ambiental no canteiro de obras, como é o caso das emissões

de gases provenientes da queima de combustíveis de veículos e da queima de madeira (RESENDE, 2007).

A variedade de atividades desenvolvidas dentro de um canteiro de obras faz com que, ao longo da execução da obra, sejam criadas fontes de emissão de material particulado de características diversificadas, sobre vários aspectos (concentração produzida, tamanho das partículas, tempo de emissão, entre outros) (RESENDE, 2007).

Não só as atividades de construção devem ser consideradas, mas também as emissões dos veículos em estrada associadas com o local de construção. Estas questões específicas do local são identificadas na Avaliação de Risco da Qualidade do Ar e devem ser consideradas antes do processo de planejamento de uma construção (LONDON COUNCILS, 2006).

De acordo com a literatura do tema, métodos de estimativas aplicados sugerem que as atividades de movimentação de terra poderiam corresponder de 70 a 90% do MP10 (partículas menores ou iguais a 10 µm de diâmetro aerodinâmico ou 10 µm) das emissões estimadas para qualquer local de construção (MULESKI *et al.*, 2005). Além das operações de corte e aterro, uma variedade de outras operações em canteiros de obras exige o carregamento, transporte e descarga de material agregado (MULESKI *et al.*, 2005).

Outra fonte importante de emissões de MP ligada a movimentação de terra é a lama e a sujeira aderida nos pneus dos veículos que saem dos canteiros para as estradas adjacentes pavimentadas, onde o tráfego da área pulveriza e ressuspende muito do material particulado. O transporte com distância entre 300-600 m produzirá 10 vezes a massa de emissões de MP10 que é produzido, pela carga e descarga. Emissões de MP10 de carga / descarga de raspadores podem variar de 0,5 a 500 kg por 800 m³ (1-1000 kg por 1000 m³), dependendo das propriedades de volume do solo a ser transportado e o tipo de equipamento a ser utilizado (MULESKI *et al.*, 2005).

De acordo com *London Councils* (2006), o potencial para um local de demolição ou construção impactar os receptores sensíveis é dependente de muitos fatores, conforme a seguir:

- a) localização do canteiro de obras;
- b) proximidade de receptores sensíveis;
- c) ocorrência de demolição no local;
- d) extensão de qualquer escavação;

- e) natureza, localização e tamanho dos estoques e período de tempo que eles ficarão no local;
- f) ocorrência e escala de atividades geradoras de poeira - incluindo o corte, moagem e serração;
- g) necessidade de triturador de concreto no local ou dosadores de cimento;
- h) número e tipo de veículos e instalações necessárias no local;
- i) potencial de poeira ou lama a ser gerada pela movimentação de veículos e;
- j) condições meteorológicas.

Um pequeno número, ou mesmo um destes fatores podem ser a causa do maior impacto ou prolongamento do mesmo sobre os receptores sensíveis.

Os efeitos nocivos mais significativos dos canteiros de obra estão limitados ao próprio canteiro de obras (danos ao funcionamento de máquinas e equipamentos, danos à saúde, à segurança e ao conforto dos trabalhadores, entre outros) e ao meio ambiente vizinho, visto que a fração grossa do material particulado gerada pelos canteiros tem velocidade de deposição maior, fazendo com que elas se sedimentem rápido e causem efeitos localizados, abrangendo no máximo alguns quilômetros, ao contrário das emissões de fração fina, que podem viajar milhares de quilômetros (RESENDE, 2007; USEPA, 2004).

O Quadro 2 apresenta um resumo dos efeitos nocivos potenciais da poluição por material particulado gerado a partir dos canteiros de obras, baseado no *Building Research Establishment- BRE* (2003).

Quadro 2 – Efeitos nocivos potenciais da emissão de material particulado a partir dos canteiros de obras

Recursos Afetados	Efeitos Nocivos Potenciais
Pessoas	Efeitos à saúde por partículas que causam irritação nos olhos, boca e pele, cabelo e lábios ou penetram o sistema respiratório, causando problemas respiratórios ou cardíacos.
	Danos aos materiais e propriedades por deposição e lavagem frequente das superfícies.
Paisagem	Perda da identidade visual por deposição de partículas.
Conservação Natural	Recobrimento da superfície das folhas, causando sombreamento, com conseqüente redução da fotossíntese, alteração dos níveis de pigmentação e/ou redução de produtividade.
	Bloqueio dos poros estomacais limitando as funções naturais das plantas.
	Alteração das propriedades químicas das folhas deixando-as suscetíveis a doenças.
	Adição de nutrientes por presença das partículas causando deficiência às plantas.

Quadro 2 (Continuação) - Efeitos nocivos potenciais da emissão de material particulado a partir dos canteiros de obra

Recursos Afetados	Efeitos Nocivos Potenciais
Conservação Natural	Poluição do solo por deposição ou carreamento da água da chuva.
	Criação de filme sobre a superfície de corpos hídricos por deposição.
	Mudança nos níveis de PH, quando as partículas possuem diferentes níveis de PH, em relação ao solo (partículas de cimento, por exemplo, são altamente alcalinas).
Ambiente Aquático	Aumento de partículas suspensas ou dissolvidas alterando a ecologia aquática.
Qualidade do ar	Aumento da concentração de partículas poluentes causando deterioração da qualidade do ar.

Fonte: BRE (2003)

Segundo Resende (2007), para se avaliar o grau de emissão dentro dos canteiros de obra, deve ser realizada a avaliação por sobreposição de atividades num dado instante visando prever a sua total emissão. Alguns aspectos influenciam diretamente no volume de emissão, tais como:

- a) quantidade de material que está sendo manuseado ou manipulado;
- b) tipo de material que está sendo manuseado ou manipulado;
- c) dispositivo de controle utilizado;
- d) tecnologia construtiva utilizada.

Para efeito deste estudo será dada ênfase na fase de obra bruta ou superestrutura (estrutura e alvenaria). Desta forma será apresentada uma breve caracterização das matérias primas/ insumos encontrados nesta fase de produção.

2.6.1 Fase de Obra Bruta na Construção de Edificações

A fase de obra bruta é composta de serviços como fôrma (corte, montagem e colocação), armação (corte, montagem e colocação), concretagem (lançamento e cura) e desfôrma. O concreto armado, por sua vez, é uma mistura de agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados), agregados miúdos (areia e pedregulhos), aglomerantes (cimento ou cal), água e aditivos (corantes, aceleradores, fibras). A atividade de alvenaria é compreendida

como o conjunto de paredes, muros e obras similares, compostos de pedras naturais e/ou blocos ou tijolos artificiais, ligados ou não por argamassa.

O Quadro 3 relaciona os materiais, agregados e aglomerantes que são utilizados na fase de obra bruta da construção. Esses materiais quando utilizados, quer pelas atividades de manuseio e transporte ou pela atividade de manipulação, pela quebra ou corte com ferramentas, geram poeira que apresentam partículas de constituição diversa, tais como a sílica cristalina e outros materiais que não têm teor significativo para serem detectados como partícula suspensa no ar. É o caso da madeira, do gesso e do ferro, que também geram poeira pelo manuseio e/ou manipulação, e quando detectadas em nível elevado são chamadas de poeiras incômodas (MARTINS, 2009).

Quadro 3 – Relação de materiais usados na fase de obra bruta da construção

Materiais	Composição
Argamassa (Aglomerante)	Aglomerante, agregados miúdos e água, cimento, cal, gesso; agregado miúdo: areia. Quanto ao tipo de aglomerante: <ul style="list-style-type: none"> • aéreas (cal aérea, gesso); • hidráulicas (cal hidráulica, cimento); • mistas (cimento e cal aérea).
Cal (Aglomerante)	A cal é composta de 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.
Areia (Agregado)	A areia é formada, principalmente por quartzo (SiO ₂), mas dependendo da composição da rocha da qual é originária, pode agregar outros minerais como: feldspato, mica, zircão, magnetita, ilmenita, monazita, cassiterita, entre outros.
Brita (Agregado)	A pedra utilizada no concreto pode ser de dois tipos: seixo rolado de rios, cascalho ou pedregulho; pedra britada ou brita. A pedra britada é composta por basalto, é uma rocha bastante escura, compacta, por vezes com cavidades, apresentando alguns cristais desenvolvidos sobre a massa compacta. A composição química dos basaltos é muito constante, variando o teor de SiO ₂ entre 45 e 55%. Os teores de Cálcio, Ferro e Magnésio são elevados e o de Potássio é pequeno.
Cimento (Aglomerante)	As matérias primas do cimento são calcário, argila, gesso e outros materiais denominados adições. Argila + calcário + clínquer + gipsita = cimento O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produto da mistura do clínquer com gesso e materiais do tipo pozolâmicos, escórias granuladas de alto forno e/ou materiais carbonáticos, em proporções adequadas. O clínquer: formado por cal, sílica, alumina e óxido de Fe (Silicato tricálcico (CaO) ₃ SiO ₂ e Silicato dicálcico (CaO) ₂ SiO ₂), Aluminato tricálcico (CaO) ₃ Al ₂ O ₃ , Ferroatluminatotetracálcico (CaO) ₄ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ .
Concreto (Material composto)	Mistura de cimento, areia, pedras britadas e água, além de outros materiais eventuais, os aditivos.
Aço (Material)	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.

Quadro 3 (Continuação) – Relação de materiais usados na fase de obra bruta da construção

Materiais	Composição
Gesso (Aglomerante)	Agglomerante 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 hemidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ c/ 95% de pureza.
Argila (Agregado)	A argila empregada na fabricação do cimento é essencialmente constituída de um silicato de alumínio hidratado, geralmente contendo ferro e outros minerais, em menores porcentagens. A argila fornece os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 .
Madeira (Material)	Material composto de Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N), este em pequenas quantidades.
Tijolo (Material)	Resultado da modelagem e queima da mistura de argilas, que apresenta alto teor de sílica $\text{SiO}_2 = 51,67\%$, óxido de alumínio $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,78\%$; óxidos corantes como Fe_2O_3 e TiO_2 , entre outros óxidos.

Fonte: BAUER (2007); SANTOS (2003); VIEIRA (2000)

A análise da composição mineralógica pelo método de Difração de Raios-X indica que os minerais presentes em maior abundância, tanto no PTS como no MP10 são a calcita (>30%) e o quartzo (de 10 a 30%). Os óxidos de ferro estão presentes nas frações menores que 10% (Trabalhos Feitos, 2011).

2.7 MEDIDAS DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM CANTEIROS DE OBRAS

Devido à grande variedade de alternativas construtivas, de características de exposição do meio ambiente atingido, de dimensões dos serviços, entre outros aspectos, a atividade de controle e prevenção das emissões durante os serviços de construção podem ser diversificadas e específicas para cada tipo de obra (LONDON COUNCILS, 2006). De acordo com *London Councils* (2006), as fontes mais comuns de poeira incluem: atividades de demolição, atividades de preparação do local, as atividades de construção, movimento dos veículos e estoques descobertos.

Neste caso, o planejamento do controle das emissões antes do início da obra é de fundamental importância. O controle da poeira eficaz pode ajudar a mitigar alguns destes efeitos, resultando em inúmeros benefícios (LONDON COUNCILS, 2006). O ideal é que seja realizada a avaliação de impacto ambiental e identificado que o ambiente é sensível ao volume potencial de poluição ou incômodo por material particulado que serão gerados. Um dos critérios que podem ser utilizados visando à redução da poluição é a escolha de sistemas construtivos sustentáveis que reduzam os impactos no ambiente (FUNDACENTRO, 2010).

É essencial dispor de medidas de controle de emissão de material particulado eficazes no canteiro para cada atividade geradora de material particulado realizada no local, não só para proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores no local, mas também a vizinhança da localidade (LONDON COUNCILS, 2006).

As medidas de controle podem ser classificadas como de caráter coletivo e de engenharia, se projetada e aplicada nos ambientes e nas fontes de geração de material particulado nos processos, como nos sistemas de ventilação local exautora, ou de caráter administrativo, como aquelas inseridas nos programas de gestão de risco, de caráter individual, como a utilização de equipamentos de proteção respiratória e de vestimentas adequadas, e também, como de ordem geral, por meio da limpeza e da sinalização dos locais de trabalho (FUNDACENTRO, 2010).

A avaliação do impacto da qualidade do ar aplica-se a toda atividade de construção propostas, incluindo limpeza local, demolição e fases de construção. A avaliação do local deve ser realizada antes de qualquer atividade de trabalho começar no local (LONDON COUNCILS, 2006).

De acordo com *London Councils* (2006), para controlar a atividade de demolição e construção, é importante avaliar o risco da emissão de poluentes no canteiro. Prevê-se que com esta abordagem se trará benefícios adicionais, tais como uma redução no número de queixas de incômodo, a maioria das quais relacionadas com a emissão de partículas e o ruído emitido a partir das atividades de construção.

Na fase de planejamento prévio o gestor da obra ou o construtor deve: identificar se o local de demolição / construção representa um risco baixo, médio ou alto; determinar os riscos e as medidas de controle que podem ser exigidas pela autoridade de planejamento local (LPA) para mitigação; e realizar uma Avaliação de Risco de Qualidade do Ar e indicar de que forma cada um dos riscos serão mitigados no local (LONDON COUNCILS, 2006).

Para implantação das medidas eficazes de controle deve-se levar em conta o tamanho e a escala do empreendimento. Para se avaliar o potencial impacto de uma demolição ou construção deve-se considerar: a área ocupada pelo empreendimento; o número de propriedades que estão sendo construídas ou demolidas; e o potencial impacto do empreendimento sobre os receptores sensíveis, a proximidade com o empreendimento, por exemplo, habitação, escolas, hospitais e outras edificações que seriam afetadas por altos níveis de poluição do ar ou poeira (LONDON COUNCILS, 2006).

O controle da poeira eficaz pode ajudar a mitigar alguns efeitos causados pela poluição, trazendo inúmeros benefícios para os diferentes intervenientes da construção, como para os construtores através da melhor reputação empresarial e com as autoridades reguladoras, melhores, além de melhorias nas relações de trabalho com clientes e vizinhança e trabalhadores. Para a vizinhança e a comunidade ocorrem menos interrupções na vida cotidiana, traz redução dos riscos para a saúde, além de menos danos para as propriedades e pertence. Já para o ambiente pode reduzir a poluição do ar, água e os distúrbios para a fauna e flora existentes (LONDON COUNCILS, 2006).

O Quadro 4 apresentam algumas medidas de controle ou boas práticas relevantes e viáveis citadas por alguns estudos e guias práticos como Resende (2007), Martins (2009), *London Councils* (2010) e *Greater London Authority* (2014) com vista a proteger a saúde da população e o meio ambiente, bem como fornecer um mecanismo para lidar com os impactos cumulativos de canteiros de obras.

Quadro 4 – Medidas de Controle de Caráter Geral

	Medidas de Controle	Referências
Medidas de Caráter Geral	- Planejar o canteiro de forma a evitar grandes deslocamentos para descarga de matérias; - evitar operações de transporte dentro da obra.	Resende (2007), <i>London Councils</i> (2010) e <i>Greater London Authority</i> (2014)
	- Instalar dutos de transporte vedado para evitar o carregamento de partículas pela ação do vento durante o descarregamento de materiais.	Resende (2007), <i>London Councils</i> (2010) <i>Greater London Authority</i> (2014)
	- Limpar o canteiro frequentemente, buscando evitar a varrição a seco; - Realizar aspiração mecânica e lavagem das superfícies ao invés de varrição (utilizar água de reuso nesta atividade).	Resende (2007), Martins (2009).
	- Limpar o local de entrada dos veículos e as redondezas do canteiro de obra, evitando a limpeza a seco (sugere-se limpeza utilizando vassoura hidráulica).	Resende (2007), Martins (2009).
	- Utilizar lonas impermeáveis em caminhões quando estes estiverem saindo do canteiro de obras com materiais pulverulentos.	Resende (2007), <i>London Councils</i> (2010) e <i>Greater London Authority</i> (2014)
	- Lavar as rodas dos caminhões que entram e saem do canteiro de obras (coletar a água de lavagem para utilização em outra atividade); - Umidificar as rotas dos veículos;	Resende (2007), <i>London Councils</i> (2010) e <i>Greater London Authority</i> (2014).

Quadro 4 (continuação) – Medidas de Controle de Caráter Geral

	Medidas de Controle	Referências
Medidas de Caráter Geral	<ul style="list-style-type: none"> - Limitar a velocidade para os veículos em torno do local da obra; - Não deixar veículos em marcha lenta desnecessariamente. Evitar o uso de geradores a diesel ou gasolina usando a rede elétrica ou equipamento alimentado por bateria ou painéis fotoelétricos, sempre que possível; - manter regularmente os motores e sistemas de exaustão de acordo com as recomendações do fabricante. 	<i>London Councils</i> (2010) e <i>Greater London Authority</i> (2014)
	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar o lançamento de materiais em caçambas ou caminhões a partir de grandes alturas; - Utilizar lonas para cobrir os estoques de terra; - Revegetar áreas expostas para estabilizar as superfícies; - Remover todos os materiais perigosos antes da demolição. 	<i>London Councils</i> (2010) e <i>Greater London Authority</i> (2014)
	<ul style="list-style-type: none"> - Revegetar áreas expostas para estabilizar as superfícies; - Evitar estoques de longo prazo; - Usar juta, coberturas ou aditivos nos locais onde não é possível revegetar ou fazer cobertura com terra vegetal; 	<i>London Councils</i> (2010).
	<ul style="list-style-type: none"> - Levantar em consideração a direção do vento predominante para armazenamento de materiais para reduzir a probabilidade de afetar os receptores sensíveis; - Armazenar o material fino ou em pó no interior dos edifícios ou recintos; - Manter os estoques longe do perímetro local de receptores sensíveis e cursos d'água; - Evitar a queima de materiais no local. 	Resende (2007), <i>London Councils</i> (2010) e <i>Greater London Authority</i> (2014)
	<ul style="list-style-type: none"> - Reutilizar os materiais, sempre que possível, para evitar viagens desnecessárias; 	<i>Greater London Authority</i> (2014)
Medidas Construtivas	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar tecnologias construtivas industrializadas; - Cercar a obra com telas de poliéster com malha fina ou outras barreiras físicas; 	Resende (2007), <i>London Councils</i> (2010)
	<ul style="list-style-type: none"> - Garantir que apenas os materiais necessários acessem o local de trabalho; 	Resende (2007), Martins (2009), <i>London Councils</i> (2010)
	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar a molhagem moderada e periódica do solo, principalmente durante as atividades de execução de fundações; 	<i>London Councils</i> (2010).
	<ul style="list-style-type: none"> - Executar cortes e perfurações em bancadas, em locais isolados do vento; - Realizar a atividade em ambiente fechado com o uso de coifa exaustora e filtro (no caso de grandes emissões). 	Resende (2007), Martins (2009)
	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar cortes com serrotes dentro de caixote coletor que fique fechado após a utilização; - Utilizar coletores de pó acoplados as serras e perfuratrizes ou realizar o serviço com água (a água deve ser coletada); 	Martins (2009)

Quadro 4 (continuação) – Medidas de Controle de Caráter Geral

Medidas Construtivas	Manter a área umedecida após a atividade de demolição; - Retirar o quanto antes do local os resíduos da obra; - Devem-se evitar demolições quando o vento estiver muito intenso; - Utilizar a aspersão de água antes e durante a etapa de demolição e proteger a obra por andaimes fachadeiros e telas;	Resende (2007), Martins (2009), <i>London Councils</i> (2010)
	- Preferir demolições manuais ou mecanizadas e evitar demolições com o uso de explosivos;	<i>London Councils</i> (2010); <i>Greater London Authority</i> (2014)

Fonte: Própria

3. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta a estratégia de pesquisa que foi adotada para alcançar os objetivos traçados, para tanto este estudo foi dividido em etapas: Pesquisa Bibliográfica, estudo experimental desenvolvido em quatro canteiros, análise das amostras e a análise comparativa dos resultados. A seguir serão apresentados os equipamentos utilizados nas amostragens, o detalhamento do estudo experimental com os tipos de análises que serão realizadas nas amostras coletadas bem como a caracterização dos canteiros estudados.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada foi o experimento de campo por meio do método hipotético dedutivo, pois visa entender de que modo ou por que o fenômeno é produzido, além de manipular de forma direta as variáveis relacionadas com os objetos de estudo. Por meio deste estudo foram procuradas as evidências para confirmação das hipóteses lançadas.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa envolveu as seguintes etapas: (a) pesquisa bibliográfica nacional e internacional, (b) estudo experimental em quatro canteiros de obras; (c) análise das amostras e (d) análise comparativa dos resultados, conforme Figura 5.

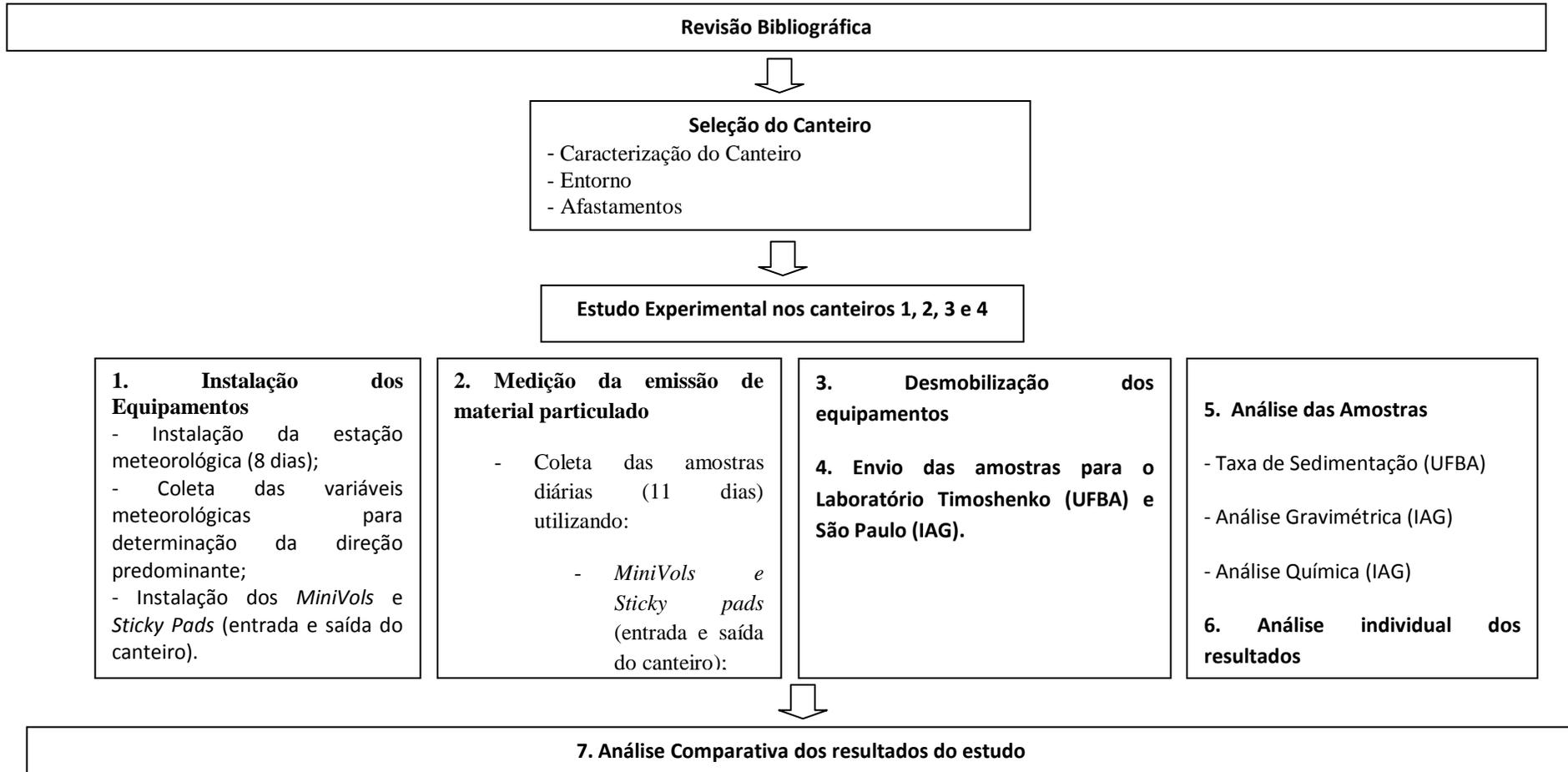
A Pesquisa bibliográfica nacional e internacional teve como objetivo dar embasamento teórico para desenvolvimento da pesquisa em todas as suas etapas através do levantamento histórico e atualizações sobre o tema, além de levantar contradições e encontrar respostas para os problemas levantados. Conforme já apresentado, foram discutidos os temas poluição atmosférica, material particulado, material particulado no canteiro de obra, controle e monitoramento do material particulado em canteiros de obra. Essa pesquisa foi realizada a partir da consulta a artigos, livros, dissertações, teses, revistas científicas relevantes, legislações, normas técnicas e via internet.

O Estudo Experimental foi realizado em quatro canteiros de obras habitacional e teve como objetivo medir as concentrações de material particulado nas frações MP10 e PTS e a sua composição química durante a jornada de trabalho de 8h utilizando *MiniVols*, as variáveis meteorológicas por meio de estação meteorológica, incluindo direção de vento, velocidade de vento, temperatura, pressão, umidade e precipitação de chuva, as atividades de construção realizadas durante o período do estudo e a taxa de sedimentação do material particulado por meio de adesivos *Sticky Pads*.

A etapa de **Análise das amostras** teve a finalidade de caracterizar de forma qualitativa as amostras coletadas em cada canteiro de obras estudado. A determinação da massa visou identificar a quantidade de material particulado de cada amostra em questão e a análise química determinou a composição do material. Esta etapa teve também como objetivo entender o impacto das atividades realizadas nesta fase de construção e das variáveis meteorológicas nas concentrações e composição química de cada canteiro de obra estudado, sob condições determinadas.

A última etapa de Análise comparativa dos resultados teve como objetivo comparar as concentrações e composições analisadas dos canteiros estudados, buscando estabelecer correlações entre os resultados mensuráveis que foram obtidos nos diferentes canteiros na mesma fase de execução sob as condições estudadas. Além disso, buscou-se comparar os resultados com o canteiro de obras estudado por Araújo (2014), em estudo prévio.

Figura 5 – Delineamento da Pesquisa



Fonte: Própria

3.2.1 Equipamentos utilizados

Para o monitoramento do material particulado no canteiro de obras foram utilizados amostradores *MiniVols* com impactador projetado para diâmetros de corte de PTS e 10 μm , fabricado pela *Airmetrics*, calibrado para operar com uma vazão de 5,0L/min na condição padrão (760mmHg e uma temperatura de 298°K) (AIRMETRICS, 2011). O critério adotado para amostragem do material particulado foi o de ponto fixo, útil para fornecer valores de concentrações locais instantâneas ou médias. A Figura 6 ilustra o amostrador que foi utilizado para coleta do material particulado.

A entrada do amostrador é composta de um impactador que separa as partículas pelo seu tamanho, sendo a eficiência de coleta das partículas de tamanho definido. A entrada do amostrador sem o uso do impactador corresponde à eficiência de coleta para partículas PTS. Para manter esses diâmetros de corte, a vazão do amostrador foi ajustada para as condições de temperatura e pressão local, de modo que a vazão que passa pelo impactador fosse mantida em 5,0L/min. A Figura 7 ilustra o esquema de montagem do impactador de # 10 μm / filtro. O mesmo conjunto sem impactador representa o conjunto PTS.

Figura 6– Amostrador Portátil *MiniVol*



Fonte: Adaptado de *Airmetrics* 2002

Figura 7 – Impactador que separa partículas por tamanho



Fonte: Adaptado de *Airmetrics* 2002

Neste estudo foram utilizados filtros de membrana de policarbonato da *Whatman* para medir o MP10 e os filtros de Teflon da Millipore para medir PTS, visto a não existência, no mercado de filtros de policarbonato para esta fração. Os filtros de Teflon não se ajustam no EDX 700 HS, por este motivo não foram realizadas as análises de Raio-X para as amostras de PTS.

Os filtros de policarbonato são melhores para análise microscópica por possuírem superfície lisa que permite observar maiores detalhes de partículas individuais (WILLIS; CONNER, 2003; MOGO *et al.*, 2005).

Foram também instaladas fitas adesivas, denominadas de *Sticky pads*, em vários pontos dentro do canteiro, como uma segunda forma de avaliar a sedimentação de poeira dentro do próprio canteiro. A vantagem deste método é que ele fornece a taxa de sedimentação de imediato, sem a necessidade de serviços laboratoriais, além de ser um método econômico, podendo ser realizado em diversos pontos para determinação da direção de onde surge a poeira (Método Direcional). Entretanto, como já mencionado no item 2.3, este método é suscetível às precipitações ou ventos.

A medição com *Sticky Pad* foi utilizada para ratificar a medição com os amostradores *MiniVols* e ao mesmo tempo testar como uma medida de controle de baixo custo, que poderá ser adotada pelos canteiros de obras para monitoramento contínuo e rápido dos níveis de

emissão de poeira. A Figura 8 ilustra o adesivo *Sticky Pad* utilizado para coleta da poeira sedimentável.

Figura 8 – Adesivo *Sticky Pad*



Fonte: *Air Quality & Greenhouse Gas Management* (2010)

Para quantificação da poeira sedimentável é feita a leitura da área efetiva coberta por partícula (EAC%) por dia, que é relacionada com o valor de referência do incômodo gerado (Tabela 7).

Para monitoramento das condições climáticas (velocidade de vento, temperatura, umidade e precipitação de chuva) e determinação da direção do vento foi utilizada uma estação meteorológica *DAVIS Vantage VUE*.

Os dados registrados pela estação meteorológica são de temperatura e umidade externa e interna, pressão barométrica, velocidade e direção do vento, ponto de orvalho, precipitação, radiação solar e UV, possuindo uma Rosa-dos-ventos dividida em 16 direções, exibindo a direção do vento com resolução de 1 grau e medindo a velocidade. Estes dados foram registrados no console a cada meia hora, até as 24 horas. A Figura 9 ilustra a estação meteorológica e o console onde são registrados os dados das variáveis meteorológicas.

Através dos dados obtidos em cada ponto de coleta foi feita média diária das variáveis meteorológicas registradas, exceto para os valores de precipitação, tendo como ponto de corte o período compreendido entre 7:00h às 15:00h, que corresponde ao período de

desenvolvimento de atividades no canteiro. Para precipitação, os valores considerados foram os totais diários.

Figura 9 – Estação Meteorológica *DAVIS Vantage VUE* e console



Fonte: (obtido em: <http://azambiente.com/Estacao-Meteorologica-Davis-Vantage-Vue-6250>.

Acesso em Novembro de 2014)

Na primeira etapa do estudo os dados das médias diárias foram utilizados para avaliar o comportamento do vento e as variáveis meteorológicas no período. Na segunda etapa, durante a coleta de dados das emissões de material particulado, esses dados foram utilizados para avaliar a correlação entre as variáveis meteorológicas e o comportamento do material particulado em cada dia amostrado, sendo consideradas as médias referentes aos dias amostrados para cada variável.

3.3 DETALHAMENTO DO ESTUDO EXPERIMENTAL E ANÁLISES

As medições do estudo experimental seguiram um protocolo de coleta, conforme ANEXO A, visando medir as concentrações de poluição por material particulado e avaliar os níveis de emissão gerados pelos canteiros.

3.3.1 Caracterização dos Canteiros Estudados

As áreas de estudo estão localizadas em Salvador, capital da Bahia, região nordeste do Brasil. A cidade do Salvador possui clima tropical úmido, com precipitações médias anuais de 2099 mm e temperatura média anual de 25,3°C, sendo os meses de Setembro e Fevereiro os menos chuvosos, com precipitação entre 111 e 132 mm. O trimestre mais chuvoso, abril,

maio, junho têm precipitação média mensal que varia de 251 a 325 mm. Os meses com excedente hídrico superior a 100 mm correspondem a abril, maio, junho e julho. A maior deficiência hídrica registra-se nos meses de janeiro e fevereiro com 8,5 mm e 3,9 mm respectivamente (Plano Diretor de Encostas - PDE, 2004).

O Quadro 5 apresenta um resumo dos canteiros estudados, identificando as coordenadas geográfica e as características gerais de cada empreendimento.

Quadro 5 – Características dos canteiros de obras estudados

Empreendimento	Empresa	Tipo de Obra	Características da construção	Área do Terreno	Coordenadas
Canteiro 1	Empresa A	Residencial	20 pavimentos 200 unidades	2.300 m ²	12°59'05,4"S 38°28'08,0"W
Canteiro 2	Empresa A	Comercial	30 pavimentos tipo e 10 pavimentos de garagens	3.230 m ²	12°59'14,1"S 38°26'54,6"W
Canteiro 3	Empresa B	Residencial	22 pavimentos 38 unidades	937 m ²	12° 59' 16,7"S 38° 27' 17,5"W
Canteiro 4	Empresa B	Residencial	15 pavimentos tipo 3 pavimentos de garagens e 1 térreo	701 m ²	13° 00' 10"S 38° 27' 46,1"W
Canteiro Referência	Empresa C	Residencial	8 torres com 16 pavimentos	32.780 m ²	12° 57' 46"S 38° 24' 32"W

Fonte: Própria

3.3.2 Coleta de Dados

O Quadro 6 apresenta as características da coleta de cada um dos canteiros, destacando o período de estudo, as direções adotadas para instalação dos equipamentos e a direção predominante no período de coleta, bem como a distância de colocação dos equipamentos. É importante destacar que todas as atividades de coleta de dados foram realizadas pela equipe de pesquisadores, composta pela presente autora e dois alunos de iniciação científica³.

Na coleta das amostras foram observados inicialmente alguns requisitos para que não ocorressem interferências nos resultados das medições, tais como: barreiras físicas, topografia do terreno, contribuição do entorno, bem como a infraestrutura local e segurança para acondicionamento dos equipamentos, conforme Protocolo de coleta no ANEXO 1.

³Jair Lopes da Silva Junior e Jaconias Carneiro Gomes

Quadro 6 – Períodos de estudo

Canteiros	Período de determinação da direção predominante do vento	Direção adotada para colocação dos equipamentos	Direção predominante durante o período de coleta	Períodos da Medição do Material Particulado	Distância entre os aparelhos
Canteiro 1	08/05 a 22/05/2014	W (70,11%)	W (63,94%)	11/07 a 03/08/2014	20,81 m
Canteiro 2	22/10 a 29//10/2014	NW (46,09%)	ESE (39,06%)	03/11 a 21/11/2014	53,00 m
Canteiro 3	10/01 a 17/01/2015	NNE (49,22%)	NNE (49,11%)	23/01 a 12/02/2015	29,00 m
Canteiro 4	26/02 a 05/03/2015	E (53,13%)	SSE (15,63%)	26/03 a 16/04/2015	20,03 m
Canteiro Referência	15/07 a 19/07/2013	SE (65.95%)	SE (65.95%)	07/01 to 17/01/2014	*

*Por ser um canteiro com área de 32.780, não foi realizada medição da distância entre aparelhos.

Fonte: Própria

Para avaliar o local de posicionamento dos equipamentos, de acordo com a direção do vento predominante, foi instalada a estação meteorológica *DAVIS Vantage VUE* por no mínimo por oito dias consecutivos, antes do início das medições de cada canteiro, conforme Quadro 6, visando a identificação da direção predominante do vento.

A estação pode ser instalada de maneira fácil e rápida com o kit de haste de montagem, conforme ilustrada na Figura 12.

A partir da análise dos dados da direção do vento e definição da direção, foram instalados dois pares de amostradores *MiniVol* na entrada e na saída do canteiro, seguindo a direção predominante do vento, em área aberta para que o fluxo de ar ao redor dos amostradores ficasse livre de qualquer obstrução, tais como barreiras verticais e horizontais. Os equipamentos foram instaladas a uma altura mínima de 2,5 a 3,0 metros acima do solo sobre os andaimes, pois entende-se que nesta altura obtém-se uma situação características de poluição na altura da camada respirável do homem. A distância mínima entre os equipamentos foi de 20 metros de forma a garantir a coleta de material abrangendo grande parte da construção. Maiores distâncias dependeram da extensão do canteiro, como por exemplo o Canteiro 2, em que os equipamentos foram alocados a 53m de distância.

A Figura 10 ilustra o procedimento de coleta do material particulado no canteiro de obras e a Figura 11 ilustra como os amostradores foram fixados em andaimes nos canteiros estudados.

As medições ocorreram por período mínimo de 11 dias na fase de obra bruta em cada canteiro, com tempo estável e sendo um dia sem atividades no canteiro (domingo).

Figura 10 – Esquema da montagem dos equipamentos para medição do material particulado no canteiro de obras



Fonte: Própria

Figura 11 – Fixação dos Equipamentos nos andaimes



Fonte: Própria

Simultaneamente às medições com os *MiniVols*, foram instaladas no mínimo 4 fitas adesivas, *Sticky Pads*, em pontos estratégicos dentro do canteiro e colados em tubos de PVC

próximos aos amostradores, de forma que o material particulado coletado pelos adesivos também estivessem na linha da direção predominante do vento, obtendo-se informação direcional.

De acordo com os procedimentos de coleta do *sticky pad* (BEAMAM; KINGSBURY, 1981) parte da área de cada adesivo deve permanecer coberta e a outra parte deve ser retirada o papel de apoio. A parte que permanece coberta é a área de referência que permanece limpa. A diferença entre a leitura da área descoberta e da área coberta resulta no percentual de poeira coletado. Os adesivos permanecem expostos por 24 horas dentro do canteiro, depois são retirados para análise e substituídos por novos diariamente. A Figura 12 ilustra a coleta da poeira sedimentável com os “*Sticky Pads*”.

Figura 12 – Coleta da poeira sedimentável com os *Sticky Pads*



Fonte: Própria

A partir da instalação dos equipamentos no canteiro, foi realizado um monitoramento diário durante o período de amostragem, sendo realizadas as seguintes atividades:

- a) troca dos filtros dos quatro equipamentos (MP10 entrada, MP10 saída, PTS entrada, PTS saída) diariamente, no mesmo horário, ao longo dos 11 dias e coleta de dados dos *MiniVols* e filtro por meio da planilha 1 (Anexo 4), conforme orientações do Protocolo de Coleta (Anexo 1);
- b) coleta diária das atividades de produção realizadas, tecnologias empregadas, por meio de planilha 2 (Anexo 5);

- c) retirada diária dos 4 adesivos e substituição por novos adesivos;
- d) registro diário das variáveis meteorológicas;
- e) troca dos filtros e dos adesivos *Sticky Pad*.

3.3.3 Análise das Amostras

Nesta etapa foram realizadas a análise da taxa de sedimentação utilizando os *Sticky Pads*, as análises gravimétricas das amostras de PTS e MP10 e a análise química das amostras de MP10 coletadas, conforme detalhamento a seguir.

3.3.3.1 Análise da taxa de sedimentação

Nesta análise foi utilizado o método do *Sticky Pad System* ou método de *Beaman e Kingsbury* (1981), cuja finalidade é medir as partículas incômodas. O método determina as mudanças em uma superfície quanto à quantidade de poeira depositada durante um período.

Após serem retirados, os adesivos foram analisados por um refletômetro que determinou a porcentagem de área efetiva coberta por poeira num determinado período, conforme Figura 13. A unidade de medida não é equivalente a dos outros métodos, pois é registrada em percentual de área efetiva coberta por partículas. A Tabela 6 apresenta os valores de referência das leituras.

Figura 13 - Refletômetro utilizado para leitura do “*Sticky Pad System*”



Fonte: (obtido em: <http://www.hanby.co.uk> > acesso em Novembro de 2014)

Tabela 6 – Valores de referência do incômodo gerado

Área de cobertura/ dia (% EAC)	Resposta
0,2	Perceptível
0,5	Possíveis Queixas
0,7	Censurável
2	Prováveis Reclamações
5	Queixas Graves

Fonte: Adaptado de *Beaman e Kingsbury* (1981)

3.3.3.2 Análise Gravimétrica (massa)

As amostras coletadas foram analisadas gravimetricamente. Este método consistiu na pesagem dos filtros antes e depois da amostragem, em uma balança com precisão de seis casas decimais (μg). Para este procedimento foi utilizada uma balança analítica *METTLER TOLEDO* do LAPAT/IAG/USP. Neste procedimento, antes da pesagem, os filtros foram descarregados eletrostaticamente. Para este procedimento também foi utilizado um sistema de deseletrização da *METTLER*, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Balança com precisão nominal de 1 μg (à esquerda) e o aparelho usado para remover a eletricidade estática dos filtros (à direita).



Fonte: IAG/SP

Seguindo os critérios da *Environmental Protection Agency* (EPA, 1998), as condições de equilíbrio do ambiente de pesagem devem ser: a) temperatura entre 20 e 23 °C não podendo variar mais que $\pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas e b) umidade relativa deve estar entre 30 e 40%, e não variar mais que $\pm 5\%$ em 24 horas. Cabe ressaltar, que ambas as pesagens (antes e após

amostragem) devem ser efetuadas na mesma balança analítica e de preferência pelo mesmo analista (EPA, documento online).

Antes de qualquer pesagem os filtros permaneceram por um período de 48h em um ambiente com controle de temperatura e umidade relativa do ar, evitando assim a interferência desses fatores na pesagem. Após a pesagem inicial os filtros foram armazenados nos tubetes em número de nove e mais um branco de campo, para cada conjunto de nove filtros. Estes filtros foram levados a campo para realização da amostragem, permanecendo o branco de campo no tubete até o fim da amostragem, logo após o lote de filtros foi encaminhado para laboratório para pesagem (EPA, 1998).

Filtros brancos de campo com variação superior a $30,0\mu\text{g}$ geram incertezas muito altas e, desta forma, devem ser descartados. Os filtros “branco de campo” foram utilizados para o cálculo da incerteza do método (EPA, 1998).

A massa de partículas foi dada gravimetricamente subtraindo o valor da massa média inicial, antes da amostragem, da massa média final dos filtros pós a amostragem. O mesmo procedimento foi realizado com os filtros branco (sem amostra), posteriormente estes valores foram descontados dos lotes de filtros correspondentes. Os filtros brancos foram utilizados para determinar uma possível contaminação durante o processo de manuseio, transporte e realização das amostragens.

A concentração em massa do material particulado foi determinada de acordo com a Equação (1.0).

$$\text{Equação 1} - C = (M_1 - M_2) - m/V$$

Onde:

C é a concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

M_1 é a massa média inicial (μg)

M_2 é a massa média final dos filtros amostrados (μg)

m é a massa média do filtro branco de campo (μg)

V é o volume total do ar amostrado (m^3)

O volume total do ar amostrado foi dado pela média das vazões inicial e final do aparelho, multiplicada pelo tempo amostrado. O volume foi determinado de acordo com a Equação 2.

$$\text{Equação 2} - V = (Q_1 + Q_2) \cdot 0,060 \cdot T/2$$

Onde:

Q_1 é a vazão inicial do aparelho (l/min)

Q_2 é a vazão final do aparelho (l/min)

0,060 fator de conversão de l/min para m^3/h

T é o tempo em horas.

Estas análises foram realizadas por dois bolsistas de iniciação científica⁴ do Projeto Cantechis da equipe da Universidade de São Paulo.

3.3.3.3 Análise química com Fluorescência de Raios X

A análise com fluorescência de Raio X é utilizada para identificação e quantificação da composição química das amostras. Esta análise é caracterizada por não ser destrutiva, além de analisar vários elementos simultaneamente. Como já mencionado, neste estudo, apenas os filtros de policarbonato (MP10) foram analisados, visto que os filtros PTS de Teflon não podem ser utilizados nesta técnica.

O princípio básico da técnica de Raios 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. Cada transição constitui uma perda de energia sendo esta emitida na forma de um fóton de raios X, de energia característica e bem definida para cada elemento, cujas intensidades estão relacionadas com a concentração dos mesmos na amostra. Esta análise consiste de três fases: excitação dos elétrons dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios-x característicos emitidos pela amostra e detecção destes (MAIOLI, 2011).

Para realização da análise de Raios-X foi utilizado o modelo EDX 700 HS “*Energy Dispersive X – Ray Spectrometer*” da Shimadzu no LAPAT/IAG/USP, ilustrado na Figura 16(a). Esta análise permitiu quantificar os elementos de número atômico de 11 a 82 (do Na ao Pb) da tabela periódica. Os resultados obtidos dessa análise foram convertidos nas concentrações de cada elemento identificado pelo programa *WinQXAS (Windows Quantitative X – Ray Analysis System)*, por meio de ajuste de linhas espectrais. A Figura 15 ilustra o aparelho modelo EDX 700 HS onde as amostras foram colocadas para análise e a Figura 16 ilustra o detalhamento do carrossel para análise elementar das amostras.

⁴Erika Miura e Wildner Mataragia

Figura 15 - EDX 700 HS utilizado para quantificação elementar das amostras



Fonte: IAG (São Paulo)

Na espectrometria de raios X por dispersão de energia (EDX), emprega-se um detector de alta resolução, capaz de produzir pulsos eletrônicos proporcionais as energias dos fótons de raios X incidentes. Nesse caso, o mais empregado é o detector de silício ativado com lítio, Si (Li), sendo empregado na detecção de raios X $K\alpha$ emitidos pelos elementos de número atômico na faixa de Na ($Z = 11$) a Sn ($Z = 50$) e raios X da camada L dos elementos pesados. Devido a sua baixa eficiência para raios X de baixa energia, não são aconselháveis na detecção dos raios X emitidos por elementos extremamente leves, ou seja, de número atômico menor que 11, a exemplo do Na (NASCIMENTO FILHO, 1999).

Figura 16- Carrossel para análise elementar das amostras



Fonte: IAG (São Paulo)

A determinação da composição elementar do material particulado coletado em filtros requer a análise de um filtro não exposto (filtro branco), cujo resultado é utilizado para se obter os valores dos elementos constituintes do filtro. Os valores dos brancos são descontados dos valores encontrados nas amostras. Os resultados da análise de fluorescência de raios-x são representados através da média percentual de cada elemento em relação à área total varrida para todos os filtros analisados (MAIOLI, 2011).

Um quarto de cada filtro amostrado é colado num anel de teflon para análise na Fluorescência de Raios-X. O aparelho, ilustrado na Figura 16 acima, faz a análise de 16 amostras (anéis) em 8 horas.

Dessa análise são obtidos espectros de contagem por energia de Raios-X. Esses espectros de energia são convertidos em concentrações de cada elemento-traço através da aplicação do programa *WinQXAS (Windows Quantitative X-ray Analysis System)*. Esta análise foi realizada no LAPAT/IAG/USP, pela especialista em laboratório⁵.

3.3.4 Análise dos Resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos e discute os mesmos através do cruzamento de dados obtido: concentrações, variáveis meteorológicas, atividades diárias desenvolvidas e os resultados das leituras de *sticky pads*. Também foi utilizada a estatística descritiva para se obter uma visão geral do conjunto de dados e sua validação. Foram feitas análises através do teste de correlação de *Pearson* e do *Boxplot*.

⁵ Msc em Geociências Rosana Astolfo.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta para cada canteiro estudado a sua localização, geomorfologia, os pontos de instalação dos equipamentos dentro dos canteiros, os resultados obtidos com as diferentes medições de material particulado (*MiniVols e Sticky Pads*), as variáveis meteorológicas obtidas em cada período de estudo, bem como os resultados das análises desenvolvidas e as considerações do estudo de cada canteiro.

4.1 CANTEIRO DE OBRAS 1

O Canteiro 1 apresenta a topografia do terreno em vale de fundo chato, situados em cotas altimétricas inferiores a 10 metros, apresentando solos siltosos e silte-argilosos. Na Figura 17 pode ser observada a foto aérea com a posição exata do terreno da obra estudada, que está localizado em área urbana e residencial. Também podem ser observados os pontos de instalação dos equipamentos dentro do canteiro, bem como os dois pontos de instalação da estação meteorológica (Ponto 1 e Ponto 2). Neste canteiro foram realizadas medições meteorológicas nestes dois pontos com a finalidade de conhecer a variabilidade da direção do vento predominante para instalação dos equipamentos. Notou-se que não houve grande variação entre as direções dos dois pontos.

Figura 17 – Foto Aérea da localização do canteiro 1 (Ponto 1- entrada do canteiro e Ponto 2 – saída do canteiro)



Fonte: Google Maps

4.1.1 Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 1

No ponto 1 a estação meteorológica ficou instalada entre os dias 08 a 22/05/2014 (Figura 18a), e no ponto 2 entre os dias 01 a 15/06/14 (Figura 18b).

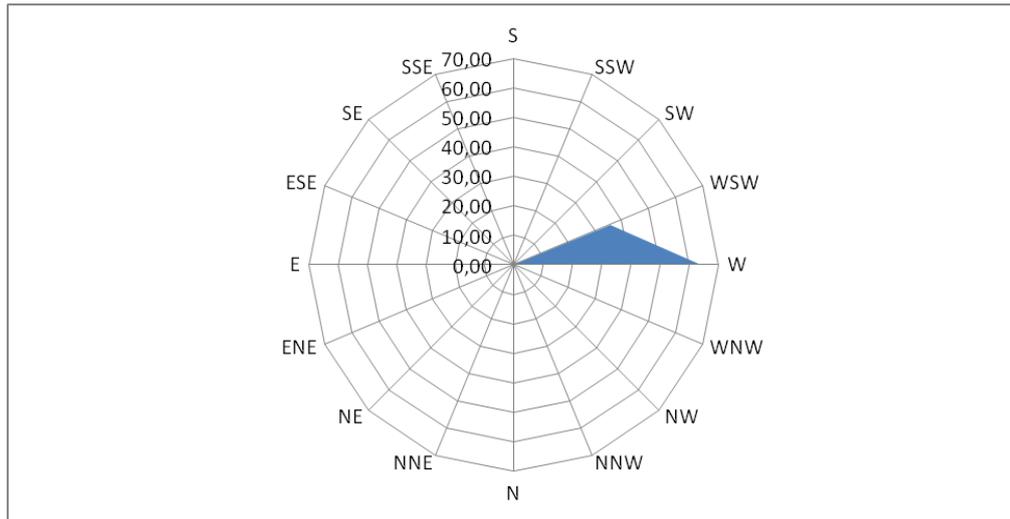
No primeiro período de análise dos dados meteorológicos foram registrados altos índices pluviométricos e picos de umidade, correspondentes aos maiores valores acumulados de chuvas. Esta medição apresentou a média dos valores diários registrados de 76,21 % para a umidade, 761,35 mmHg para pressão e 26,78 °C para a temperatura. A direção predominante foi Oeste-Noroeste (WNW) com pouca variação Oeste (W). Os ventos permaneceram fracos, com velocidade oscilando com mínima de 0 m/s e a máxima de 0,9 m/s (Aragem leve). A Figura 19 ilustra que 70% dos ventos na posição 1 foram Oeste (W).

Figuras 18 a e 18 b – Posicionamento da estação – Ponto 1 (Entrada do canteiro) e Ponto 2 (Saída do canteiro)



Fonte: Própria

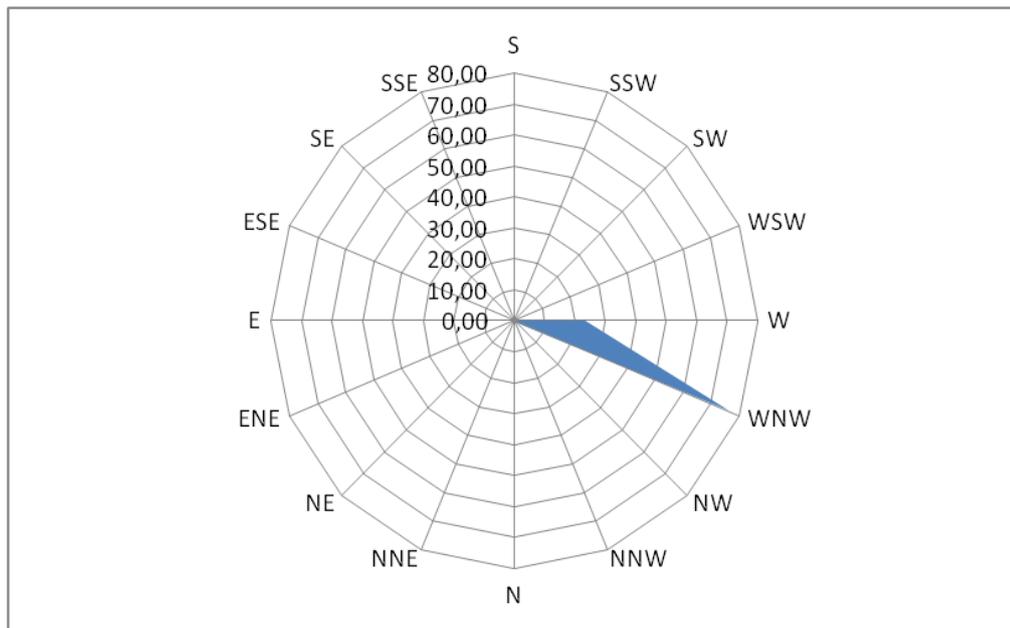
Figura 19 – Direção do vento predominante (Entrada do canteiro) – (08 a 22/05/2014)



Fonte: Própria

No segundo período de análise ocorreram chuvas durante (oito) dias consecutivos, mas com baixos índices pluviométricos. Houve uma maior variação da umidade, mas mesmo assim, o período foi mais seco. A Figura 20 ilustra que 76% dos ventos na posição 2 foi Noroeste (WNW).

Figura 20 – Direção do vento predominante (Saída do canteiro) – (01 a 15/06/2014)



Fonte: Própria

Como foram obtidas, nos dois pontos estudados, direções variando entre WSW, W e WNW, com predominância de W e WNW, foi definida como a posição mais adequada para

instalação dos equipamentos, a direção Oeste (W). As Tabelas 7 e 8 apresentam as variáveis meteorológicas registradas no período 1 e período 2.

Tabela 7 – Variáveis Meteorológicas do período 1

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (° C)	Predominância do vento
08/05/2014	0	75,17	760,52	27,41	W: Oeste
09/05/2014	0,25	78,09	758,47	26,55	W: Oeste
10/05/2014	0	79,04	758,19	27,38	W: Oeste
11/05/2014	42,42	88,87	761,00	24,60	W: Oeste
12/05/2014	0	66,91	761,32	26,10	WSW: Oeste-Sudoeste
13/05/2014	3,29	80,78	761,07	24,55	WSW: Oeste-Sudoeste
14/05/2014	0	73,52	760,85	26,67	WSW: Oeste-Sudoeste
15/05/2014	16,26	90,04	760,14	25,73	W: Oeste
16/05/2014	9,89	93,17	759,18	24,70	W: Oeste
17/05/2014	0	82,91	759,57	26,60	W: Oeste
18/05/2014	7,61	86,22	760,17	25,32	W: Oeste
19/05/2014	1,27	85,22	760,15	25,63	W: Oeste
20/05/2014	1,27	78,57	760,58	26,80	W: Oeste
21/05/2014	0	77,78	760,31	27,04	W: Oeste
22/05/2014	37,07	93,09	760,43	25,08	W: Oeste

Fonte: Própria

Tabela 8 – Variáveis Meteorológicas do período 2

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (° C)	Predominância do vento
01/06/2014	0	66,35	760,09	27,17	WNW: Oeste-Noroeste
02/06/2014	0	67,61	758,73	27,14	WNW: Oeste-Noroeste
03/06/2014	0	76,22	758,93	27,32	WNW: Oeste-Noroeste
04/06/2014	0	71,57	760,49	27,94	WNW: Oeste-Noroeste
05/06/2014	0	73,26	760,47	28,07	WNW: Oeste-Noroeste
06/06/2014	0	72,09	760,14	27,86	WNW: Oeste-Noroeste
07/06/2014	0	65,43	760,61	27,87	W: Oeste
08/06/2014	5,59	78,52	760,98	26,63	WNW: Oeste-Noroeste
09/06/2014	3,55	85,30	763,07	24,72	WNW: Oeste-Noroeste
10/06/2014	2,54	79,57	763,10	26,56	WNW: Oeste-Noroeste
11/06/2014	1,52	80,78	763,07	26,38	WNW: Oeste-Noroeste
12/06/2014	0,51	82,09	762,61	26,10	WNW: Oeste-Noroeste
13/06/2014	1,52	78,39	762,80	26,81	WNW: Oeste-Noroeste
14/06/2014	8,12	85,04	762,86	25,40	WNW: Oeste-Noroeste
15/06/2014	6,86	81,00	762,30	25,73	WNW: Oeste-Noroeste

Fonte: Própria

4.1.2 Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 1

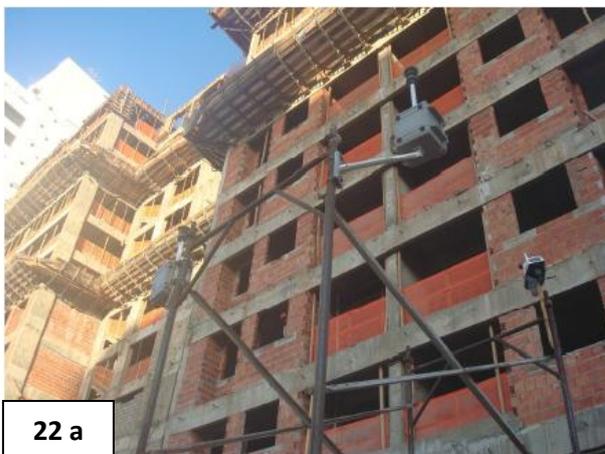
A Figura 21 ilustra a fase da obra bruta quando foram realizadas as medições do material particulado no período de 11/07 a 03/08/2014 e as Figuras 22a e 22b ilustram a coleta de MP nas duas frações, PTS e MP10, utilizando os amostradores *MiniVols* e os adesivos *Sticky Pads*. Os equipamentos foram instalados sobre andaimes a uma altura de 3,40 metros em relação ao solo.

Figura 21 – Fase de obra bruta



Fonte: Própria

Figuras 22 a e 22 b – Coleta de material particulado utilizando os amostradores *MiniVols* e os adesivos *Sticky Pads* (Entrada e saída do canteiro)



22 a



22 b

Fonte: Própria

A Tabela 9 apresenta as variáveis meteorológicas registradas no período de coleta. Neste período de estudo foi registrado índice pluviométrico do dia 17/07 ao dia 03/08/2014 com média de 4,56 mm. A temperatura média foi de 25 °C, a média dos valores diários registrados para a umidade foi de 80,7 %, pressão de 763,70 mmHg e velocidade média de 0,8 m/s.

As tabelas seguintes apresentam valores com a cor da fonte em **vermelho** que representam os dias de **Domingo** (Dia de obra parada) e os valores **realçados** em **amarelo** representam os **Outliers** (Valores atípicos).

Tabela 9 – Variáveis Meteorológicas do período de coleta

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (°C)	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
11/07/14	0,00	76,5	761,9	25,3	0,7	WSW: Oeste-Sudoeste
14/07/14	0,00	78,4	764,4	24,7	1,2	WSW: Oeste-Sudoeste
15/07/14	0,50	86,1	764,4	24,0	1,0	WSW: Oeste-Sudoeste
17/07/14	5,08	85,2	765,4	23,8	0,3	W: Oeste
22/07/14	2,54	86,9	764,8	24,5	0,8	WSW: Oeste-Sudoeste
24/07/14	1,20	77,1	763,4	26,2	0,5	W: Oeste
25/07/14	4,40	82,1	762,5	26,2	0,7	W: Oeste
28/07/14	5,20	81,4	764,5	25,2	0,7	W: Oeste
29/07/14	2,96	73,3	764,7	26,0	1,4	W: Oeste
30/07/14	5,52	78,4	763,9	25,6	0,9	W: Oeste
31/07/14	8,08	89,9	763,1	23,3	0,6	W: Oeste
01/08/14	10,64	76,7	763,5	24,9	1,5	W: Oeste
03/08/14	13,20	77,0	762,1	26,9	0,4	W: Oeste

* **Domingo** (Dia de obra parada)

Fonte: Própria

A Tabela 10 apresenta os valores das concentrações diárias obtidas para as duas frações de material particulado em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, as atividades diárias desenvolvidas durante o período de coleta e as leituras diárias obtidas para os *sticky pads* em % EAC (*effective area coverage*) /Dia e sua corresponde resposta de acordo com os níveis típicos de resposta de *Beaman e Kingsbury* (1981).

Tabela 10 – Resultados das amostras no período de coleta do canteiro de obras 1. EAC, *effective area coverage*.

DATAS	CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ATIVIDADES CONSTRUTIVAS	STICKY PADS	
	Entrada		Saída			%EAC/Dia	Resposta
	PTS	MP10	PTS	MP10			
11/07/14	574,40	247,95	424,09	198,24	Alvenaria e concretagem 13ª laje.	1,0	Censurável
14/07/14	373,81	142,19	203,09	103,47	Concretagem 13ª lajes e vigas e descarga de material (argamassa e bloco).	Não houve leitura	-
15/07/14	402,38	148,94	456,39	91,46	Elevação de alvenaria no térreo, 1º, 2º e 3º, 4º e 7º pavimento; produção de argamassa no 4º e 7º pavimento.; concretagem de lajes e vigas do 13º pavimento; fôrma dos pilares do 14º pavimento; limpeza do 10º pavimento.	Não houve leitura	-
17/07/14	379,50	187,86	461,69	291,85	Elevação de Alvenaria no térreo; 1º e 2º pavimentos	Não houve leitura	-
22/07/14	344,18	133,55	445,98	235,13	Concretagem dos pilares do 14º pavimento; desforma das lajes do 13º pavimento; elevação de alvenaria no térreo, 3º, 4º e 8º pavimentos; produção de argamassa no 8º pavimento; contrapiso autonivelante do 5º e 6º pavimento.	Não houve leitura	-
24/07/14	504,19	162,48	417,54	96,86	Fôrma e armação das lajes e vigas do 14º pavimeto; elevação de alvenaria no térreo, 3º, 4º e 8º pavimentos; produção de argamassa no 4º e 8º pavimento; contrapiso autonivelante 6º e 7º pavimento.	Não houve leitura	-
25/07/14	508,30	167,85	506,93	199,20	Descarga de material (madeira e bloco); elevação de Alvenaria no térreo, 3º, 4º, 8º e Produção de argamassa no 4º e 8º pavimento.; chapisco estrutural 9º pavimento; concretagem das vigas e lajes do 14º pavimento.	9,0	Queixas Graves
28/07/14	542,50	264,13	585,72	313,87	Descarga de aço; forma e desforma dos pilares do 14º pavimento; elevação de alvenaria no térreo, 4º, 5º e 9º pavimento; emboço no 1º andar; limpeza do 12º pav	2,0	Prováveis Reclamações
29/07/14	353,30	136,22	442,87	66,25	Elevação de Alvenaria no térreo, 3º, 9º pavimento; emboço no 1º andar; produção de argamassa 3º pavimento; desforma dos pilares do 14º pavimento e das lajes e vigas do 15º pavimento.	Não houve leitura	-
30/07/14	547,50	251,96	534,27	253,14	Descarga de materiais (argamassa); fôrma dos pilares, lajes e vigas do 15º pavimento; elevação de alvenaria. do 3º e 9º pavimento; emboço no 1º andar; produção de argamassa 3º pavimento.	9,0	Queixas Graves
31/07/14	467,83	122,84	339,87	78,99	Descarga de material (bloco); fôrma das lajes e vigas, concretagem dos pilares 15º pavimento; elevação de Alvenaria. no térreo, 3º e produção de argamassa 3º e 9º pavimento; Emboço no 1º andar.	Não houve leitura	-
01/08/14	583,52	80,57	425,49	79,50	Fôrma das lajes e vigas do 15º pavimento; emboço no 1º andar; elevação de alvenaria. no 3º e 9º pavimento; produção de argamassa no 3º e 9º pavimento.	Não houve leitura	-
03/08/14	426,35	229,03	447,29	153,82	Nenhum registro de atividades no canteiro.	Não houve leitura	-

* Domingo (Dia de obra parada) / Outliers (Valores atípicos)

Fonte: Própria

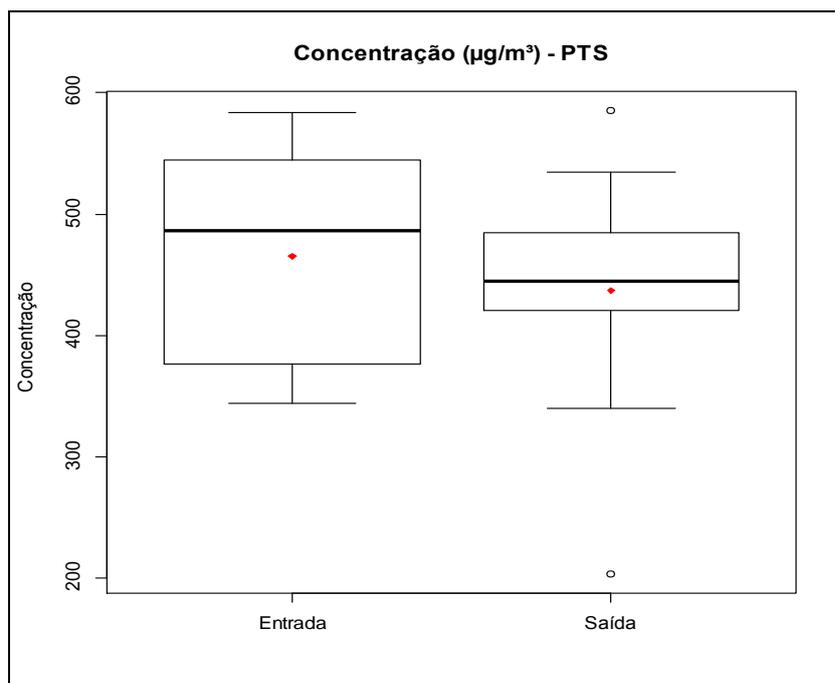
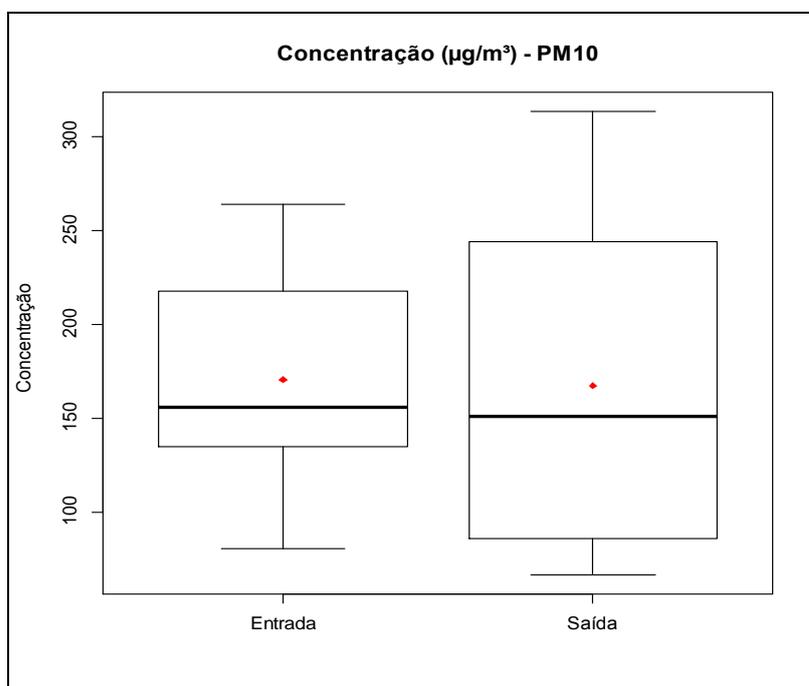
Análise Gravimétrica

Para interpretação do conjunto de dados obtidos foi feita a análise da variabilidade e simetria dos dados através da construção dos gráficos de *Boxplot* que é formado pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. Na caixa retangular da figura são fornecidos os quartis Q_1 , na parte inferior e Q_3 na parte superior da caixa. Entre eles encontra-se a Mediana da distribuição (Q_2). 50% da distribuição têm valores dentro da caixa. As linhas horizontais que saem da caixa terminam nos limite inferior (LI) e superior (LS) da distribuição. Entre esses limites encontram-se os valores considerados como típicos da distribuição. Esses limites são determinados em função da distância entre os dois quartis (Q_3 e Q_1), isto é, do desvio interquartilico: $DQ = Q_3 - Q_1$. Observações com afastamento superior a 1,5 desvio interquartilico, para cima ou para baixo, são consideradas atípicas, ou possíveis *outliers*. Os pontos que estão mais de 1,5 DQ e menos que 3,0 DQ, são chamados de *outliers*, aparecendo (o).

O *Boxplot* foi utilizado ainda para comparação visual entre os dados obtidos na entrada e saída do canteiro. As caixas são colocadas lado a lado para comparação da variabilidade entre elas ($Q_3 - Q_1$).

Foram obtidos para a fração PTS saída os seguintes valores considerados atípicos (*outliers*): $203,09\mu/m^3$ e $585,72\mu/m^3$, seja por ter ocorrido uma medição fora do normal devido a influência de alguma das variáveis meteorológicas ou por ter ocorrido a influência de atividades desenvolvidas ou mesmo possa ter ocorrido erros na amostragem, conforme mostram as Figuras 23 e 24, que apresentam a simetria e a variabilidade das amostras.

No dia 14/07 em que ocorreu o *outlier* $203,09\mu/m^3$, inferior ao limite mínimo, não foi percebido o desenvolvimento ou ausência de quaisquer atividades que justificasse este resultado. Quanto às variáveis meteorológicas registradas para este dia nota-se que houve uma variação na direção do vento predominante (W) que deslocou-se em $22^\circ30'$ passando a ser WSW (Sudoeste), com velocidade média de 1,2 m/s, uma das maiores médias registradas.

Figura 23 – Simetria e variabilidade das amostras de PTS (Entrada e saída)**Figura 24** – Simetria e variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e saída)

No dia 28/07/2014 foi obtido *outlier* acima do limite superior com valor de 585,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para este dia foram registradas as variáveis: direção do vento predominante (W), velocidade média de 0,7 m/s e pluviosidade de 5,20 mm. Conclui-se desta forma que a variável pluviosidade, direção e velocidade do vento possam ter influenciado de alguma forma na discrepância destes valores, visto estes valores não estarem muito distantes dos valores de concentração obtidas. Também deve ser considerado que o tamanho da amostra foi

pequena, favorecendo valores discrepantes próximos dos limites estabelecidos. Já para as atividades desenvolvidas nada se pode concluir.

Desconsiderando os *outliers*, o segundo maior valor obtido para a fração PTS saída foi de 534,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que ocorreu no dia 30/07/2014, tendo como atividades principais a descarga de materiais (argamassa), fôrma dos pilares, lajes e vigas do 15° pavimento; elevação de alvenaria do 3° e 9° pavimento; emboço no 1° andar; produção de argamassa 3° pavimento, além das seguintes variáveis meteorológicas: 4,40 mm de chuva, temperatura de 26,2°C, vento de 0,7 m/s e direção Oeste, predominante e favorável ao transporte de material particulado. Neste mesmo dia, obteve-se o valor de 547,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração PTS entrada, valor este, um pouco maior que no ponto de saída. Já para a fração MP10 saída (253,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) obteve-se valor de concentração superior ao da entrada (251,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Para a leitura do Sticky pad foi obtida a maior média de percentual dos dias coletados correspondente a 9% (% EAC > 5 – Tabela 7 – Valores de referência do incômodo gerado), representando queixa grave.

O valor máximo obtido para o PTS entrada ocorreu dia 01/08 (583,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tendo como atividades principais fôrma das lajes e vigas do 15° pavimento; emboço no 1° andar; elevação de alvenaria externa e produção de argamassa no 9° pavimento; elevação de alvenaria de gesso no 3° pavimento; elevação de alvenaria Interna no 3° pavimento e produção de argamassa e as seguintes variáveis meteorológicas: temperatura de 24,9°C; velocidade do vento de 1,5 m/s; direção predominante Oeste (W) e 10,64 mm de chuva. Devido às chuvas as amostras dos *Sticky pads* foram perdidas.

De forma geral não pode ser verificado um padrão no comportamento das frações que diferenciasse o material que foi coletado na entrada do canteiro e na saída do canteiro. Analisando os resultados, percebe-se que ocorreram dias que apresentaram maior concentração na entrada do canteiro para as duas frações, em outros ocorre uma variação entre as mesmas frações, não podendo ser estabelecida nenhuma relação com as variáveis meteorológicas, inclusive a direção do vento que prevaleceu em 73% dos dias amostrados, nem tão pouco o percentual de chuvas que foi registrado em quase todos os dias.

Pode-se notar que a maior variação da concentração ocorreu para a fração menor (MP10) sendo obtida maior diferença entre os valores de entrada e saída. Presume-se que a torre em construção serviu de barreira devido ao posicionamento dos equipamentos, impedindo que o MP gerado na frente do canteiro seguisse o fluxo de ar na direção predominante e que fosse direcionado para a parte posterior do canteiro. Dessa forma,

entendeu-se que os materiais coletados na frente (entrada) do canteiro foram diferentes dos materiais coletados na parte posterior (saída) do canteiro, constituindo-se de dois pontos de coleta distintos com pouca relação, no que se refere à direção predominante do vento. A Figura 25 apresenta o gráfico de evolução das frações PTS e MP10 na entrada do canteiro e a Figura 26 apresenta o gráfico de evolução das frações PTS e MP10 na saída do canteiro.

Figura 25 – Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Entrada Canteiro 1)

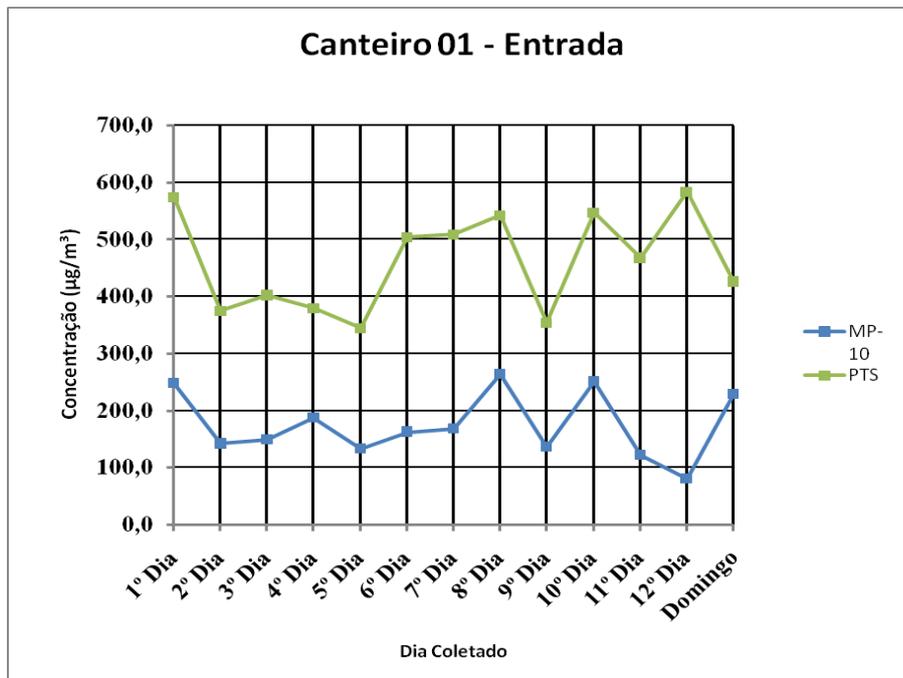
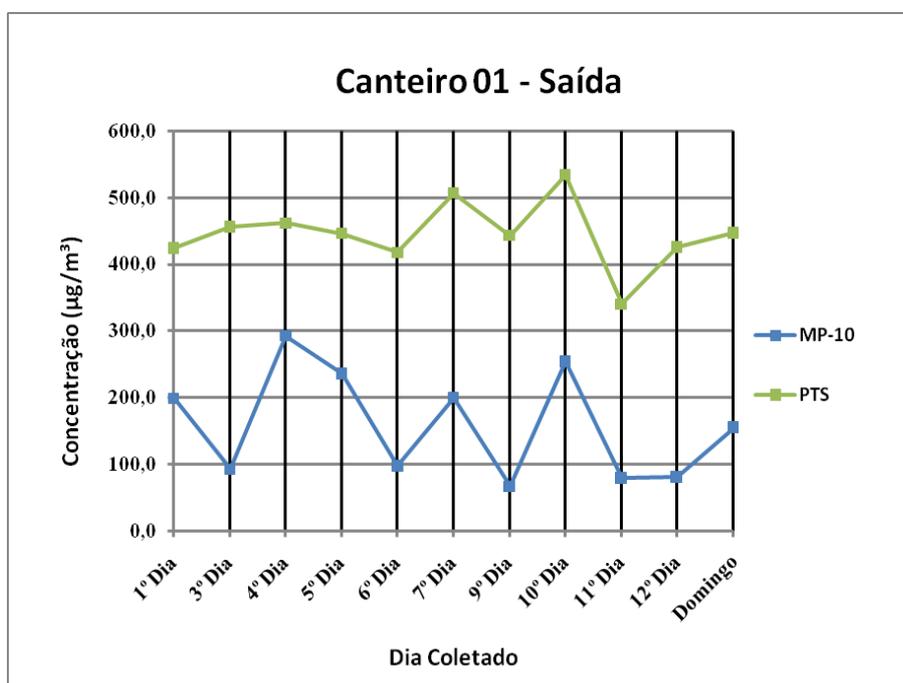


Figura 26 – Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Saída Canteiro 1)



Estes dois gráficos apresentam o perfil das concentrações das duas frações de MP. Na entrada do canteiro há maior homogeneidade na fração PTS. Já na parte posterior do canteiro percebe-se que as duas frações apresentam grande variação. A fração PTS é mais uniforme (os valores de média e mediana, bem como os valores de mínima e máxima são mais próximos). Neste canteiro não pôde ser identificada uma atividade específica que tivesse contribuído de forma mais efetiva para alguns dos resultados mais significativos obtidos, mesmo porque muitas atividades foram desenvolvidas concomitantemente, a exemplo da elevação de alvenaria, descarga de materiais, produção de argamassa e concretagem.

No Domingo, dia 03/08/2014, foram obtidos valores de concentração consideráveis para as duas frações, tanto na entrada quanto na parte posterior do canteiro, tendo maior variação também para a fração mais fina (MP10). A direção do vento neste dia foi Oeste (W), direção predominante, com o mais alto índice pluviométrico registrado no período de amostragem (13,20 mm) no período de 12:30 às 14:00 h. Desta forma, pode-se presumir que houve contribuição de fonte externa ao canteiro que seguiu a linha do vento na direção oeste. As duas frações apresentaram comportamentos distintos, como já ocorridos em alguns dias amostrados, onde a fração PTS apresentou maior valor de concentração na saída e a fração MP10 apresentou maior valor de concentração na entrada.

Nos dias em que ocorreram concretagem (11, 14, 15, 22, 25 e 31/07/14) foi percebida a movimentação intensa do caminhão betoneira na entrada do canteiro, ocorrendo ressuspensão de partículas de solo depositado na via, proveniente do canteiro. Dentre estes dias pode ser destacado o dia 11/07/2014 com concentrações PTS entrada equivalente a $574,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; MP10 entrada equivalente a $247,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste dia a direção predominante foi SWS, com variação da direção adotada como predominante (W), não houve registros de chuvas durante todo o dia. Outro destaque é o dia 25/07/2014 que apresenta valores de concentração PTS entrada $508,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e PTS saída equivalente a $506,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para a fração MP10 entrada e saída foram obtidas altas concentrações, sendo superior na saída. Os *sticky pads* também apresentaram resultado com níveis de queixas graves. A direção do vento foi a predominante durante todo o dia (W), foram registradas chuvas com índice acumulado de 4,4 mm. Os ventos foram normais com média de 0,7 m/s.

Situação semelhante foi percebida durante a descarga de materiais na entrada do canteiro. Quando ocorria a descarga de material em pó, como argamassa e cimento, muito material suspenso foi percebido. A descarga do material ocorria bem próxima ao andaime onde estavam instalados os amostradores, pois a frente do canteiro era utilizada para depósito

de materiais. Os dias em que ocorreram descarga de material foram 14, 25 e 30/07/2014 foram obtidos os maiores valores de concentração na entrada do canteiro. Embora no dia 14 a direção predominante não tenha sido a adotada (W) e sim a WSW, não houve chuvas e a velocidade foi uma das maiores registradas. Para os dias 25 e 30/07/2014 ocorreram chuvas no período, mas a direção foi predominante, com velocidades menores. A Figura 27 ilustra a via secundária em frente ao canteiro onde circulavam os veículos para entrega de materiais.

Figura 27 – Via secundária em frente ao Canteiro 1



Fonte: Própria

Para avaliar a associação entre as variáveis meteorológicas e os valores das concentrações foi realizada a análise de correlação, tendo sido identificada fraca correlação apenas para as variáveis como velocidade do vento para a fração MP10, conforme figuras 28 e 29. A fração MP10 apresentou coeficiente de correlação mais próximo da unidade tanto na entrada quanto na parte posterior do canteiro. Este resultado confirma a hipótese de quanto menor a velocidade do vento maior a concentração e as partículas menores estão mais propensas a serem carreadas, por isso maior relação. O Apêndice C apresenta as associações dos demais fatores meteorológicos que não apresentaram correlação com a concentração.

Figura 28 - Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 Entrada Canteiro 1

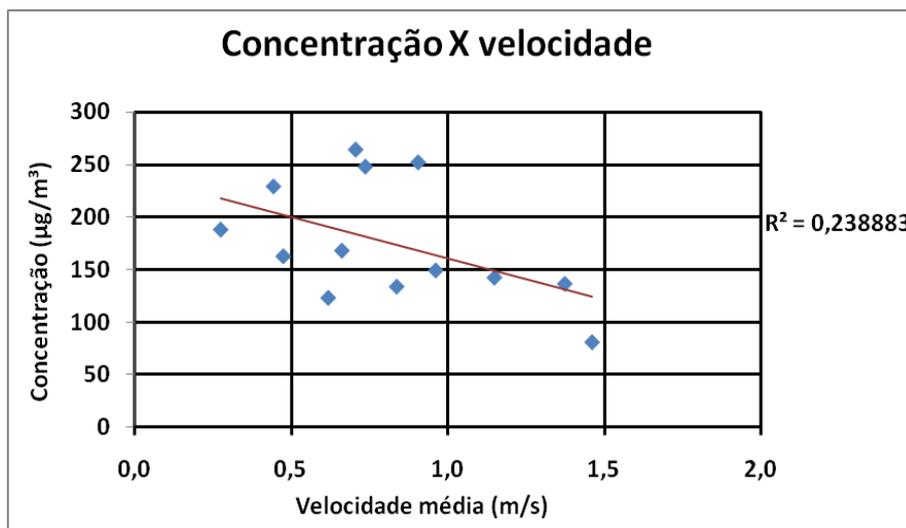
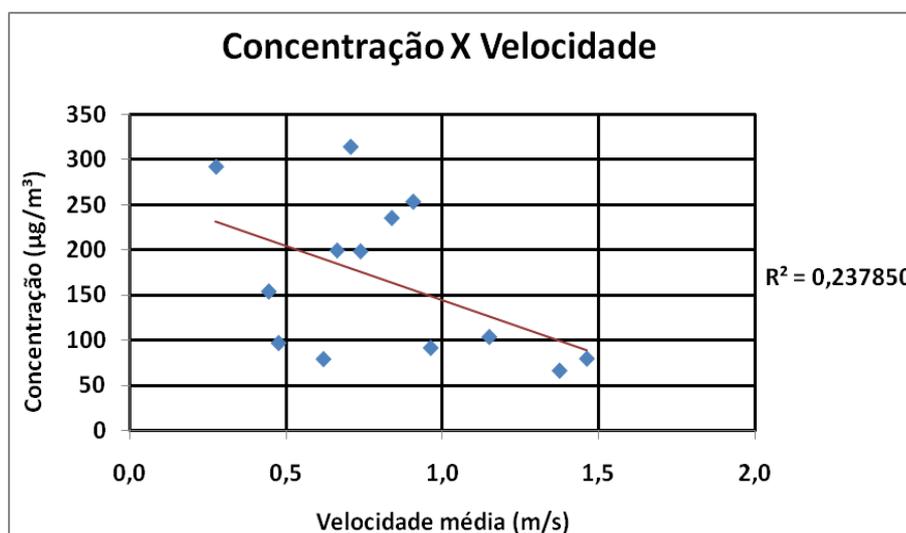


Figura 29 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 Saída Canteiro 1



Taxa de Sedimentação

A Tabela 13 apresentada anteriormente mostra os resultados obtidos para as leituras com os *sticky pads*, indicando incômodos nos quatro dias coletados. Para os demais dias amostrados ocorreu perda das amostras, pois apesar dos *sticky pads* terem sido colocados no muro do térreo (saída do canteiro) e sobre a passarela da entrada do canteiro, próximos aos amostradores, vários deles foram perdidos, ora por serem levados pelo vento, ora porque durante alguns dias ocorreram períodos chuvosos, ou por contaminação das amostras que foram manuseadas pelos trabalhadores da obra.

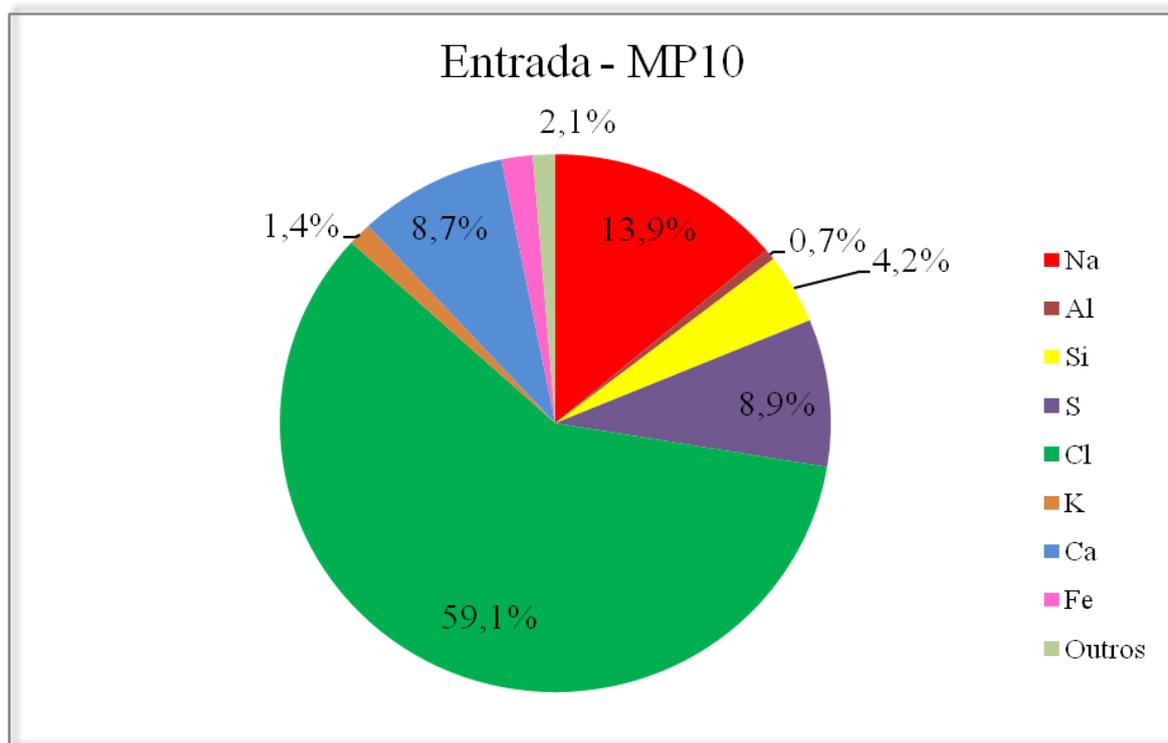
Com relação aos resultados obtidos com os *sticky pads* neste canteiro não puderam ser coletadas número representativo de amostras, visto terem ocorrido chuvas na maioria dos dias amostrados, além do manuseio indevido dos adesivos pelos operários. Foram obtidas quatro leituras, podendo ser destacadas as duas que registraram queixas graves (25 e 30/07/2014). Estas leituras coincidiram com o resultado da amostragem utilizando os *MiniVols*, sendo obtidas altas concentrações para os mesmos dias. As variáveis meteorológicas, direção predominante do vento e velocidade do vento foram favoráveis aos resultados, como descritas anteriormente. Ocorreram chuvas nestes dois dias, mas não prejudicaram as amostras.

Caracterização Química

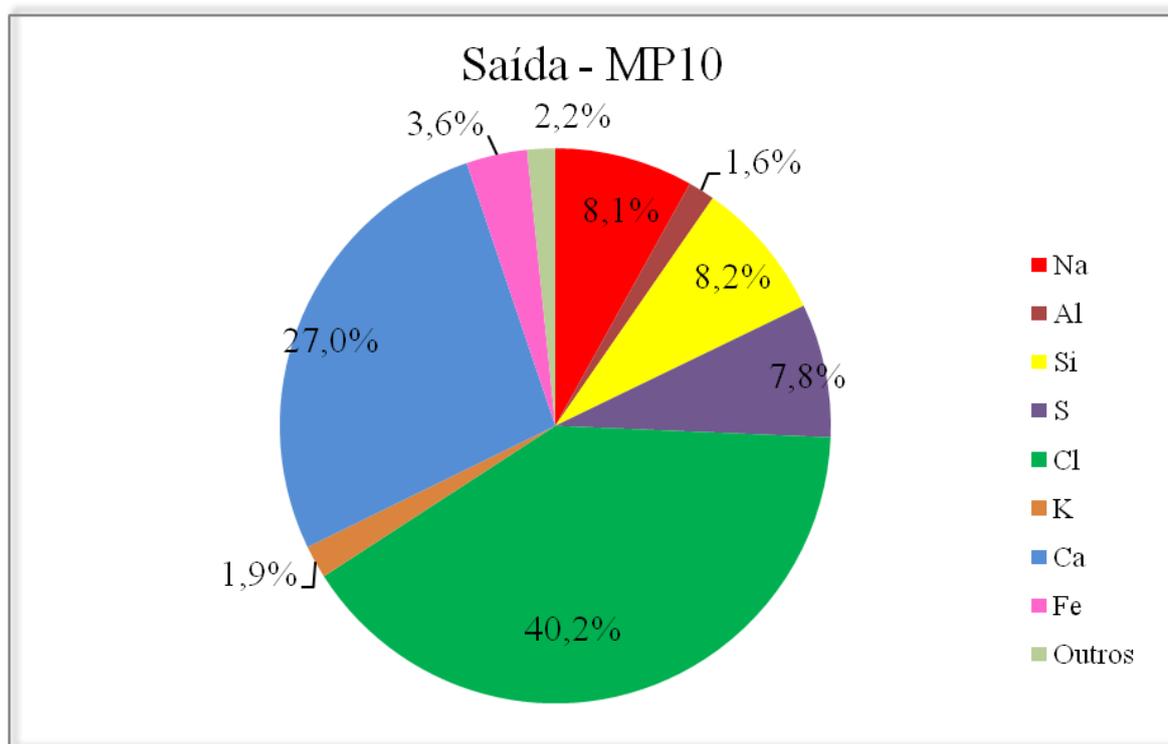
Os principais óxidos dos elementos químicos presentes nas amostras foram Na, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, além de outros. As Figuras 30 e 31 ilustram de forma clara a composição do material particulado presente nas amostras do canteiro 1.

Os óxidos dos elementos que apresentaram concentração significativa na entrada do canteiro foram Na e Cl, possivelmente provenientes de brisas marinhas, além do S (emissões veiculares), Ca, Si e Fe provenientes do gesso, solo e do concreto. Os óxidos dos elementos que apresentaram concentração significativa na saída do canteiro foram Cl e Ca. Possivelmente o Cl e o Na foram provenientes das brisas marinhas e o Ca foi proveniente do concreto, além do Si, Na, S, Si e Fe provenientes do gesso, solo e do concreto.

Mais uma vez percebe-se que o comportamento do material particulado coletado na parte posterior do canteiro (Saída) é diferente do material coletado na frente do canteiro (entrada). Os elementos químicos presentes nas amostras da saída do canteiro retratam de forma mais expressiva a construção, pois percebe-se que os óxidos dos elementos constituintes do concreto (Ca, Si, Al e Fe) dobram de valor em relação à entrada do canteiro, bem como o Ca triplica a sua concentração. Assim pode-se confirmar que o material particulado que entra no canteiro apresenta composição distinta do material que sai do canteiro. O Cl e o Na permanecem com as maiores concentrações apresentadas, mais com valores um pouco menores.

Figura 30 – Análise Química do Material Particulado MP10 Entrada Canteiro 1

Fonte: Própria

Figura 31 – Análise Química do Material Particulado MP10 Saída Canteiro 1

Fonte: Própria

As atividades que se destacaram na geração de MP foram bombeamento do concreto (Ca, Si, Al e Fe) pelos caminhões betoneira, a descarga de materiais diversos e o corte de gesso (Ca e S). Nos dias em que ocorreram as maiores concentrações de Ca (11, 14, 15, 17, 24, 30 e 31/07/2014), também ocorreram concretagem e/ou produção de argamassa. No dia 03/07 os valores de concentração dos óxidos dos elementos foram os mais baixos registrados, com destaque para os valores do Cl e Na, tanto na entrada quanto na saída apresentando valores próximos. Houve chuvas no período, o vento foi predominante, mas neste dia não foram desenvolvidas atividades no canteiro.

4.1.3 Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 1

Após a análise dos resultados foi observado que o perfil do material particulado gerado pelo canteiro 1 é constituído em sua maioria de partículas da fração grossa (PTS), pois durante todos os dias amostrados o percentual da fração MP10 foi em torno de 30% a 40% da fração PTS. O MP10 proveniente do canteiro apresentou grande variação, isto pode ser comprovado com a diferença entre os valores de concentração obtidos na entrada e os valores obtidos na saída do canteiro. Estes valores apresentam diferenças máximas em torno de 60%.

As frações apresentaram valores de concentração na saída do canteiro superiores aos valores da entrada na maior parte dos dias amostrados sendo coincidentes os dias 17, 22 e 28 de julho de 2014. Nestes dias as atividades comuns observadas foram produção de argamassa e elevação de alvenaria no térreo, 1º, 2º, 3º 4º e 5º pavimentos. O pavimento coincidente nos três dias foi o térreo. Este resultado coincidiu com a análise química, pois foram obtidas também altas concentrações de Ca na saída do canteiro, comprovando a influência das atividades de construção na concentração do material particulado. Nos demais dias as frações apresentaram valores de concentração maiores algumas vezes na entrada, outras na saída do canteiro.

Neste canteiro não foi verificada a influência das variáveis meteorológicas, direção predominante e velocidade do vento na variação da concentração, considerando a relação entre os dois pontos, entrada e saída do canteiro, bem como do índice pluviométrico. Foram obtidos valores altos de concentração mesmo com altos índices pluviométricos.

Como a direção foi predominante na maioria dos dias amostrados e tendo-se observado que o MP nas diferentes frações apresentou comportamento muito distinto nos dois pontos coletados, pode-se concluir que o posicionamento dos equipamentos frente à torre construída

alterou este comportamento obstruindo o fluxo do material e diferenciando o seu comportamento nos dois pontos.

Para o dia de domingo (03/08/2014) foram obtidas altas concentrações de MP, mesmo sem atividades no canteiro. Este fato só pode ser explicado pela ocorrência de contribuição de outras fontes, não relacionadas ao canteiro ou da possível ressuspensão do MP dentro do canteiro. Observando o resultado da análise química para este dia, percebeu-se que os óxidos dos elementos químicos que se destacaram na composição destas amostras foram o Cl (5,12 e 4,24 %) e o Na (1,43 e 1,87 %) respectivamente, na entrada e na saída, os demais óxidos (S, Si, Ca, Fe) tiveram percentual irrelevante ($< 0,5$ %). Também foram obtidos altos valores de Na e Cl, tanto em massa quanto na composição química durante todos os dias amostrados, justificando-se assim a contribuição diária destes elementos que não eram provenientes do canteiro, e sim, de fonte externa (brisas marinhas).

4.2 CANTEIRO DE OBRAS 2

O Canteiro 2 apresenta topografia do terreno formada por associação de rochas cristalinas com arranjo estrutural complexo, genericamente chamado de “granulitos”, sedimentos quaternários arenosos, siltosos e argilosos, pouco consolidados de espessura variada, além de sedimentos arenosos de praia ativa e terraços marinhos associados, depósitos eólicos em cordões litorâneos e dunas com areias ricas em quartzo e acumulação fluvio-eólica.

Na Figura 32 pode ser vista a foto aérea com a posição exata do terreno do canteiro 2, situado em área urbana e residencial/comercial, podendo também ser vistos os pontos de instalação dos equipamentos dentro do canteiro e o Ponto 1 de instalação da estação meteorológica. A Figura 33 ilustra o Ponto 1 da estação meteorológica em que foram coletados os dados para determinação da direção predominante do vento, antes da medição do material particulado.

Figura 32 – Foto Aérea da localização do canteiro 2



Fonte: Google Maps

Figura 33 – Posicionamento da estação – Ponto 1 (Saída do canteiro)



Fonte: Própria

4.2.1 Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 2

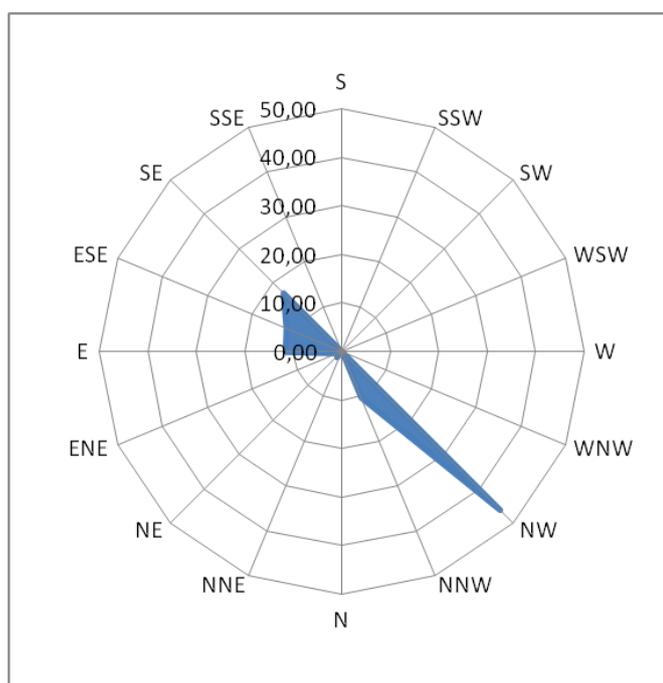
Durante o período de coleta de dados para identificação da direção predominante do vento (22/10 e 29/10/2014), período de estudo 1, os dados registrados pela estação indicaram que o vento predominante no ponto estudado foi o Noroeste (46,09%) (Figura 34). Houve pouca variação para as direções Sudeste (SE), Leste Sudeste (ESE), Leste (E) e Norte Noroeste (NNW) e os ventos permaneceram fracos, com velocidade média de 1,9 m/s (Brisa leve). A Tabela 11 apresenta os dados meteorológicos do período de estudo 1 (dados meteorológicos).

Tabela 11 – Variáveis meteorológicas do período de estudo 1

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (°C)	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
22/10/2014	0,00	64	762,4	28,9	1,24	NW – Noroeste
23/10/2014	0,00	61	762,8	29,1	0,94	SE – Sudeste
24/10/2014	0,00	72	761,9	27,9	1,46	SE – Sudeste
25/10/2014	5,08	74	761,0	27,5	1,30	ESE - Leste-Sudeste
26/10/2014	0,00	69	760,4	28,4	2,9	NW – Noroeste
27/10/2014	0,00	75	760,9	28,2	2,5	NW – Noroeste
28/10/2014	0,00	75	760,9	28,5	2,7	NW – Noroeste
29/10/2014	0,00	76	760,2	28,7	2,3	NW – Noroeste

Fonte: Própria

Figura 34 – Direção do vento predominante (Saída do canteiro 2) – (22/10 a 29/10/2014)



Fonte: Própria

Neste período de estudo foi registrado índice pluviométrico apenas no dia 25/10 cujo valor foi de 5,08 mm. A temperatura média foi de 28,4 °C, a média dos valores diários registrados para a umidade foi de 71 % e pressão de 761,30 mmHg.

4.2.2 Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 2

A medição do material particulado ocorreu entre os dias 03 a 21/11/2014 e os pares de amostradores ficaram distantes cerca de 53 metros. As Figuras 35 a e 35 b ilustram a instalação dos equipamentos na entrada e no final do canteiro respectivamente. Os adesivos *Sticky pads* foram colocados próximo aos amostradores em tubos de PVC e fixados em barrotes, tanto na parte da entrada do canteiro quanto na parte posterior (Figura 36).

Figuras 35 a e 35 b – Equipamentos instalados na entrada e saída do canteiro



Fonte: Própria

Figura 36 – Coleta de material particulado utilizando adesivos *Sticky pads*



Fonte: Própria

A coleta foi iniciada na fase de obra bruta quando estavam sendo realizadas as atividades de forma, desforma e concretagem (Figura 37).

Figura 37 – Fase de obra-bruta do Canteiro 2



Fonte: Própria

A Tabela 12 apresenta as variáveis meteorológicas registradas no período de coleta. Foram registradas chuvas durante seis dias alternados, apresentando variação nos índices pluviométricos, mas com valores baixos. A pressão atmosférica foi a única variável que não sofreu grande variação. Destaque pode ser dado ao dia 18/11/2014, que apresentou o maior índice registrado (9,39 mm) no período de coleta, seguido do maior valor para velocidade do vento (2,3 m/s) e da umidade relativa (94,9%), bem como da menor temperatura registrada (22,1°C).

Durante o período de coleta também houve muita variação na direção predominante do vento sendo 41,25% Leste-Sudeste (ESE), 23,33% Noroeste (NW), 22,50% Sudeste (SE), 8,33% Leste (E), 2,50% Oeste-Noroeste (WNW) e 2,08% Norte-Noroeste (NNW). Ocorreu inversão da direção predominante em 14 dias, em apenas um dia (12/11/2014) ocorreu a direção NW, inicialmente adotada como predominante. Nos demais dias (03, 04, 05, 06, 10, 11, 13, 14 e 21/11/2014) a direção foi ESE e (07, 16, 18, 19, 20/11/2014) foi SE.

Tabela 12– Variáveis Meteorológicas do período de coleta

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (°C)	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
03/11/14	0,51	79,0	761,8	27,2	1,5	ESE: Leste-Sudoeste
04/11/14	0,00	75,8	762,6	28,2	1,2	ESE: Leste-Sudoeste
05/11/14	0,00	67,4	761,4	28,9	1,1	SE: Sudoeste
06/11/14	0,00	74,9	758,3	28,4	1,4	E: Leste
07/11/14	0,00	74,9	757,9	28,9	1,3	ESE: Leste-Sudoeste
10/11/14	0,00	73,0	758,0	29,2	1,8	NW: Noroeste
11/11/14	0,51	80,4	758,2	27,2	1,2	ESE: Leste-Sudoeste
12/11/14	0,00	69,3	757,8	29,7	1,5	ESE: Leste-Sudoeste
13/11/14	9,39	95,0	760,00	22,00	2,2	SE: Sudoeste
14/11/14	0,25	78,5	761,2	25,8	1,7	SE: Sudoeste
16/11/14 (Domingo)	0,00	80,8	761,3	26,1	1,1	SE: Sudoeste
18/11/14	0,50	84,5	761,1	26,8	0,8	ESE: Leste-Sudoeste
19/11/14	3,55	87,6	759,8	25,3	0,6	SE: Sudoeste

* Domingo (Dia de obra parada)

Fonte: Própria

A seguir a Tabela 13 apresenta os valores das concentrações diárias obtidas para as duas frações de material particulado em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, as atividades diárias desenvolvidas durante o período de coleta e as leituras diárias obtidas para os *sticky pad* em % EAC (*effective área coverage*)/Dia e sua corresponde resposta de acordo com os níveis típicos de resposta de *Beaman e Kingsbury* (1981).

Tabela 13 – Resultados das amostras no período de coleta do canteiro de obras 2. EAC, *effective area coverage*.

DIAS	CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ATIVIDADES	RESULTADOS STICKY PADS			
	Entrada		Saída			Entrada		Saída	
	PTS	PM10	PTS	PM10		%EAC/Dia	Resposta	%EAC/Dia	Resposta
03/11/14	158,19	Não houve leitura	279,09	53,00	Demolição do Stand de Vendas, escavação com escavadeira hidráulica e concretagem.	Não Houve leitura	Não Houve leitura	Não Houve leitura	Não Houve leitura
04/11/14	96,33	Não houve leitura	101,96	48,86	Demolição do Stand de Vendas, retirada de material do stand, escavação com escavadeira hidráulica e concretagem de pilares.	1,0	Censurável	0,7	Censurável
05/11/14	116,25	51,64	151,12	46,60	Escavação e concretagem do reservatório inferior.	10,3	Queixas Graves	6,3	Queixas Graves
06/11/14	128,60	53,42	138,15	57,61	Concretagem de vigas, chumbamento dos pilares, escavação do terreno e rebaixamento do lençol freático.	3,0	Queixas Graves	3,0	Queixas Graves
07/11/14	160,86	59,40	188,03	62,82	Concretagem e aterramento de cintas.	1,7	Censurável	2,0	Prováveis reclamações
10/11/14	207,42	66,77	232,35	74,01	Concretagem	17,3	Queixas Graves	14,0	Queixas Graves
11/11/14	143,34	62,10	284,25	80,84	Concretagem	5,7	Queixas Graves	3,7	Queixas Graves
12/11/14	123,09	52,08	268,61	75,76	Concretagem e rebaixamento do lençol freático.	11,0	Queixas Graves	10,3	Queixas Graves
13/11/14	604,72	61,20	210,10	74,37	Concretagem de blocos e vigas e rebaixamento do lençol freático.	13,7	Queixas Graves	9,3	Queixas Graves
14/11/14	59,92	64,34	228,20	73,45	Concretagem de pilares, desforma dos blocos de fundação, rebaixamento do lençol freático.	20,0	Queixas Graves	15,0	Queixas Graves
16/11/14 (Domingo)	89,42	30,15	57,82	25,87	Sem atividade	Não Houve leitura	Não Houve leitura	Não Houve leitura	Não Houve leitura
18/11/14	40,10	28,80	Não houve leitura	27,25	Concretagem de laje e rebaixamento do lençol freático.	3,5	Queixas Graves	12,3	Queixas Graves
19/11/14	83,42	44,96	148,81	47,06	Concretagem de laje e rebaixamento do lençol freático.	2,0	Prováveis reclamações	2,7	Prováveis reclamações
20/11/14	111,54	56,25	182,69	56,36	Concretagem de laje	0,0	-	4,3	Queixas Graves
21/11/14	96,94	40,95	138,00	40,17	Concretagem de laje	3,5	Queixas Graves	1,3	Censurável

* Domingo (Dia de obra parada) / Outliers (Valores atípicos)

Fonte: Própria

Análise Gravimétrica

A análise das amostras foi realizada através da construção do gráfico *Boxplot* para determinação da variabilidade, simetria e valores atípicos.

Para a fração PTS foi obtido apenas um valor atípico (*outliers*) na entrada do canteiro ($604,72\mu/m^3$), conforme mostram as Figuras 38 e 39 que apresentam a simetria e a variabilidade das amostras. Este *outlier* ocorreu no dia 13/11/2014, podendo ter ocorrido uma medição fora do normal seja por influência de alguma das variáveis meteorológicas ou por influência de atividades desenvolvidas, ou mesmo, por erros na amostragem. Neste dia as variáveis registradas foram 0,51 mm de chuvas, vento de 1,2 m/s e direção predominante ESE, contrária à adotada inicialmente como predominante (NW). Quanto às atividades desenvolvidas neste dia ocorreram a concretagem de blocos e vigas e o rebaixamento do lençol freático. Estas atividades foram realizadas na saída do canteiro e estavam sendo desenvolvidas em meio ao fluxo predominante do vento. Neste dia o vento direcionou o material do fundo para frente do canteiro. Outro fato que caracteriza este valor como *outlier* é o comportamento da fração MP10, que manteve seus valores dentro dos limites máximos e mínimos. Desta forma, como nenhum fator justifica a concentração tão elevada que foi obtida para o PTS entrada, então pode-se concluir que ocorreu um erro amostral.

Figura 38 – Simetria e variabilidade das amostras de PTS Entrada e Saída

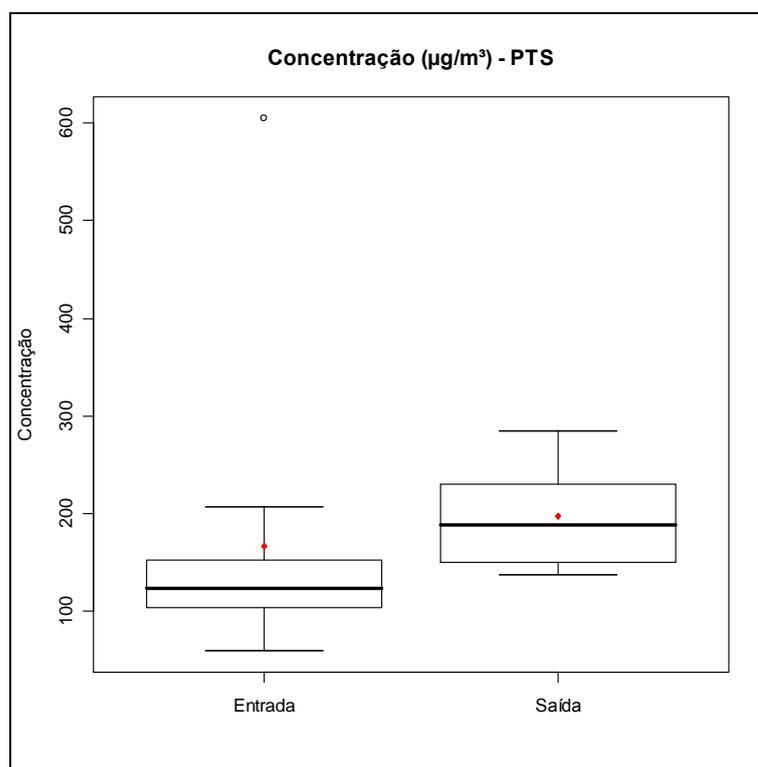
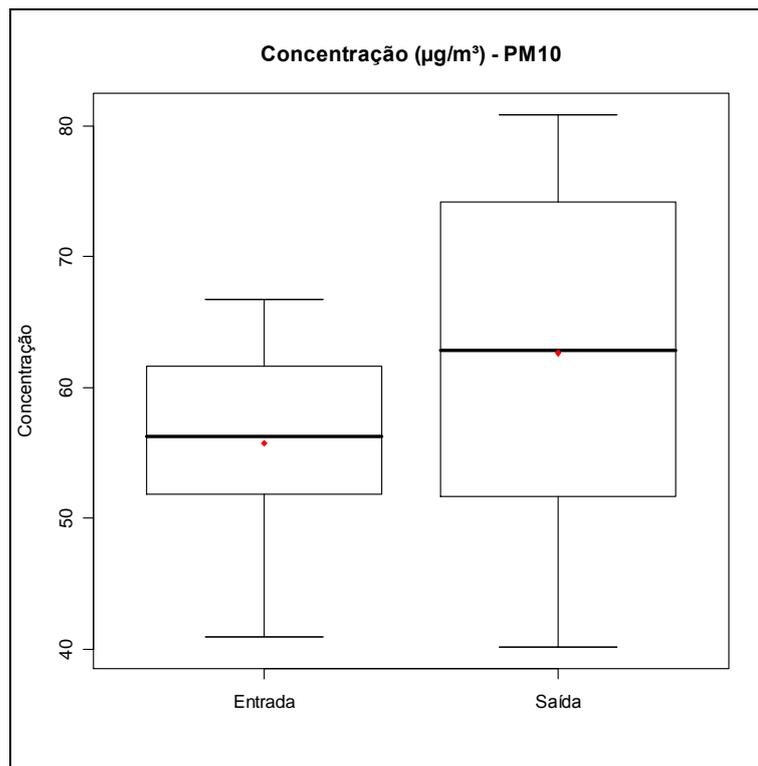


Figura 39 – Simetria e variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e saída)



Desconsiderando o *outlier*, o valor máximo obtido para a fração PTS entrada foi de 207,42 µg/m³, que ocorreu no dia 10/11/2014, tendo como atividade principal a concretagem e as seguintes variáveis meteorológicas: velocidade do vento de 1,4 m/s; direção predominante a Leste (E), contrária à adotada inicialmente (NW) e 0,0 mm de chuva. Para este dia foi obtida a segunda maior média de leitura dos *sticky pads* (17,33% na entrada). A fração MP10 entrada também obteve valor máximo neste dia 10/11/2014 (66,77 µg/m³).

O valor máximo obtido para o PTS saída ocorreu dia 11/11/2014 (284,25 µg/m³), tendo como atividade principal a concretagem e as seguintes variáveis meteorológicas: velocidade do vento de 1,3 m/s; direção predominante Leste-sudeste (ESE) e 0,0 mm de chuva. Também foi registrada queixa grave na leitura da média diária dos *sticky pads*. Para a fração MP10 saída também foi obtido valor máximo neste dia 11/11/2014 (80,84 µg/m³).

Nas duas situações anteriores dia 10/11/2014 e 11/11/2014 o vento predominante do dia foi contrário ao adotado como predominante para posicionamento dos equipamentos (NW), o que deveria ter acontecido é que o MP fosse trazido de trás para frente do canteiro, situação só verificada no dia 10/11 quando foram obtidas altas concentrações na entrada do canteiro. Para o dia 11/11, ocorreu o inverso, as maiores concentrações foram obtidas na saída do canteiro sob condições meteorológicas idênticas ao dia anterior e tendo como atividade realizada também a concretagem. Analisando esta situação, verifica-se que a variável direção do vento

não teve muita influência no resultado e é provável que o fator que mais influenciou neste resultado foi à proximidade das atividades dos pontos de coleta.

De modo geral pôde ser verificado um padrão no comportamento das diferentes frações durante os dias amostrados. Analisando os resultados percebe-se que a maior parte dos dias amostrados apresentou maior concentração na saída do canteiro para as duas frações (73%), e nos demais dias (27%), algumas vezes foi maior na entrada e outras na saída. Apenas no Domingo (16/11/2014) os valores de concentração da entrada (PTS 82,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; MP10 30,15) foram superiores ao da saída (PTS 57,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP10 25,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), porém os valores mais representativos foram obtidos na entrada, para as duas frações de MP. Neste dia foram obtidos os menores valores de concentração, como era de se esperar, pois não ocorreram atividades de construção. As variáveis meteorológicas do período foram pluviosidade de 3,55 mm; direção predominante igual a SE (Sudoeste) e velocidade de 0,6 m/s. Desta forma, pode-se presumir que houve muita pouca contribuição de emissão de partículas pelo canteiro e o MP gerado possivelmente foi proveniente de fonte externa.

Dos 11 dias considerados na análise, a direção do vento variou entre Leste Sudeste (ESE) e Sudeste (SE), apenas no dia (12/11/2014) predominou a direção Noroeste (NW) adotada como predominante. Neste dia também foram obtidas as maiores concentrações na saída do canteiro. A velocidade do vento neste dia teve mínima de 1,1m/s e máxima de 1,8 m/s.

Uma observação importante é que durante o período de amostragem, embora não tenha ocorrido predominância do vento NW o dia todo, este aparece em intervalos diários e com velocidades altas (0,9 a 2,2 m/s), com exceção para os dias 16, 18, 19 e 20/11/2014. Isto pode explicar o fato das maiores concentrações serem obtidas na saída do canteiro, pois durante o período em que o vento foi NW, o material foi direcionado para o ponto 2 de coleta, ou também pode ser explicado pelo fato das atividades desenvolvidas estarem próximas do ponto de coleta 2.

As Figuras 40 e 41 apresentam o gráfico de evolução das frações PTS e MP10 na entrada e saída do canteiro. Estes dois gráficos apresentam o perfil das concentrações das duas frações de MP. Na entrada do canteiro há maior homogeneidade nos dois resultados, tanto do PTS (excluindo o *outlier*) quanto do MP10. Já na parte posterior do canteiro percebe-se que a fração grossa apresenta grande variação e o MP10 é mais uniforme (os valores de média e mediana são próximos e o desvio padrão é pequeno).

Figura 40 – Perfil do Material Particulado na entrada do canteiro

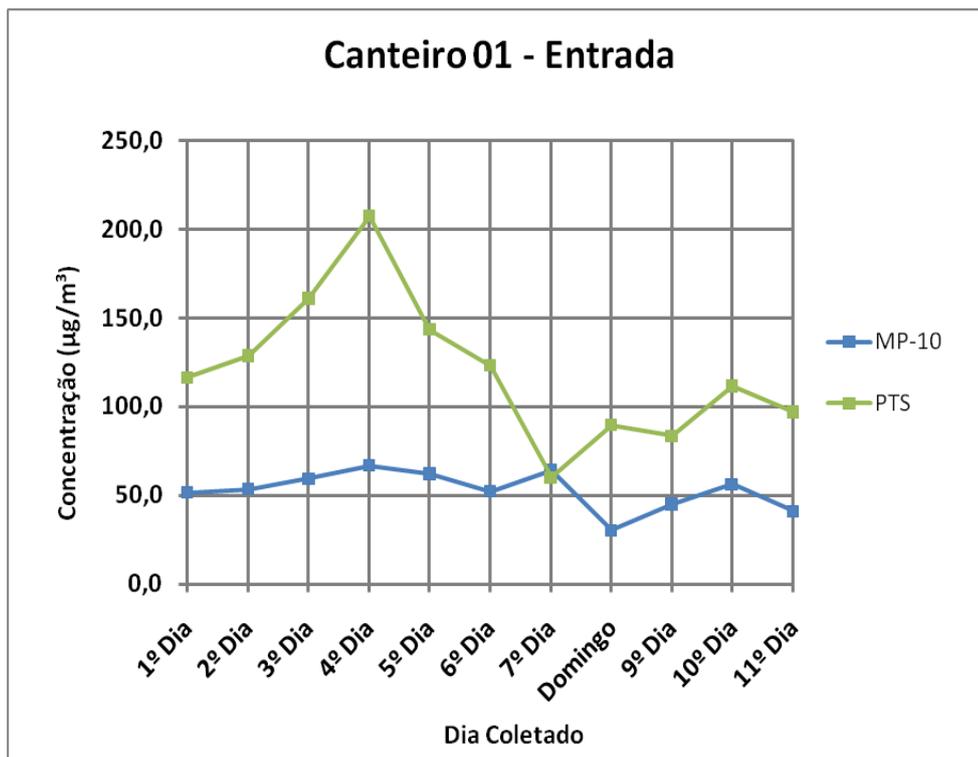
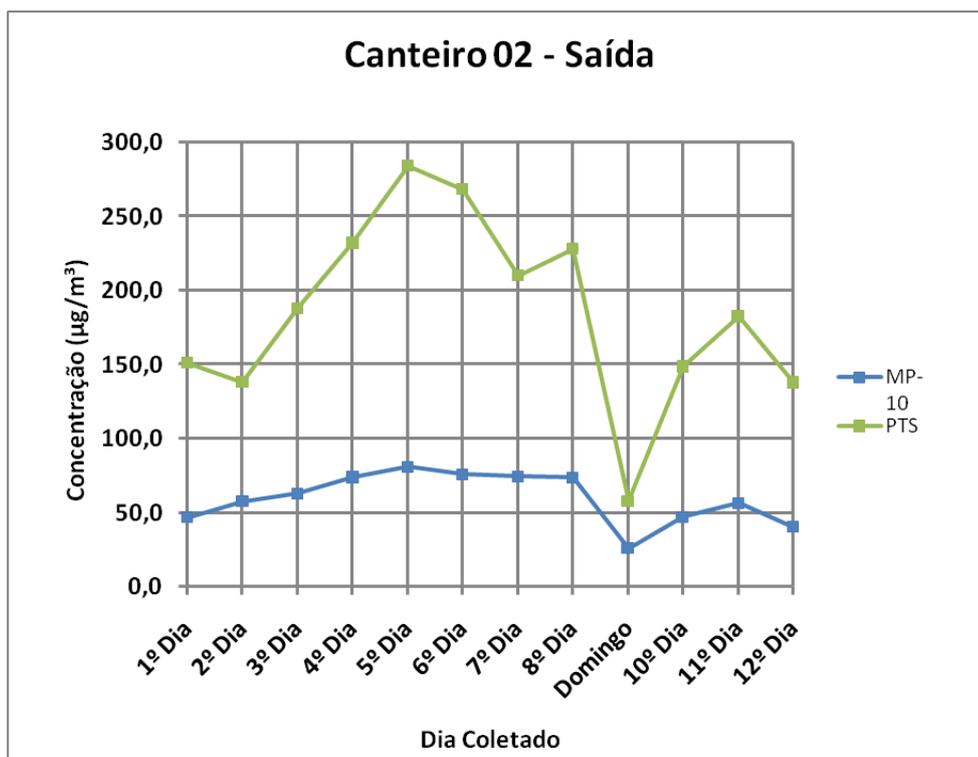


Figura 41 – Perfil do Material Particulado na saída do canteiro



Como praticamente não houve variação das atividades diárias, não foi possível associar os resultados obtidos a uma atividade específica, tendo sido observado apenas que ocorre maior geração de partículas grossas provenientes do canteiro e as partículas de MP10

apresentaram menor contribuição. Este perfil mostra que os impactos gerados na vizinhança e no próprio canteiro possuem relação direta com as partículas PTS, pois este tipo de partícula sedimenta mais rápido e tem efeito localizado, ao passo que as MP10 ficam suspensas e podem ser transportadas para longe do canteiro. As Figuras 42, 43a e 43b ilustram algumas situações específicas que favoreceram a geração de particulados na frente do canteiro.

Figura 42 – Via de movimentação de veículos em frente ao canteiro



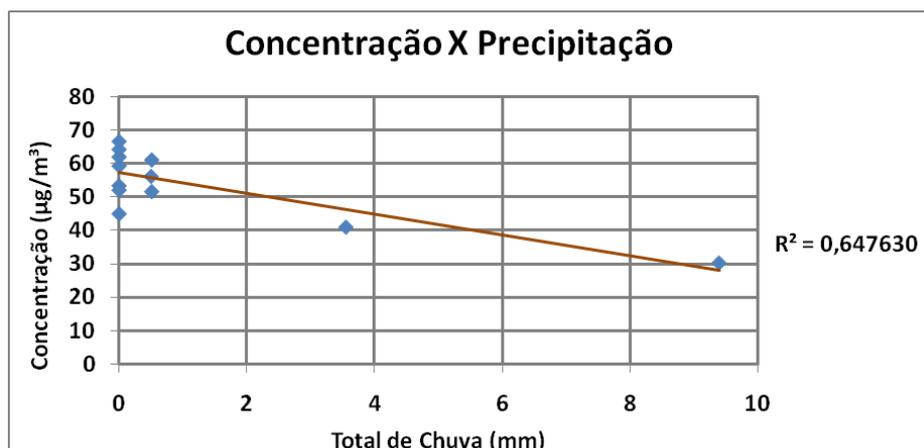
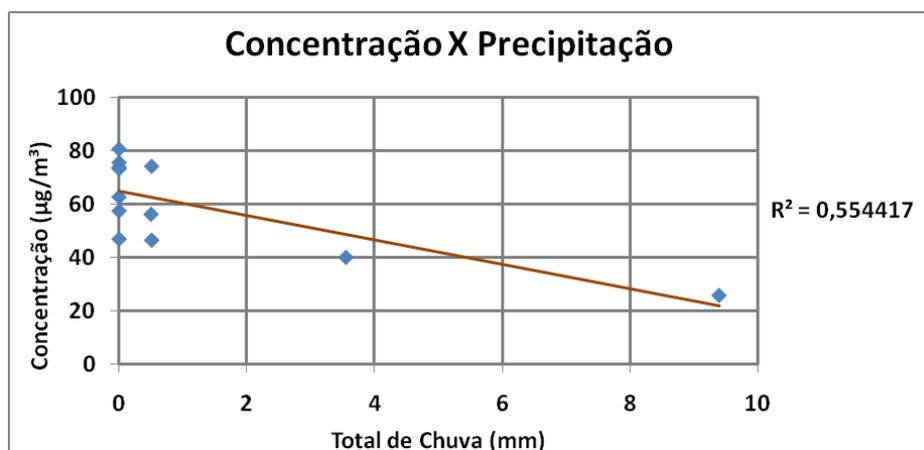
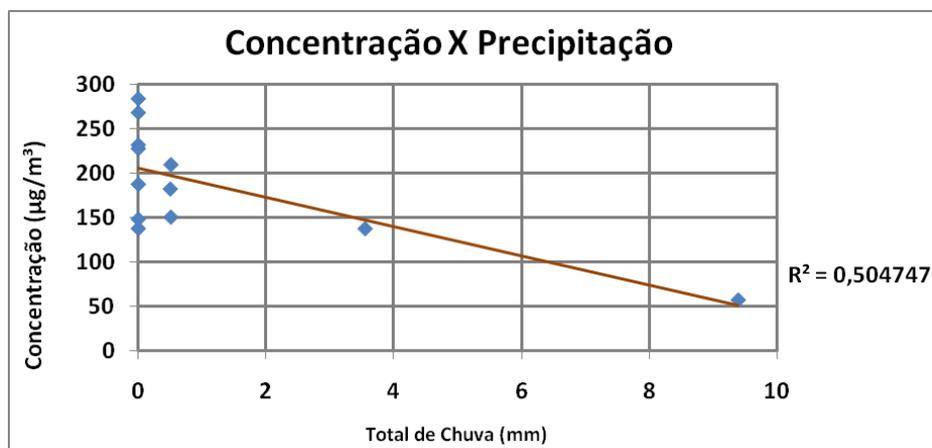
Fonte: Própria

Figura 43 a e 43 b – Movimentação de caminhões betoneira no canteiro



Fonte: Própria

Buscou-se identificar a existência de correlação entre as medições e as variáveis meteorológicas. Foi estabelecida a correlação apenas para a variável velocidade do vento e índice pluviométrico, pois foram as variáveis que mais influenciaram nos valores da concentração. As figuras 44, 45 e 46 ilustram os gráficos da correlação da Concentração versus Precipitação que apresentaram os valores mais próximos da unidade. Os demais gráficos são apresentados no APÊNDICE F por não terem apresentado significância neste estudo.

Figura 44 – Gráficos de Correlação da Concentração x Precipitação (MP10 – Entrada)**Figura 45** – Gráficos de Correlação da Concentração x Precipitação (MP10- Saída)**Figura 46** – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação (PTS – Saída)

Analisando a correlação das diferentes frações, nota-se que há certa relação entre a concentração e o índice pluviométrico apenas para a fração MP10 da entrada, pois a partir de certo valor do índice percebe-se a redução da concentração. Isto pode ser comprovado com o resultado das concentrações do dia 18/11/2014, quando foi obtido o maior índice

pluviométrico e o menor valor de concentração. Também pode ser justificado pelo fato da MP10 ser mais leve, logo sofrer maior influência da precipitação.

Para as diferentes frações PTS e MP10 da saída do canteiro também foram obtidas correlações próximas da unidade, configurando certa relação entre as concentrações e o índice pluviométrico. Para a situação do MP10 saída, pode ser considerada a mesma explicação anterior.

A correlação entre a velocidade e a concentração para as duas frações de material particulado foi pouco expressiva tanto na entrada quanto na saída (Figuras 47, 48, 49 e 50). Isto pode ser explicado pela uniformidade entre os valores obtidos na concentração. A correlação se aproxima de uma reta, isto é, à medida que a velocidade aumenta quase não há alteração no valor da concentração. Os ventos registrados atingiram máxima de 3,1 m/s (11,16 km/h) que correspondem a brisa suave.

Figura 47 - Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade (PTS – Entrada)

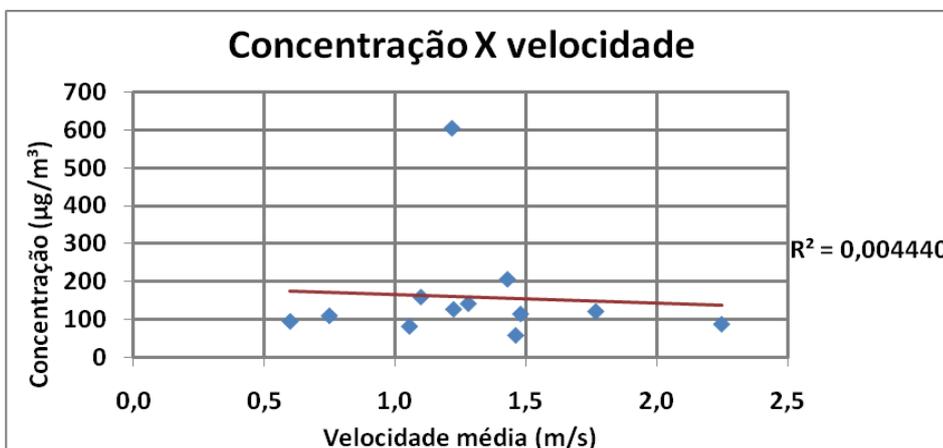


Figura 48 – Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade (PTS – saída)

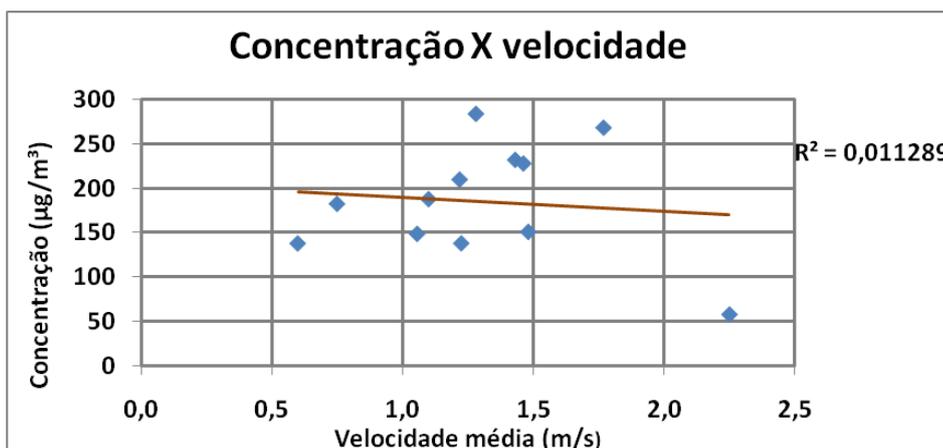


Figura 49 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade (MP10 – Entrada)

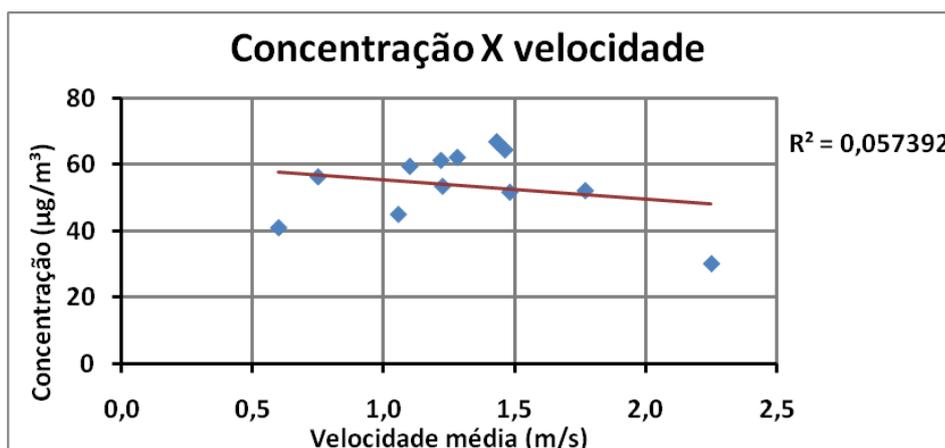
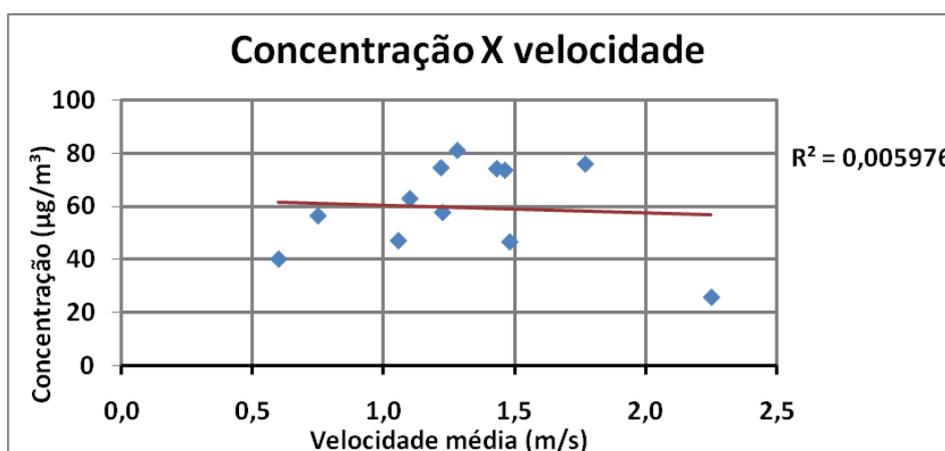


Figura 50 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade (MP10 – Saída)



Taxa de Sedimentação

Com base na Tabela 11 apresentada anteriormente, observam-se os resultados obtidos para as leituras das amostras diárias, representando queixas graves na maioria dos dias amostrados, tanto na entrada quanto na saída do canteiro. Os maiores percentuais obtidos foram os dias 05, 10, 11, 12, 13 e 14/11/2014.

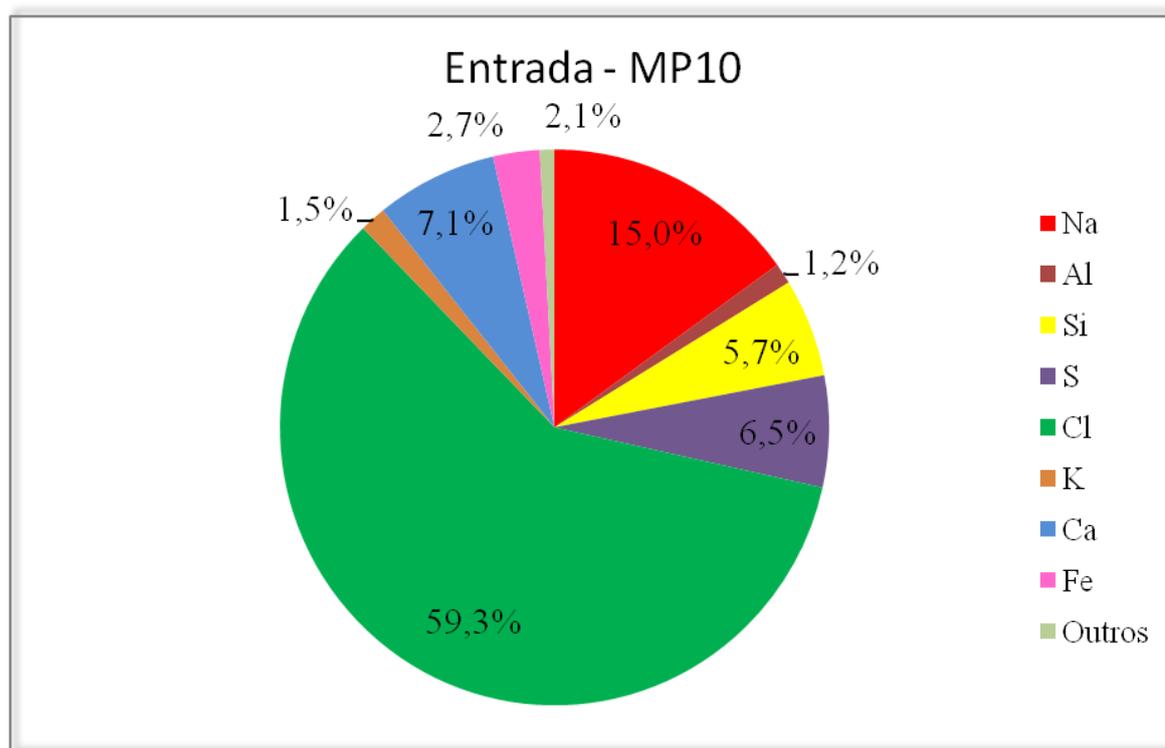
No dia 14/11/2014 foram obtidas as maiores leituras do *sticky pad* (20,00% entrada) e (15,00% saída) do canteiro. As variáveis meteorológicas deste dia foram direção predominante ESE; ventos com média de 1,5 m/s, não houve chuvas no período. Observa-se que as concentrações obtidas com os *MiniVols* foram altas apenas na saída do canteiro, isto mostra que os resultados obtidos com os *sticky pads* e *MiniVols* nem sempre coincidem. Nos demais dias em que foram obtidos altos percentuais, o vento foi predominante em alguns períodos do dia, tendo sido registrados os maiores valores na frente do canteiro. Este fato pode estar associado à contribuição de atividades próximas aos adesivos e ao fato de que neste

canteiro os adesivos não ficaram no mesmo ponto de coleta dos amostradores e sim nas laterais.

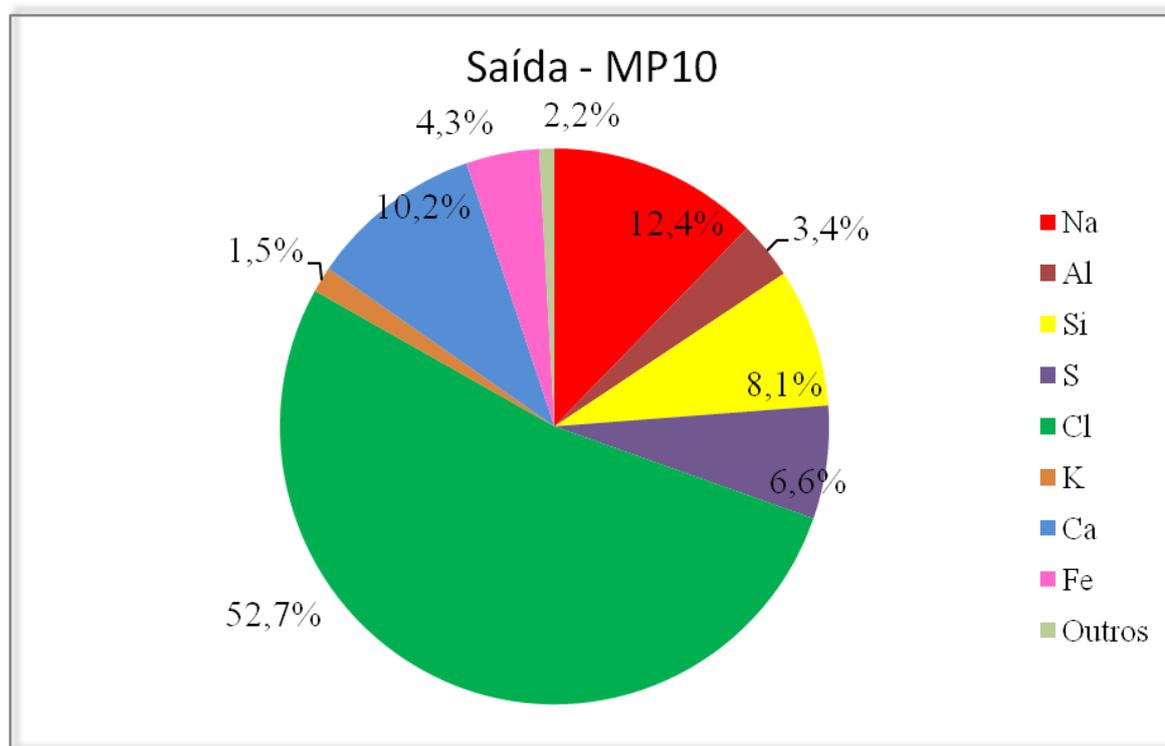
Caracterização Química

Os principais óxidos dos elementos químicos presentes nas amostras foram Na, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe, além de outros tais como Mg, P, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Se, Br, Pb. As Figuras 51 e 52 ilustram a composição do material particulado presente nas amostras do canteiro 2.

Figura 51 – Análise Química da Fração MP10 (Entrada)



Fonte: Própria

Figura 52 – Análise Química da Fração MP10 (Saída)

Fonte: Própria

Os óxidos dos elementos que apresentaram concentração significativa na entrada do canteiro foram Na e Cl, provenientes de brisas marinhas, visto que este canteiro estava localizado próximo ao litoral. Também foram significativas a presença dos óxidos de Ca, S, Si e do Fe.

Os óxidos dos elementos que apresentaram concentração significativa na saída do canteiro foram Cl e Na, caracterizando a região litorânea. Também foram significativas as participações dos óxidos de Ca, Si, S, Fe e Al, caracterizando a contribuição da construção.

Os óxidos dos elementos químicos presentes nas amostras da parte posterior (saída) do canteiro retratam de forma mais expressiva a construção. Nota-se que os óxidos dos elementos constituintes do concreto (Ca, Si, Al e Fe) aumentam consideravelmente o percentual em relação à entrada do canteiro, ao passo que as contribuições externas (Cl e Na) decrescem o valor do percentual. Assim pode-se confirmar neste canteiro também que o material particulado que entra no canteiro apresenta composição distinta do material que sai do canteiro.

As atividades que se destacaram na geração de MP na entrada do canteiro foram bombeamento do concreto (Ca, Si, Al e Fe), ressuspensão do solo (Al, Ca, Fe, Si) e atividades

de marcenaria. Nos dias em que ocorreram as maiores concentrações de Ca (07 e 11/11/2014) ocorreu concretagem. Para os demais óxidos dos elementos (Si, Al, Fe e S), os maiores valores percentuais foram obtidos também dia 11/11/2014. Para a saída do canteiro, os maiores percentuais dos óxidos dos elementos químicos (Si, Al, Fe e S) ocorreram também no dia 11/11/2014, sendo obtidas também altas concentrações no dia 10/11/2014 que coincidem com o resultado da análise física (concentração do MP).

No dia 16/11/2014, o domingo, os valores de concentração dos elementos foram os mínimos alcançados. Houve um acumulado de chuva de 3,55 mm, segundo maior do período de medição, e a direção do vento foi ESE, contrária a direção adotada como predominante. Cl e Na também registraram valores mínimos. Com a análise química, assim como a análise gravimétrica, mostra-se que a contribuição neste dia é majoritariamente de fontes externas, neste caso a do litoral.

4.2.3 Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 2

Após a análise dos resultados foi observado que o perfil do material particulado gerado pelo canteiro 2 também é constituído em sua maioria de partículas da fração grossa (PTS), pois durante todos os dias amostrados o percentual da fração MP10 foi em torno de 30% a 40% da fração PTS. O MP10 proveniente deste canteiro apresenta uma variação uniforme, com valores de concentração bem próximos na entrada e saída do canteiro, podendo ser comprovado pela diferença entre os valores de concentração obtidos na entrada e na saída do canteiro. Desta forma, pode-se concluir que este canteiro apresentou uma pequena contribuição de MP10 para a fase de obra bruta.

As diferentes frações do material particulado apresentaram na saída do canteiro valores de concentração superiores ao da entrada. As atividades desenvolvidas neste canteiro foram iguais durante todo o período de amostragem. A análise química revelou que os percentuais dos elementos químicos mais presentes nas amostras e que são constituintes do concreto (Ca, Si, Al e Fe) foram mais significativos na saída do canteiro. A presença do Na e do Cl foi significativa tanto na entrada quanto na saída do canteiro, sendo maior na entrada. Analisando as situações apresentadas acima pode-se concluir que o material que entra no canteiro é diferente do material que sai do canteiro.

Com relação às variáveis meteorológicas percebeu-se neste canteiro que a pluviosidade foi a única variável que evidenciou a sua influência. Para os dias com maiores índices

pluviométricos registrados (16 e 18/11/2014) foram obtidas as menores concentrações, entretanto para as demais variáveis não ficou clara a influência. Neste canteiro houve inversão da direção predominante (NW) para ESE e SE, assim o fluxo do material gerado deveria ser da saída para a entrada do canteiro, porém os maiores valores de concentração foram obtidos na saída do canteiro, não sendo comprovada a influência da direção do vento. Com relação à velocidade do vento, foi pouco significativa a sua contribuição no que se refere à variação das concentrações.

No dia de Domingo (16/11), assim como no canteiro anterior, foram obtidas as mais baixas concentrações do período de amostragem. Observando os resultados da análise química verifica-se que as maiores contribuições deste dia representam os elementos Na e Cl, tanto na entrada quanto na saída do canteiro. Os demais elementos químicos presentes na amostra representam uma porcentagem inferior a 0,8%. Assim como na análise gravimétrica também foram obtidas as maiores concentrações deste dia na entrada do canteiro. O vento foi SE, proveniente da saída para a entrada do canteiro, o que demonstra que a predominância na entrada do canteiro foi dos elementos Na e Cl, e que para este dia não houve contribuição do canteiro. A composição química do material gerado na entrada do canteiro é semelhante ao que sai do canteiro (saída), sendo diferentes os percentuais de concentração.

Quanto aos resultados obtidos com os *MiniVols* e os *sticky pads* não ficou clara uma relação. Os resultados obtidos com os *sticky pads* não diferenciam a entrada da saída do canteiro, não sendo evidente qual ponto ofereceu maior contribuição. Em ambos os pontos (entrada e saída do canteiro) são registradas leituras semelhantes, para uma mesma faixa média de concentração, por vezes o resultado é de prováveis reclamações e por outras são de queixas graves.

4.3 CANTEIRO DE OBRAS 3

O Canteiro 3 está localizado na área urbana e residencial da cidade de Salvador-Bahia com coordenadas 12,987953”S e 38,454794”W e com área total de 937 m². A topografia do terreno é formada por encostas convexo-côncavas com solos espessos e argilosos, porosos e permeáveis. A Figura 53 ilustra uma foto aérea com a posição exata do terreno do canteiro 3, podendo ser observados o ponto 1 em que foi instalada a estação meteorológica e os pontos de instalação dos equipamentos *MiniVols* e *sticky pads*.

Figura 53 – Foto aérea da localização do Canteiro 3

Fonte: Google Maps

4.3.1 Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 3

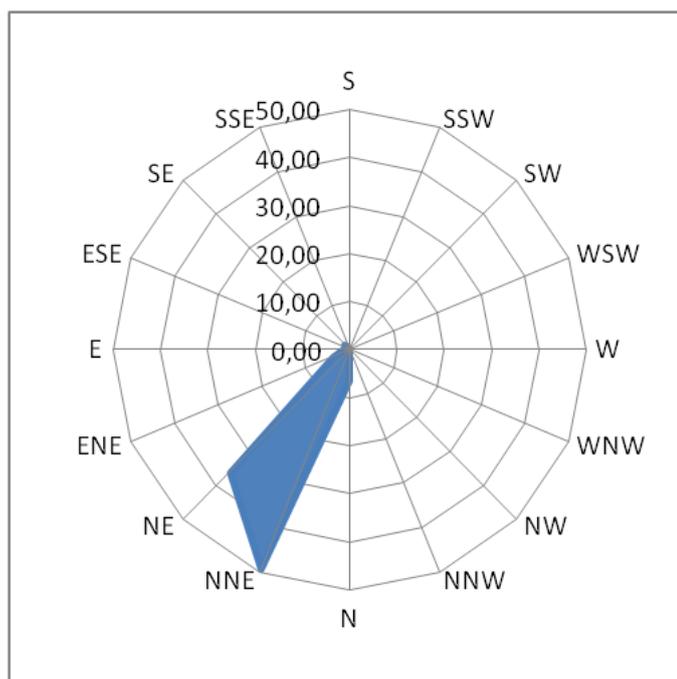
No ponto 1 a estação meteorológica ficou instalada de 10/01 a 17/01/2015. Neste período (Período 1) não foram registrados índices pluviométricos, os valores médios registrados correspondentes a umidade relativa foi de 70,0 %; pressão atmosférica de 760,4 mmHg; temperatura de 29,2 °C e velocidade de 1,8 m/s. Foi determinada a direção predominante do vento Norte-Nordeste (49,22%) com variação para a direção Nordeste (35,94%) (Figura 54). A Figura 55 ilustra o posicionamento da estação meteorológica no canteiro estudado. A Tabela 14 apresenta as variáveis meteorológicas registradas no período 1.

Tabela 14 – Variáveis Meteorológicas do período 1

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (°C)	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
10/01/2015	0,00	70	760,9	29,0	1,58	NNE - Norte-Nordeste
11/01/2015	0,00	72	760,8	29,2	1,50	NE - Nordeste
12/01/2015	0,00	72	761,3	29,1	2,03	NNE - Norte-Nordeste
13/01/2015	0,00	68	760,4	29,0	1,94	NNE - Norte-Nordeste
14/01/2015	0,00	68	759,8	29,4	1,7	NE - Nordeste
15/01/2015	0,00	70	760,1	29,0	2,0	NNE - Norte-Nordeste
16/01/2015	0,00	67	760,2	29,3	1,8	NNE - Norte-Nordeste
17/01/2015	0,00	69	759,9	29,3	1,9	NNE - Norte-Nordeste

Fonte: Própria

Figura 54 – Direção do vento predominante (10/01 a 17/01/2015)



Fonte: Própria

Figura 55 – Instalação da Estação Meteorológica



Fonte: Própria

4.3.2 Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 3

A medição da concentração do material particulado ocorreu entre os dias 23/01 à 12/02/2015. Os pares de amostradores foram colocados nos andaimes e ficaram distantes

cerca de 29 metros a cerca de 3 a 3,40 metros em relação ao solo. Como o terreno deste canteiro apresentava desnível, o segundo par de amostradores teve que ser posicionado na lateral do canteiro para que ficasse no mesmo nível do primeiro, desta forma, apenas cobriu parte da construção. A Figura 56 ilustra a localização dos amostradores *MiniVols* e dos adesivos *sticky pads*. As Figuras 57 e 58 ilustram a fase de obra bruta quando foram realizadas as medições do material particulado.

Figura 56 – Posicionamento dos *MiniVols* e *Sticky Pads* (frente e lateral do canteiro)



Fonte: Própria

Figura 57 – Fase de obra bruta Canteiro 3



Fonte: Própria

Figura 58 – Fase de obra bruta Canteiro 3

Fonte: Própria

A Tabela 15 apresenta as variáveis meteorológicas registradas no período de coleta. Durante o período de coleta das amostras não foram registradas chuvas. As variáveis pressão atmosférica e temperatura média sofreram pouca variação, obtendo-se médias de 758,5 mmHg e 29,6 °C, respectivamente. As demais variáveis obtiveram valores médios de umidade relativa de 69,9% e velocidade de 1,6 m/s. A coleta foi iniciada na fase de obra bruta com a execução de serviços de concretagem, elevação de alvenaria, forma e desforma.

Durante o período de coleta permaneceu como predominante a direção NNE (48,75%) com pouca variação entre as direções NE (16,25%) e ENE (15,83%).

Tabela 15 – Variáveis Meteorológicas do período de coleta

Dia	Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (°C)	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
1º Dia	23/01/15	0,00	68,9	760,2	29,7	1,7	NE: Nordeste
2º Dia	26/01/15	0,00	71,8	759,9	29,5	1,5	NNE: Norte-Nordeste
3º Dia	27/01/15	0,00	70,3	760,1	29,4	2,0	NNE: Norte-Nordeste
4º Dia	29/01/15	0,00	67,7	759,2	29,6	1,6	NNE: Norte-Nordeste
5º Dia	30/01/15	0,00	73,0	759,1	29,2	1,5	NNE: Norte-Nordeste
Domingo	01/02/15	0,00	69,2	759,9	29,7	1,8	NNE: Norte-Nordeste
6º Dia	03/02/15	0,00	68,5	759,4	29,9	1,7	NNE: Norte-Nordeste
7º Dia	04/02/15	0,00	71,5	758,4	29,3	1,5	NNE: Norte-Nordeste
8º Dia	05/02/15	0,00	74,0	757,9	29,4	1,3	NE: Nordeste
9º Dia	06/02/15	0,00	70,8	757,3	29,9	1,2	ENE: Leste-Nordeste
10º Dia	09/02/15	0,00	71,6	759,4	29,6	1,7	NNE: Norte-Nordeste
11º Dia	10/02/15	0,00	70,1	759,4	29,9	1,5	NNE: Norte-Nordeste
12º Dia	11/02/15	0,00	68,2	760,9	30,1	1,7	NNE: Norte-Nordeste
13º Dia	12/02/15	0,00	68,1	761,6	29,7	1,5	ENE: Leste-Nordeste

* **Domingo** (Dia de obra parada)

Fonte: Própria

A Tabela 16 apresenta os valores das concentrações diárias obtidas para as duas frações de material particulado em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, as atividades diárias desenvolvidas durante o período de coleta e as leituras diárias obtidas para os *sticky pads* em % EAC (*effective area coverage*) /Dia e sua corresponde resposta de acordo com os níveis típicos de resposta de *Beaman e Kingsbury* (1981).

Tabela 16 – Resultados das amostras no período de coleta do canteiro de obras 3. EAC, *effective area coverage*.

DIAS	CONCENTRAÇÃO (µg/m³)				ATIVIDADES	RESULTADOS STICKY PADS			
	Entrada		Saída			Entrada		Saída	
	PTS	PM10	PTS	PM10		%EAC/Dia	Resposta	%EAC/Dia	Resposta
23/01/15	183,10	57,97	175,27	59,26	Limpeza da laje; elevação de alvenaria. do térreo, 1º e 2º pavimentos; nivelamento da laje do 6º pavimento.	Não houve leitura	Não houve leitura	Não houve leitura	Não houve leitura
26/01/15	153,94	37,36	158,06	45,37	Elevação alvenaria do térreo e 1º pavimento; tratamento de poço do elevador.	2,5	Prováveis reclamações	3,0	Prováveis Reclamações
27/01/15	122,92	48,91	112,09	48,84	Elevação de alvenaria do térreo e 1º pavimento; tratamento de poço do elevador.	0,5	Possíveis Queixas	1,0	Censurável
29/01/15	99,77	24,91	84,01	42,59	Elevação de alvenaria do play e 1º pavimento.	1,0	Censurável	2,0	Prováveis reclamações
30/01/15	77,08	29,89	82,20	31,71	Elevação de alv. do térreo e 1º pav. e da escada ao 3º pavimento; concretagem da laje, vigas e escada do 7º pavimento;	4,0	Prováveis reclamações	2,0	Prováveis reclamações
01/02/15	89,42	30,15	57,82	25,87	Sem atividade	1,7	Censurável	1,8	Censurável
03/02/15	139,35	53,44	95,34	42,82	Subida de blocos e massa para levantar e marcação de alvenaria; elevação de alvenaria.do térreo e do 2º pavimento.	3,5	Prováveis reclamações	2,5	Prováveis Reclamações
04/02/15	131,71	44,84	129,08	44,21	Subida de blocos e massa; elevação de alvenaria. do térreo e do 2º pavimento; concretagem dos pilares do 8º pavimento	5,0	Queixas Graves	4,5	Prováveis Reclamações
05/02/15	194,21	70,65	166,89	61,11	Subida de blocos e massa para elevação do 2º pavimento; elevação de alv. do térreo; concretagem dos pilares do 8º pav.	5,5	Queixas Graves	4,0	Prováveis Reclamações
06/02/15	194,44	72,92	218,30	55,79	Elevação de alvenaria no 2º pav e da escada do 2º ao 3º pav; concretagem de laje, vigas e escadas do 8º pav; concretagem da marquise do 1º pavimento.	0,5	Possíveis Queixas	0,5	Possíveis Queixas
09/02/15	136,57	36,23	145,38	37,96	Elevação de alvenaria no 2º pav; elevação de alvenaria da escada do 3º ao 4º pav.	1,5	Censurável	2,5	Prováveis Reclamações
10/02/15	143,75	48,01	135,42	49,31	Elevação de alvenaria do 2º pav e da escada do 4º ao 5º pav; início de pontos de massa para teto no 1º pavimento.	0,5	Possíveis Queixas	1,0	Censurável
11/02/15	171,06	7,70	133,15	47,45	Elevação de alvenaria do 3º pav e da escada do 4º ao 5º pav; execução de pontos de massa para o teto do 1º pav; concretagem dos pilares do 9º pav.	4,0	Prováveis Reclamações	2,0	Prováveis Reclamações
12/02/15	145,37	47,10	135,42	44,68	Elevação de alvenaria do 3º pav; elevação de alvenaria da escada do 4º ao 5º pav; execução pontos de massa para o teto do 1ºpav.	4,5	Prováveis Reclamações	2,5	Prováveis Reclamações

* Domingo (Dia de obra parada) / Outliers (Valores atípicos)

Fonte: Própria

Análise Gravimétrica

A análise das amostras foi realizada através da construção do gráfico *Boxplot* para determinação da variabilidade, simetria e valores atípicos.

Foram obtidos os seguintes valores atípicos (*outliers*), 7,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 31,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 59,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 61,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sejam por ter ocorrido medição fora do normal em decorrência da influência de variáveis meteorológica ou por ter ocorrido influência das atividades desenvolvidas ou mesmo por erro na amostragem, conforme mostram as figuras 59 e 60.

No dia 23/01 ocorreu o *outlier* de 59,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração MP10 saída, valor este superior ao limite máximo. Neste dia foram desenvolvidas atividades de limpeza e nivelamento de laje, elevação de alvenaria nos primeiros pavimentos. Quanto às variáveis meteorológicas registradas neste dia, houve variação da direção predominante (NNE) para a direção NE, não foram registrados índices pluviométricos e a média diária da velocidade do vento foi de 1,7 m/s. Portanto, o valor máximo de *outlier* pode estar relacionado às atividades desenvolvidas neste dia que se concentraram nos primeiros pavimentos próximo dos pontos de coleta.

Figura 59 – Simetria e Variabilidade das amostras de PTS (Entrada e Saída)

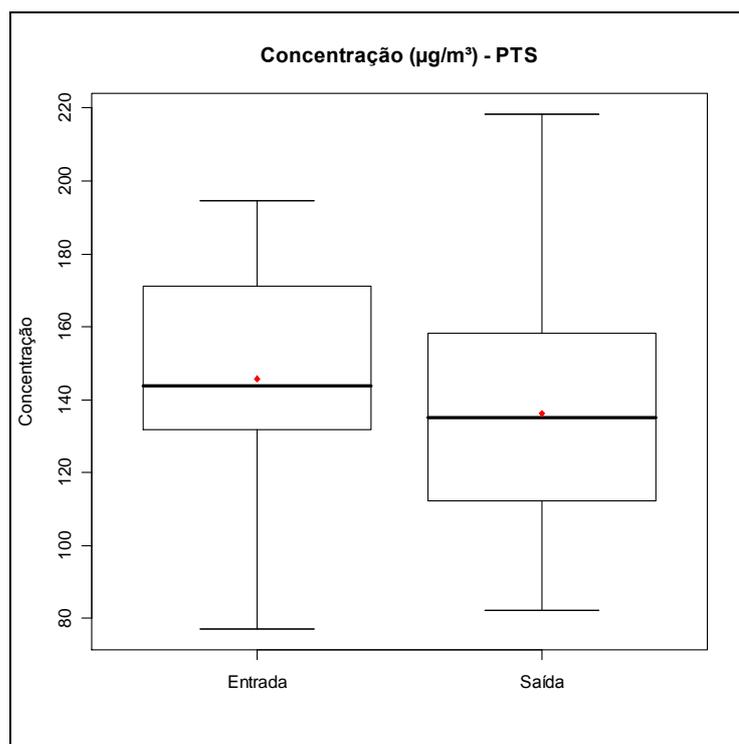
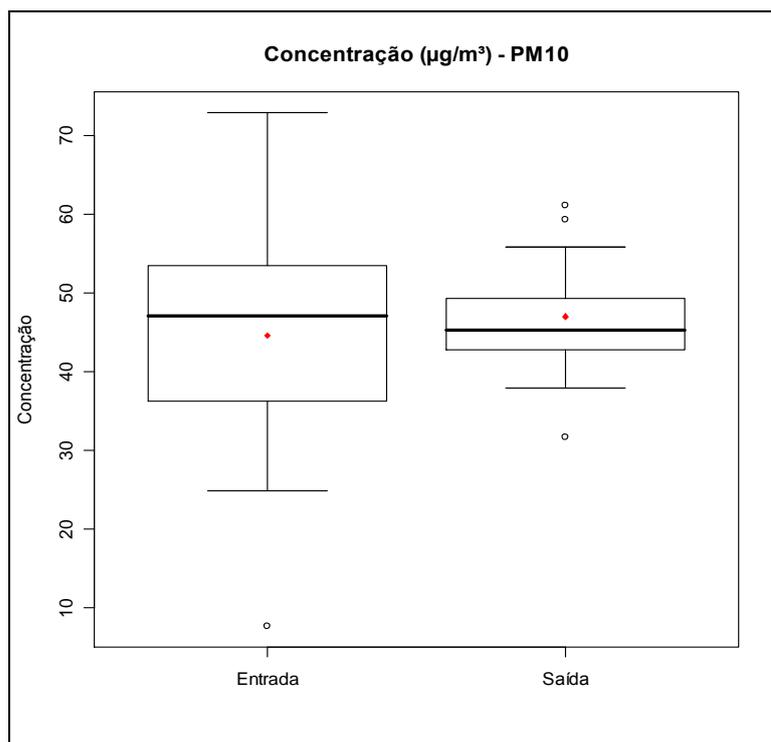


Figura 60 – Simetria e variabilidade das amostras de MP10 (Entrada e saída)



No dia 30/01/2015 foi obtido *outlier* de 31,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração MP10 saída, valor este inferior ao limite mínimo. Neste dia foram desenvolvidas atividades de elevação de alvenaria (térreo, 1º, 3º e 7º pavimento) e concretagem (pilar e vigas do 7º pavimento). Quanto às variáveis meteorológicas registradas neste dia a direção do vento foi a predominante (NNE), a velocidade média foi de 1,5 m/s e não houve chuvas neste dia. Neste caso não pode ser justificado o *outlier*, visto que as variáveis não interferiram no resultado, pode ter ocorrido erro de amostragem, ou a discrepância de valor se justifica pelo tamanho da amostra.

No dia 05/02 foi obtido *outlier* de 61,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração MP10 saída, valor este superior ao limite máximo da fração. Neste dia foram desenvolvidas as atividades de elevação de alvenaria do térreo e do 2º pavimento, além da concretagem do 8º pavimento. Quanto às variáveis meteorológicas neste dia, a direção do vento foi NE, não sendo a direção predominante estudada (NNE), não houve chuva e a velocidade média do vento foi de 1,3 m/s. Neste caso, embora tenha ocorrido uma pequena variação na direção do vento, houve concentração de atividades próximas ao ponto de coleta.

No dia 11/02/2015 foi obtido *outlier* de 7,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração MP10 entrada, valor este inferior ao limite mínimo. Neste dia foram desenvolvidas as atividades de elevação de

alvenaria do 3º pavimento e escada do 4º ao 5º pavimento, execução de pontos de massa no 1º pavimento, além da concretagem do 9º pavimento. Não ocorreram chuvas no período, a direção foi a predominante (NNE) e foi registrada uma das maiores médias diárias para a velocidade do vento (1,7 m/s). Este resultado possivelmente foi decorrente de erro na amostragem, visto não haver nenhuma variável que interferisse neste resultado.

Os valores máximos obtidos para o PTS entrada e saída ocorreram dia 06/02/2015 (194,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 218,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tendo como atividades principais elevação de alvenaria no 2º pavimento tipo; elevação de alvenaria da escada do 2º ao 3º pavimento; concretagem de laje, vigas e escadas do 8º pavimento; concretagem da marquise do 1º pavimento e as seguintes variáveis meteorológicas: temperatura de 29,9°C; velocidade do vento de 1,2 m/s; direção predominante Leste-nordeste (ENE) e não houve chuvas no período. Neste dia foram registradas leituras de possíveis queixas para os *sticky pads* tanto da entrada quanto da saída do canteiro.

Com relação ao valor mínimo registrado para a fração PTS entrada que ocorreu no dia 30/01 (77,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), sendo predominante a direção do vento (NNE), não foram registrados índices pluviométricos e a velocidade média do dia foi de 1,6 m/s. As atividades desenvolvidas foram elevação de alvenaria do térreo, 1º pavimento e da escada do 3º pavimento; concretagem da laje e vigas do 7º pavimento. Neste mesmo dia foram obtidos valores mínimos para as duas frações, tanto na entrada quanto na saída. Possivelmente este resultado está relacionado com as atividades desenvolvidas, visto não ter havido nenhuma intercorrência meteorológica. Para este dia foram registradas prováveis reclamações para a leitura dos *sticky pads* tanto na entrada quanto na saída do canteiro.

De forma geral foram obtidos os maiores valores de concentração na entrada do canteiro para fração PTS. Os dias em que ocorreram maior concentração para a fração PTS saída (26 e 30/01/2015 e 06 e 09/02/2015) ocorreram atividades de elevação de alvenaria e concretagem, destacando-se que a maior diferença entre os valores ocorreu no dia 06/02/2015, quando estava sendo realizada concretagem das marquises do 1º pavimento, embora neste dia o vento predominante (ENE) não tenha sido o adotado para posicionamento dos aparelhos (NNE). No dia 30/01/2015 também ocorreu concretagem, porém no 7º pavimento, não sendo notada influência no resultado. Desta forma, percebe-se que os maiores valores de concentração foram obtidos quando as atividades foram realizadas nos primeiros pavimentos.

O mínimo obtido para a fração MP10 entrada foi de 24,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu no dia 29/01/2015 tendo como variáveis meteorológicas a direção predominante (NNE), velocidade

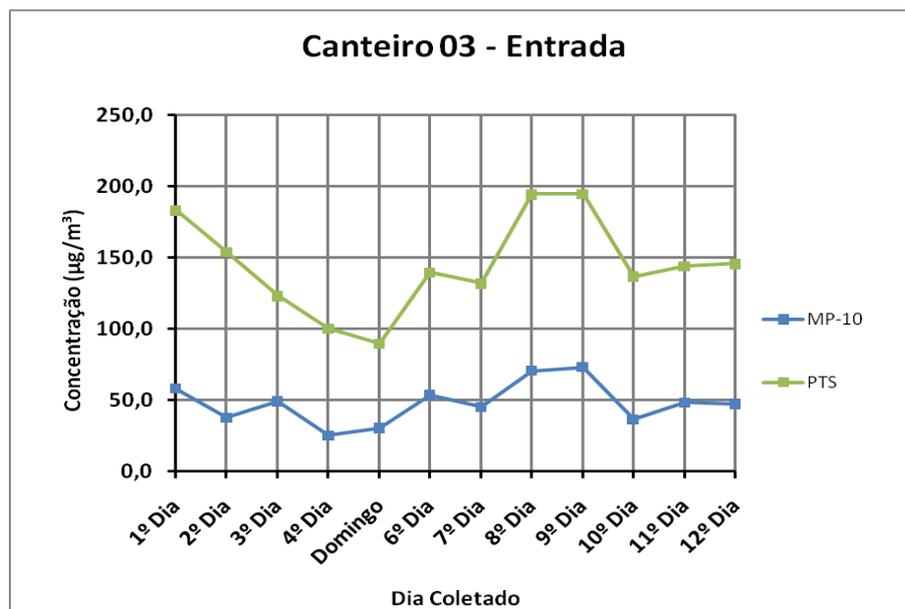
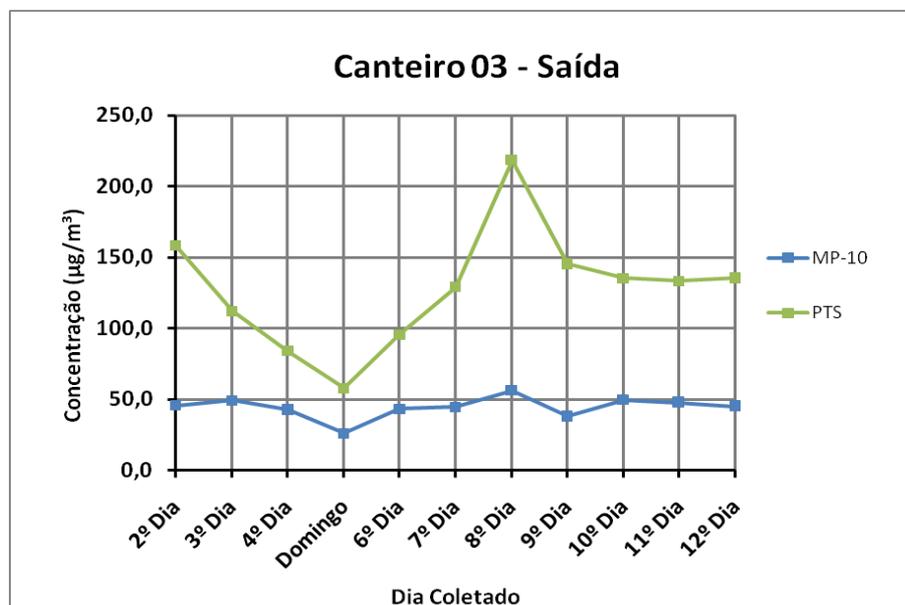
de 1,4 m/s, e não foi registrada chuva no período. A atividade desenvolvida neste dia foi a elevação de alvenaria no 1º pavimento. A leitura do *sticky pad* na entrada para este dia foi censurável (%EAC de 0,7). Sendo favoráveis as condições meteorológicas neste dia, a única possibilidade que relaciona os valores baixos é o volume de atividades, que neste dia não foi observado.

Desconsiderando os *outliers*, os valores máximos obtidos para a fração MP10 entrada e saída foram respectivamente de 72,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 55,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que também ocorreram no dia 06/02/2015 nas mesmas condições anteriores. Houve maior variação nos valores da concentração do MP10, que por vezes foram obtidos maiores na entrada e por vezes na saída, não sendo possível associar este resultado com nenhuma atividade específica, apenas à proximidade onde estavam sendo coletadas as amostras. Destaque pode ser dado ao dia 06/02/2015 quando foi obtida maior diferença entre os valores e a realização de concretagem das marquises do 1º pavimento.

Dos 10 dias considerados na análise a direção do vento variou entre NNE (Norte-Nordeste) e ENE (Leste-Nordeste), em apenas dois dias (06/02 e 12/02/2015) não predominou a direção Norte-nordeste (NNE) adotada como predominante. A velocidade do vento teve mínima de 1,2 m/s e máxima de 2,0 m/s. Observou-se que no dia de máxima (06/02/2015) a direção predominante foi ENE, com variação entre NE e NNE, sendo obtidas altas velocidades durante o período de coleta (1,8 m/s).

No Domingo, dia 01/02/2015, foram obtidos baixos valores de concentração para as duas frações na entrada do canteiro e valores mínimos para as duas frações na saída do canteiro. A direção do vento neste dia foi Norte-Nordeste (NNE), direção predominante e velocidade máxima de até 2,7 m/s no dia. Os *sticky pads* registraram leitura censurável tanto na entrada quanto na saída do canteiro. Nota-se que realmente os resultados condizem com a situação e a contribuição obtida para este dia possivelmente foi oriunda de fonte externa.

A Figura 61 apresenta o gráfico de evolução da fração PTS e MP10 na entrada do canteiro e a Figura 62 apresenta o gráfico de evolução da fração PTS e MP10 na saída do canteiro. Estes gráficos apresentam o perfil das concentrações das duas frações de MP. Na entrada do canteiro foi observada maior homogeneidade na fração PTS, enquanto que na saída há homogeneidade da fração MP10. Percebe-se também que as duas frações apresentam grande variação. A fração MP10 é mais uniforme na saída, já a PTS é mais uniforme na entrada (os valores de média e mediana são próximos).

Figura 61 – Perfil do Material Particulado PTS e MP10 Entrada**Figura 62** – Perfil do Material Particulado PTS e MP10 Saída

Para avaliar a associação entre as variáveis meteorológicas e os valores das concentrações foi realizada a análise de correlação, tendo sido identificada correlação significativa para a variável direção do vento e alguma relação para velocidade do vento. A fração PTS apresentou correlação mais significativa que a fração MP10 na relação da concentração com velocidade e mais expressiva na saída do canteiro.

As Figuras 63 e 64 apresentam a correlação. Analisando os gráficos percebe-se que quanto maior a velocidade menor a concentração. Esta correlação é mais forte na saída do canteiro, visto que a fração PTS permanece menos tempo em suspensão. O Apêndice I

apresenta as associações dos demais fatores meteorológicos que não apresentaram correlação significativa.

Figura 63 – Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade do vento PTS (Entrada)

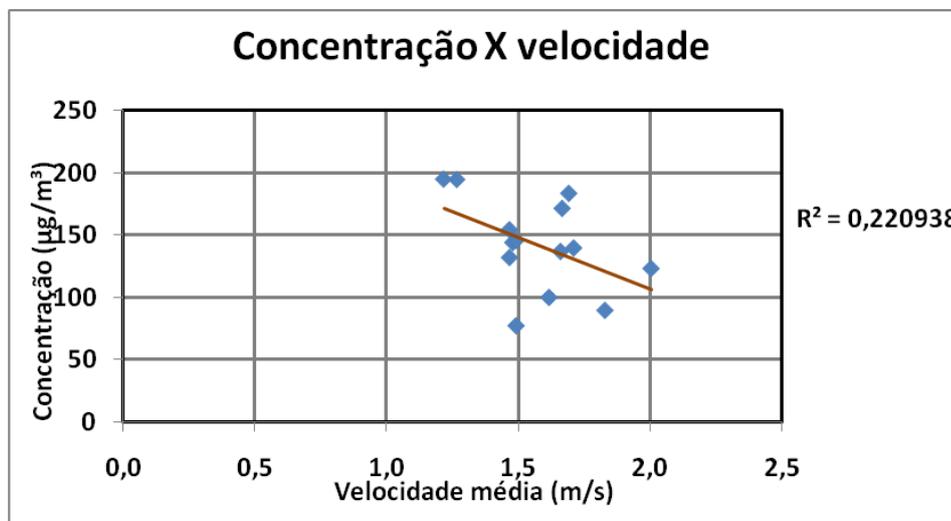
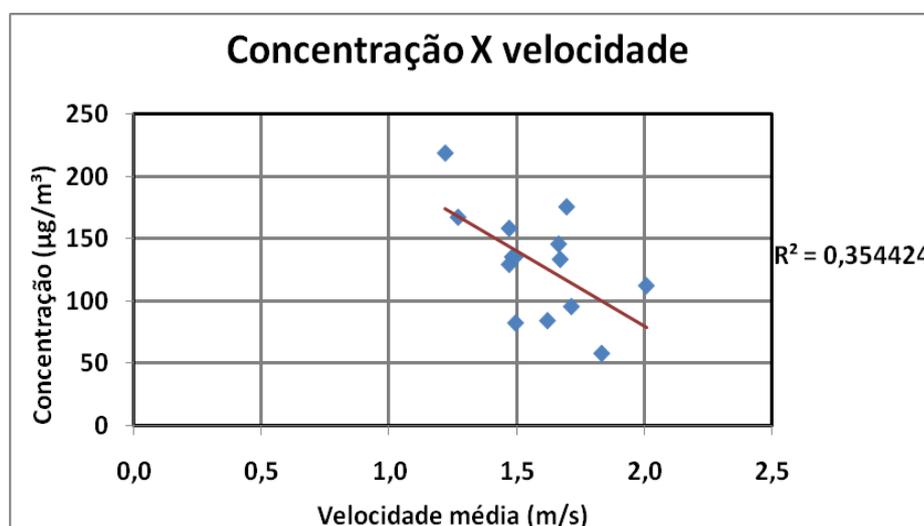


Figura 64 – Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade do vento PTS (Saída)



Taxa de Sedimentação

A Tabela 17 anteriormente mostra os resultados obtidos nas leituras dos *sticky pads*, indicando incômodos nos quatorze dias coletados.

Nos dias 04, 05, 11 e 12/02/2015 foram obtidos altos percentuais na entrada do canteiro, coincidentemente com os resultados das concentrações obtidas utilizando os *MiniVols*. Nos dias 26 e 29/01/2015, 09 e 10/02/2015, os maiores percentuais foram obtidos na saída do canteiro coincidindo com os resultados de concentração obtidos pelas duas frações ou com a fração MP10. Nestes dias a direção predominante foi a adotada para instalação dos equipamentos (NNE), com velocidades médias de 1,5 m/s. As exceções foram os dias 05 e

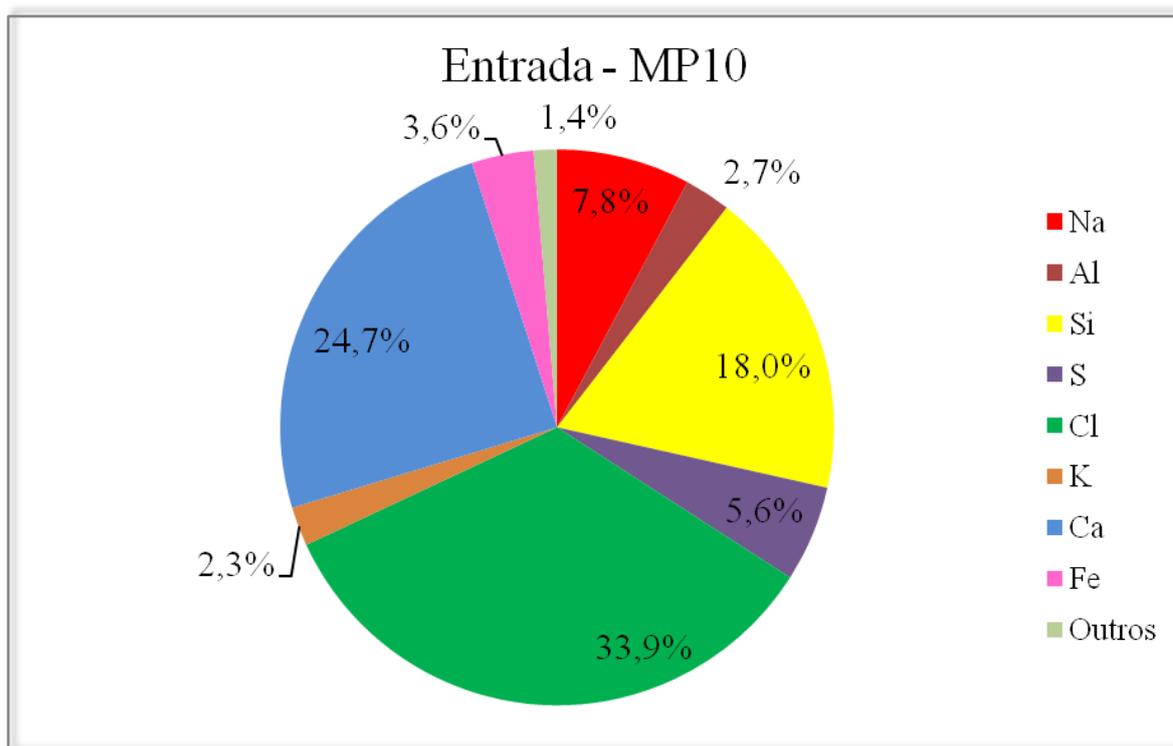
12/02/2015 que sofreram variação de 22°30' na sua direção, com velocidades acima da média no período das 11:00 às 15:00h.

No dia 06/02/2015 foram obtidos os menores percentuais, tanto na entrada, quanto na saída do canteiro. Entretanto não pode ser verificada uma relação significativa entre as leituras obtidas para os *sticky pads* e a relação com valores máximos e mínimos de concentração para as duas frações PTS e MP10, pois por vezes para valores máximos são obtidas leituras com menor gravidade e para concentrações mínimas são obtidas leituras com maior gravidade. Exemplo desta situação é verificada comparando-se as leituras obtidas no dia 05 e 06/02/2015 (máximas) leituras idênticas (194,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 194,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na entrada do canteiro sob condições meteorológicas iguais, mas com leituras distintas (queixas graves e possíveis queixas). A única diferença observada neste dia é o volume de atividades, no qual o dia 05/02/2015 parece ser mais intenso.

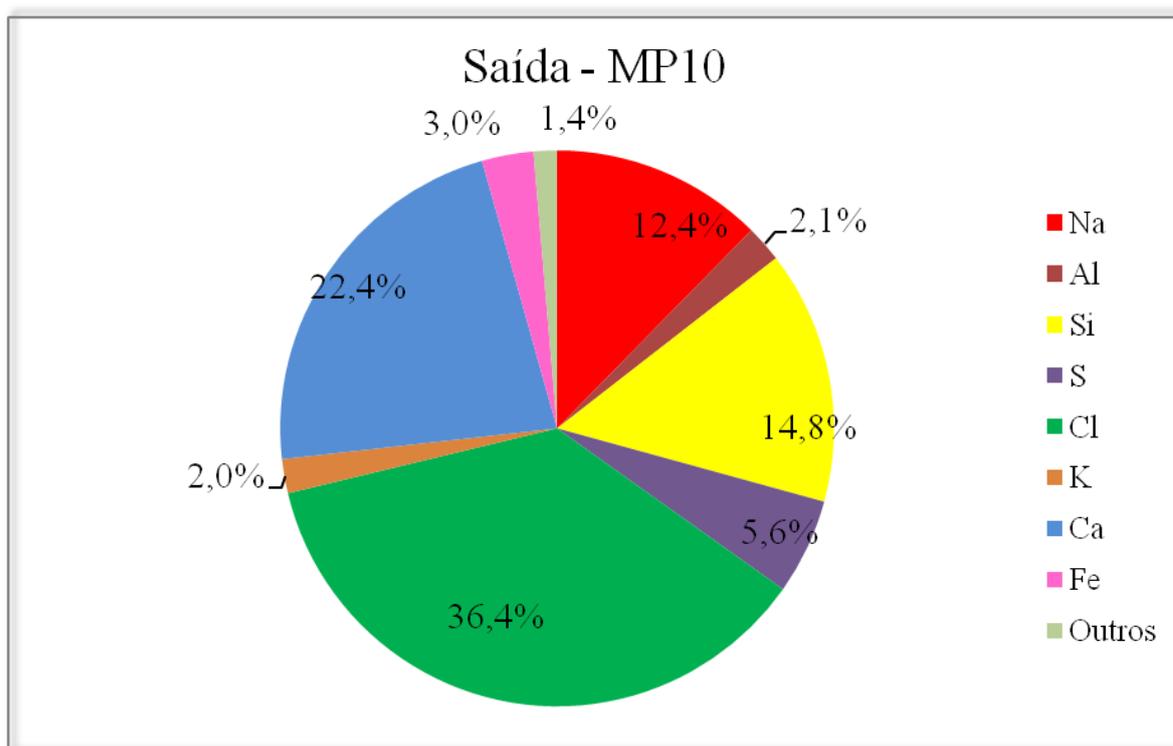
Caracterização Química

Os principais óxidos dos elementos químicos presentes nas amostras foram Cl, Ca, Si, Na, S, Fe, Al, K, além de outros, tais como Mg, P, S, Ti, V, Cr, Mn, Pb, Br, Si, Zn e Cr. As Figuras 65 e 66 ilustram de forma clara a composição do material particulado presente nas amostras do canteiro 3.

Os óxidos dos elementos que apresentaram concentração significativa na entrada do canteiro foram Ca, Si, destacando que estes percentuais foram maiores na entrada e menores na saída. Este resultado é semelhante ao da análise física, em que foram obtidas concentrações maiores na entrada que na saída. Este fato pode ter ocorrido devido a contribuições externas, visto que na localidade deste canteiro existiam outras construções. Também foram significativas as concentrações dos óxidos do Cl e do Na, na entrada do canteiro proveniente de brisas marinhas, visto que este canteiro também estava localizado próximo ao litoral. Para estes elementos foram obtidos os maiores percentuais na saída, comprovando a continuidade da contribuição.

Figura 65 – Composição Química do MP10 (Entrada do canteiro)

Fonte: Própria

Figura 66 – Composição Química do MP10 (Saída do canteiro)

Fonte: Própria

No dia em que foram registradas as maiores concentrações para a fração MP10, dia 06/02/2015, na entrada do canteiro, foram obtidas também altas concentrações para os elementos Si, S e Ca na entrada do canteiro, e na saída para os óxidos dos elementos Na, Al, S e Fe. Para o elemento Ca, embora tenha sido obtido um dos maiores valores, não foi máximo. Para o **Ca** as maiores concentrações registrados foram nos dias 04 e 05/02/15, tanto na entrada quanto na saída, quando foram desenvolvidas atividades de elevação de alvenaria no térreo, 2º e 3º pavimento, além da concretagem do 8º pavimento. Analisando este fato, pode-se dizer que para o **Ca** nestes dois dias pode ter havido contribuição externa, pelo fato da atividade de concretagem que deveria influenciar mais que as demais, está sendo realizada no 8º pavimento, muito distante dos aparelhos. Já no dia 06/02/15, quando ocorreram altas concentrações para os demais elementos, embora o vento não tenha sido predominante na maioria do dia, as atividades de concretagem foram desenvolvidas muito próximas dos aparelhos. As leituras dos *sticky pads* também registraram queixas graves para os dias 04 e 05/02/15.

No dia 01/02/15, o domingo, os valores de concentração dos elementos na entrada do canteiro, não foram os mínimos alcançados. Para este dia foi observada a presença dos seguintes óxidos nas amostras: Cl, Ca, Si, Na e S, por ordem de contribuição. Os elementos Na e Cl obtiveram altas concentrações na entrada do canteiro e menores na saída, ao passo que os elementos provenientes da construção Ca, Si e S obtiveram valores maiores na entrada e menores na saída do canteiro, isto prova que na entrada do canteiro há contribuição externa de outras obras e que no dia do domingo a contribuição deste canteiro foi mínima. Neste dia, a direção foi predominante (NNE) com velocidade de 1,8 m/s. As leituras dos *sticky pads* foram censuráveis, tanto na entrada quanto saída, mais uma vez fica comprovada a contribuição externa.

4.3.3 Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 3

Após a análise dos resultados foi observado que o perfil do material particulado gerado pelo Canteiro 3 é constituído em sua maioria de partículas da fração grossa (PTS), pois durante todos os dias amostrados o percentual da fração MP10 foi em torno de 25% a 45% da fração PTS. As duas frações de MP apresentaram grande variação, isto pode ser comprovado com a diferença entre os valores de concentração obtidos na entrada e os valores obtidos na saída do canteiro. Para a fração PTS, estes valores apresentam diferenças máximas em torno de 40% e a fração MP10 em torno de 46%.

Neste canteiro foi verificada a influência das variáveis meteorológicas, direção predominante e velocidade do vento na variação da concentração, considerando a relação entre os dois pontos, entrada e saída do canteiro, bem como da proximidade das atividades e dos pontos de coleta. Outro fato importante observado é a pequena diferença entre os valores de concentração na entrada e saída do canteiro para as duas frações. As diferenças da fração PTS variam de 4,12 μm (26/01/2015) a 44,01 μm (03/01/2015). Para fração MP10 a diferença mínima foi de 0,07 μm (27/01/2015) e a máxima de 17,68 μm (29/01/2015). As semelhanças observadas para as duas frações nos dias de diferença mínima é que em ambos os dias coincidem a realização das atividades (elevação de alvenaria e tratamento de poço) e nos dias de diferença máximas (elevação de alvenaria). Nesses quatro dias distintos a direção do vento foi predominante (NNE) com velocidades médias variando de 1,5 m/s a 2,0 m/s.

Como a direção foi predominante na maioria dos dias amostrados e tendo-se observado que a diferença do valor da concentração entre os pontos de entrada e saída para as duas frações não apresentou acumulado significativo em cerca de 50 a 60% dos dias amostrados, pode-se concluir que o posicionamento do par de amostradores da parte lateral do canteiro influenciou na coleta, pois o material particulado proveniente deste canteiro foi parcialmente coletado por este ponto, embora os aparelhos estivessem posicionados na direção predominante (NNE).

Os resultados obtidos com a análise química também comprovaram que houve contribuição externa para o canteiro. De maneira geral, as maiores concentrações foram obtidas na frente do canteiro, e este fato está relacionado provavelmente ao posicionamento do segundo par de aparelhos que cobriu parcialmente a construção.

4.4 CANTEIRO DE OBRAS 4

O Canteiro 4 está localizado em área urbana residencial e comercial na cidade de Salvador-Bahia, com terreno apresentando topografia formada por encostas convexo-côncavas com solos espessos e argilosos, porosos e permeáveis. Na Figura 67 pode ser vista a foto aérea com a posição exata do terreno da obra estudada, bem como podem ser observados o Ponto 1 de instalação da estação meteorológica e os pontos de instalação dos equipamentos dentro do canteiro.

Figura 67 – Foto Aérea da localização do canteiro 4



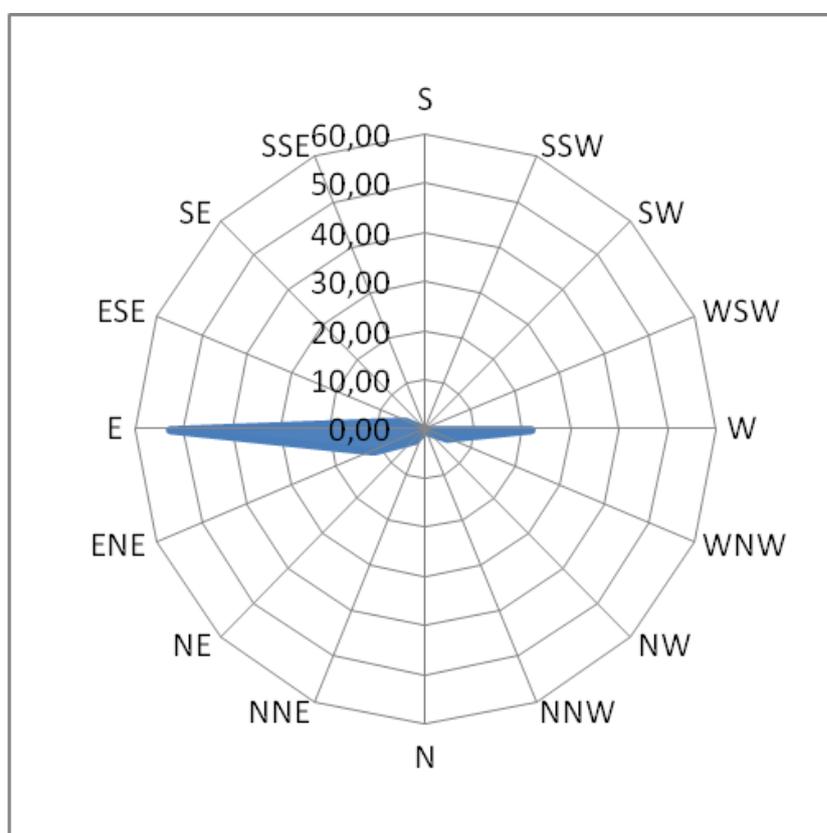
4.4.1 Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras 4

No ponto 1, a estação meteorológica ficou instalada entre os dias 26/02/2015 a 05/03/2015. Neste período foram registrados índices pluviométricos em quatro dos oito dias analisados. Esta medição apresentou médias diárias de umidade correspondente a 72%, 759,4 mmHg para pressão atmosférica, 29,9 °C para temperatura e velocidade do vento de 0,75 m/s, a Tabela 18 apresenta os dados meteorológicos do período 1. A direção predominante no ponto estudado (Figura 68) foi o Leste (53,13%) com variação para a direção Oeste (21,88%). A Figura 69 ilustra o ponto 1 onde a estação meteorológica ficou instalada durante o período 1 para determinação da direção predominante e instalação dos equipamentos.

Tabela 17 – Variáveis Meteorológicas do período 1

Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média (C°)	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
26/02/2015	4,07	82	759,8	27,3	0,43	ENE - Leste-Nordeste
27/02/2015	0,00	71	758,4	30,3	0,80	E - Leste
28/02/2015	0,00	72	758,3	30,8	0,83	E - Leste
01/03/2015	3,30	75	759,6	29,9	0,78	E - Leste
02/03/2015	0,00	68	760,0	31,2	0,74	E - Leste
03/03/2015	2,80	72	759,5	30,0	0,68	W - Oeste
04/03/2015	0,25	68	760,2	29,2	0,85	E - Leste
05/03/2015	0,00	70	759,6	30,6	0,88	E - Leste

Fonte: Própria

Figura 68 – Direção do vento predominante

Fonte: Própria

Figura 69 – Ponto 1 (Ponto de instalação da Estação Meteorológica)



4.4.2 Medição e análise da concentração do material particulado no Canteiro de Obras 4

A medição da concentração do material particulado ocorreu entre os dias 26/03 à 16/04/2015. A Figura 70 ilustra a fase de obra bruta quando foram realizadas as medições do material particulado e as Figuras 71 e 72 ilustram a localização dos amostradores *MiniVols* para coleta de MP nas duas frações, PTS e PM10 e dos os adesivos *Sticky Pads*.

Figura 70 – Fase de obra bruta Canteiro 4



Fonte: Própria

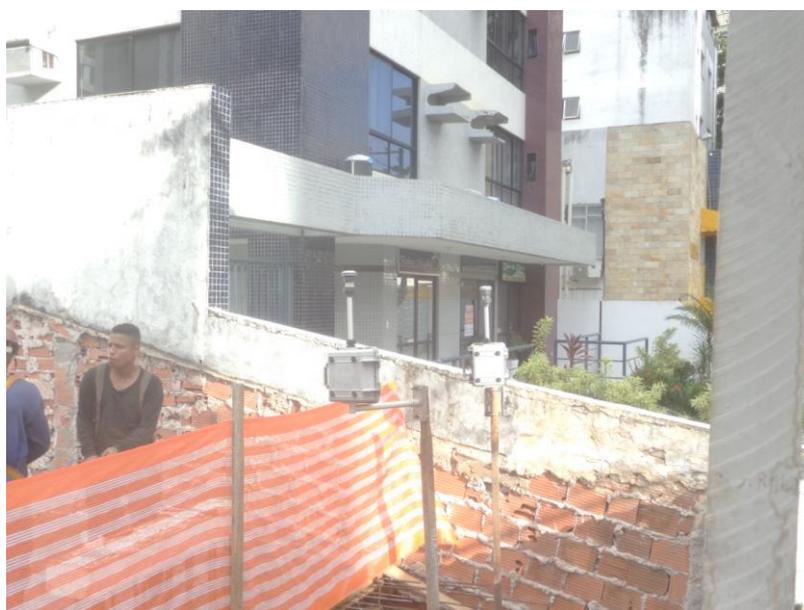
Os pares de amostradores foram colocados nos suportes e fixados em barrotes e ficaram distantes cerca de 20,03 metros. Os adesivos também foram colocados próximos aos amostradores, também fixados nos mesmos barrotes, sendo coletadas quatro amostras diárias, para cada sistema de coleta, *MiniVols e Sticky Pads*. Esta construção ocupou cerca de 95% do terreno, por este motivo os aparelhos foram posicionados bem próximos da construção.

Figura 71 – Coleta de material particulado (Entrada do canteiro)



Fonte: Própria

Figura 72 – Coleta do material particulado (Saída do canteiro)



Fonte: Própria

A Tabela 18 apresenta as variáveis meteorológicas registradas no período de coleta. Neste período ocorreu algum problema técnico com a estação meteorológica e os dados deste

período não foram registrados. Para tanto utilizamos os dados fornecidos pela estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada em Ondina, Salvador-Ba. Os dados obtidos nesta estação foram de pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento. Foram registrados índices pluviométricos em 8 dias, sendo registrado altos índices nos dias 8 e 12/04/2015. As médias diárias registradas para este período foram umidade de 76%; pressão atmosférica de 756,5 mmHg; temperatura de 27,3 °C e velocidade de 1,53 m/s. Neste período ocorreu grande variação na direção do vento entre as direções S (12,5%), SSW (10,42%), NNE (13,54%), NE (10,42%), SE (10,42%) e SSE (15,63) como predominante.

Tabela 18 – Variáveis Meteorológicas do período de coleta

Dia	Data	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média °C	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
1º Dia	26/03/15	1,10	84	756,2	26,5	1,40	SSW - Sul-Sudoeste
2º Dia	27/03/15	0,10	77	757,6	28,2	1,29	N – Norte
3º Dia	30/03/15	0,00	70	756,5	28,7	1,24	SSE - Sul-Sudeste
4º Dia	31/03/15	0,00	62	756,6	29,2	1,54	NE – Nordeste
5º Dia	01/04/15	0,00	57	756,3	28,9	1,29	SE – Sudeste
6º Dia	07/04/15	0,00	69	753,1	29,7	1,30	N – Norte
7º Dia	08/04/15	7,20	89	756,5	24,7	2,6	S – Sul
9º Dia	10/04/15	0,80	84	756,9	26,4	1,94	SSE - Sul-Sudoeste
Domingo	12/04/15	2,10	83	756,8	25,9	1,86	SSW - Sul-Sudoeste
11º Dia	14/04/15	0,60	77	757,5	27,1	1,69	SE – Sudeste
12º Dia	15/04/15	0,20	82	757,1	25,6	1,25	NE – Nordeste
13º Dia	16/04/15	0,10	80	756,5	26,6	1,01	NNE - Norte-Nordeste

* **Domingo** (Dia de obra parada)

Fonte: INMET

A Tabela 19 apresenta os valores das concentrações diárias obtidas para as duas frações de MP, as atividades diárias desenvolvidas durante o período de coleta e as leituras diárias obtidas para os *sticky pads*.

Tabela 19 – Resultados das amostras no período de coleta do canteiro de obras 4. EAC, *effective area coverage*.

DIAS	CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ATIVIDADES	RESULTADOS STICKY PADS			
	Entrada		Saída			Entrada		Saída	
	PTS	PM10	PTS	PM10		%EAC/dia	Resposta	%EAC/dia	Resposta
26/03/15	86,73	32,68	136,82	36,41	Forma, montagem de armaduras 2° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco 1° Pavimento.	0,7	Censurável	0,5	Possíveis Queixas
27/03/15	91,63	41,30	141,21	49,23	Forma, montagem de armaduras 2° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco no 1° Pavimento.	2,0	Prováveis Reclamações	0	-
30/03/15	159,10	60,61	321,16	72,94	Concretagem a tarde 2° Pavimento.	3,5	Prováveis Reclamações	4,0	Prováveis Reclamações
31/03/15	96,64	40,86	218,11	59,00	Forma, montagem de armaduras 3° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco 1° Pavimento.	5,5	Queixas Graves	3,0	Prováveis Reclamações
01/04/15	102,12	50,51	213,22	80,69	Forma, montagem de armaduras 3° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco no 2° Pavimento.	3,0	Prováveis Reclamações	1,0	Censurável
07/04/15	140,41	53,66	275,85	92,09	Forma, montagem de armaduras 3° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco 2° Pavimento.	3,0	Prováveis Reclamações	2,5	Prováveis Reclamações
08/04/15	85,70	39,03	119,55	45,13	Concretagem a tarde do 3° Pavimento.	29,5	Queixas Graves	1,5	Censurável
10/04/15	133,11	53,79	161,74	53,44	Concretagem o dia todo do 3° Pavimento.	14,0	Queixas Graves	0,0	-
12/04/15	4,56	35,86	129,26	42,87	Sem atividades	0,5	Possíveis Queixas	1,5	Censurável
14/04/15	148,41	45,39	175,91	53,93	Forma, montagem de armaduras do 4° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco do 2° Pavimento.	0,5	Possíveis Queixas	2,5	Prováveis Reclamações
15/04/15	48,32	82,97	128,78	45,59	Forma, montagem de armaduras 3° Pavimento, elevação de alvenaria de bloco 2° Pavimento.	1,5	Censurável	0,5	Possíveis Queixas
16/04/15	95,73	11,27	152,51	64,28	Concretagem a tarde do 4° Pavimento.	3,0	Prováveis Reclamações	2,5	Prováveis Reclamações

* Domingo (Dia de obra parada) / Outliers (Valores atípicos)

Fonte: Própria

Análise Gravimétrica

Após as amostras terem sido submetidas a testes estatísticos, foram obtidos para a fração PTS entrada o seguinte valor considerado atípico (*outlier*), $4,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para a fração MP10 foram obtidos os valores de $82,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $11,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seja por ter ocorrido uma medição fora do normal devido à influência de variáveis meteorológicas ou por ter ocorrido erros na amostragem, conforme mostram as Figuras 73 e 74.

No dia 12/04/2015 quando ocorreu o *outlier* de $4,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferior ao limite mínimo, foi registrado índice pluviométrico de 2,10 mm, velocidade média de 1,86 m/s e direção SSW, com grande variação da direção predominante (E). Neste dia ocorreram as atividades normais da obra (Forma, montagem de armaduras, elevação de alvenaria de bloco). Analisando estes dados nota-se que a única variável que parece ter influenciado neste resultado foi a direção do vento ou realmente houve erro na amostragem.

No dia 15/04/2015 ocorreu o *outlier* de $82,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superior ao limite máximo. Neste dia foram registradas as atividades de forma, montagem de armaduras, elevação de alvenaria de bloco e as variáveis meteorológicas, índice pluviométrico de 0,20 mm, velocidade média de 1,02 m/s e direção NE, com variação em relação a predominante (E). Nada se pode afirmar com relação ao resultado apresentado, visto que as variáveis que poderiam ter influenciado neste resultado seria a direção e velocidade do vento ou atividade diferenciada que favorecesse à emissão de MP. Como não foi percebida quaisquer das situações, conclui-se que também houve erro na amostragem.

Para o dia 16/04/2015 ocorreu o *outlier* de $11,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, abaixo do limite inferior, sendo registrada como atividade a concretagem no período da tarde e as atividades normais no período da manhã. Foram registrados índice pluviométrico de 0,10 mm, velocidade média de 1,01 m/s e direção NNE, com variação em relação a predominante (E). A única variável que pode ter favorecido a obtenção de valor mínimo de concentração foi a direção predominante, ou talvez possa ter ocorrido erro de amostragem.

Figura 73 – Simetria e variabilidade das amostras de PTS (Entrada do canteiro)

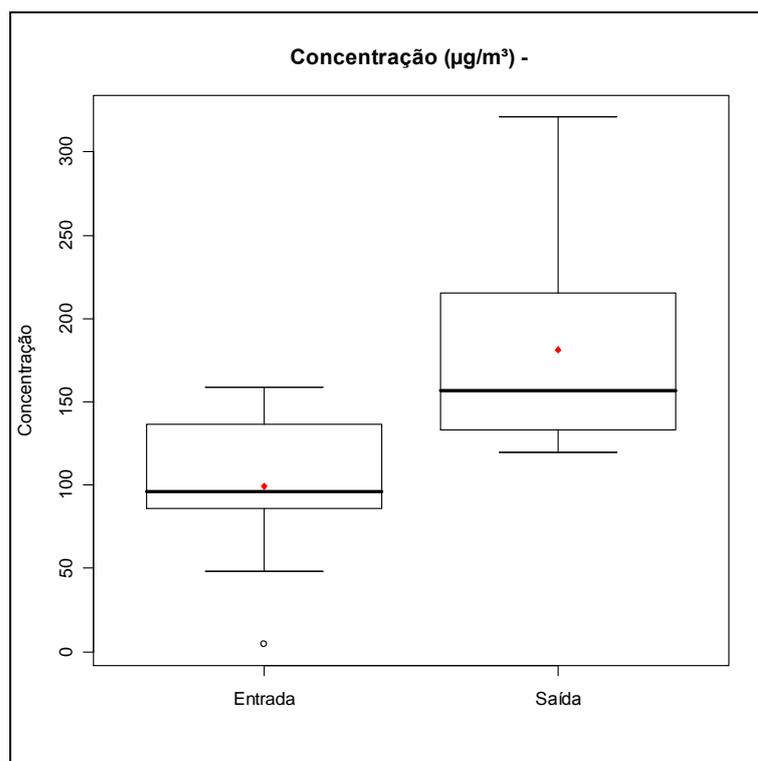
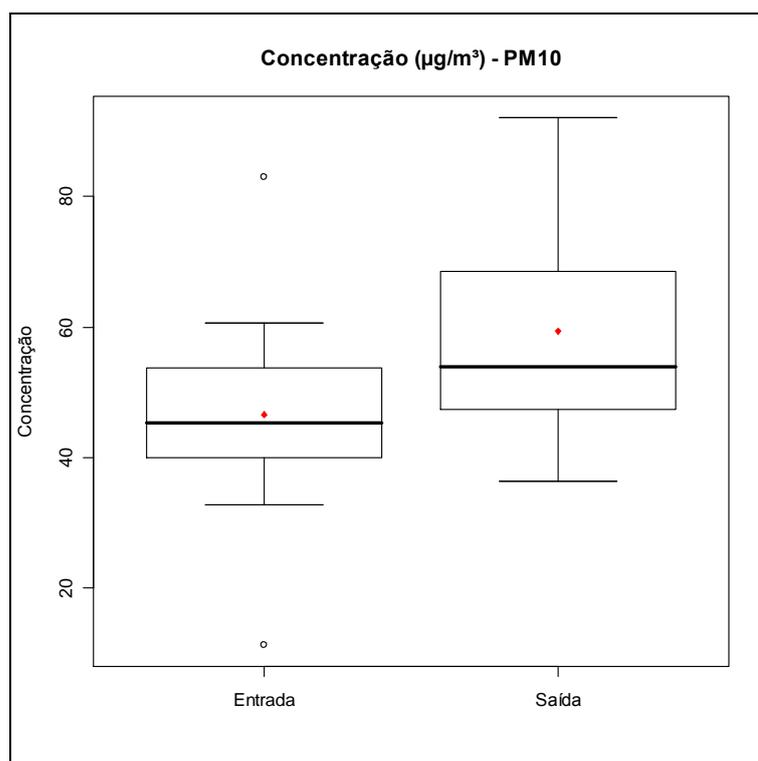


Figura 74 – Simetria e variabilidade das amostras de MP10 – (Entrada e saída do canteiro)



Desconsiderando os *outliers*, o maior valor obtido para a fração PTS (entrada e saída do canteiro) e para a fração MP10 (entrada e saída do canteiro) ocorreu no dia 30/03/2015, tendo como atividade principal a concretagem no período da tarde e variáveis meteorológica direção

do vento SSE, com variação da predominante (E), velocidade média de 1,24 m/s e não foram registrados índice pluviométrico neste dia.

Os dias 08 e 12/04/2015 foram os dias em que foram registrados os menores valores de concentração tanto na entrada quanto na saída do canteiro. No dia 08/04 foram obtidas para a fração PTS entrada 85,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; MP10 entrada 39,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PTS saída 119,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; MP10 saída 45,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste dia foram registrados 7,20 mm de pluviosidade, velocidade do vento de 2,6 m/s e direção do vento S, com variação em relação à direção predominante (E). Neste dia foi realizada a concretagem no período da tarde. Este resultado condiz com a situação, neste dia as mais baixas concentrações podem ser justificadas pela ausência da direção predominante e pelo alto índice pluviométrico registrado.

No dia 12/04/2015, o Domingo, foram obtidas as concentrações PTS entrada de 4,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; MP10 entrada 35,86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PTS saída 129,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP10 saída 42,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para este dia foi registrado índice pluviométrico de 2,10 mm; velocidade de 1,86 m/s e como direção do vento SSW, com variação da direção predominante (E). Neste dia não foram realizadas atividades relacionadas ao canteiro. Este resultado também condiz com a situação, visto a ausência de atividades, o índice pluviométrico e a direção que não foi predominante favoreceram a redução do nível de emissão de MP.

De forma geral neste canteiro percebe uma relação entre as frações de material particulado na entrada e saída do canteiro, mesmo com a variação da direção predominante, foram obtidas em todos os dias amostrados, com exceção dos dias em que foram obtidos os *outliers*, valores de concentração menores na entrada e valores de concentração maiores na saída. Pode ser percebida a influência da pluviosidade. Assim como nos canteiros anteriores a maior contribuição é da fração PTS. A fração PTS sofre maior variação, o que pode ser percebido pela diferença entre os valores de entrada e saída, já a fração MP10 é mais uniforme, apresenta valores próximos na entrada e na saída.

A Figura 75 apresenta o gráfico de evolução das frações PTS e MP10 na entrada e saída do canteiro e a Figura 76 apresenta o gráfico de evolução das frações PTS e MP10 na saída do canteiro. Estes dois gráficos apresentam o perfil das concentrações das duas frações de MP.

Figura 75 – Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Entrada do canteiro)

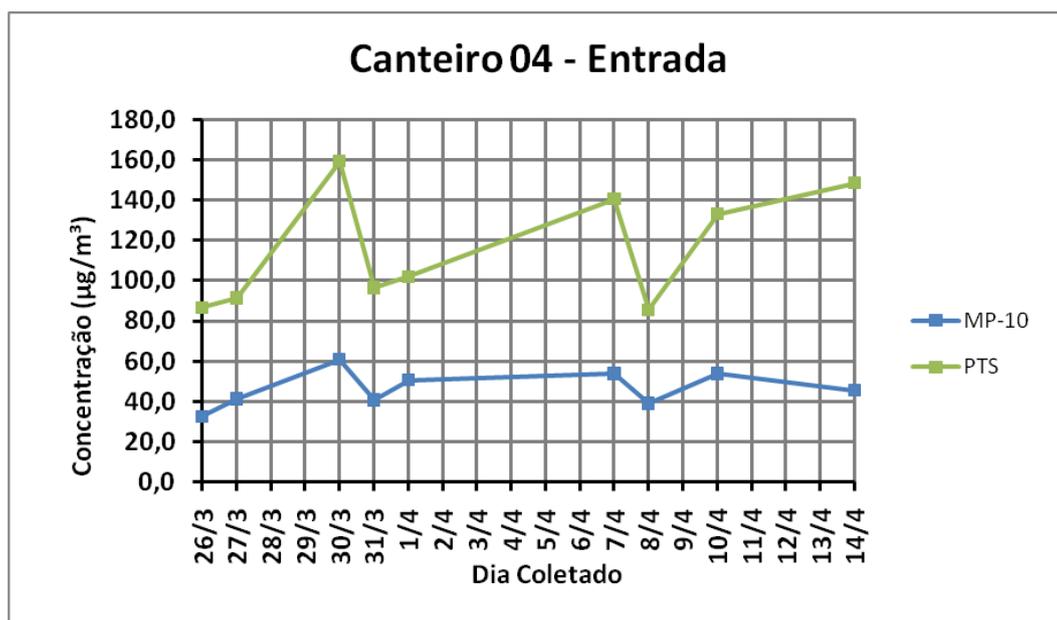
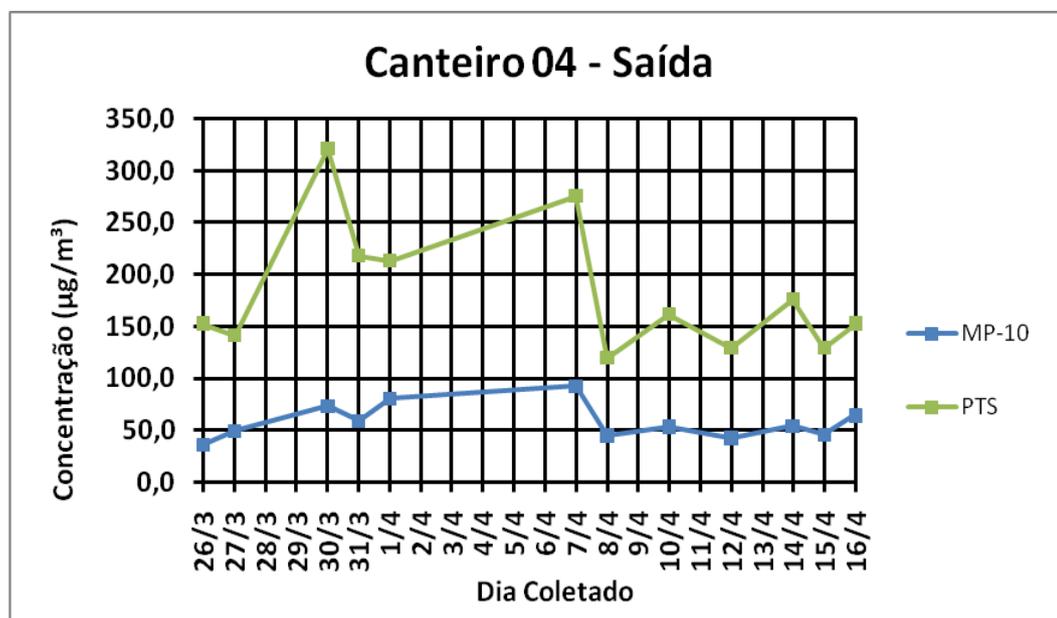


Figura 76 – Perfil do Material Particulado PTS e MP10 (Saída do canteiro)



Analisando os gráficos nota-se que a fração MP10 é mais homogênea e uniforme que a fração PTS, tanto na entrada quanto na saída do canteiro. As duas frações de MP apresentam maior variação na saída do canteiro. Neste canteiro, assim como nos canteiros apresentados nos estudos anteriores, também não pode ser identificada uma relação entre uma atividade específica e a maior geração de material particulado, a exemplo do dia 10/04/2015 onde foi desenvolvida, dentre outras, a atividade de concretagem o dia todo, onde não foram obtidos os maiores valores de concentração, nem na entrada nem na saída do canteiro, as variáveis

meteorológicas deste dia foram direção SSE, não predominante, velocidade média de 1,94 m/s. O índice pluviométrico registrado para este dia foi de 0,80 mm.

Para avaliar a associação entre as variáveis meteorológicas e os valores de concentração foi realizada a análise de correlação, tendo sido identificada uma pequena correlação entre as frações de MP e a pluviosidade. Esta correlação foi mais significativa na saída do canteiro, para as duas frações, conforme pode ser visto nas Figuras 77 e 78 seguintes. Os demais gráficos de correlação versus variáveis meteorológicas que não apresentaram correlação significativa podem ser vistos no Apêndice M.

Figura 77 – Correlação da Concentração x Precipitação PTS (Saída do canteiro)

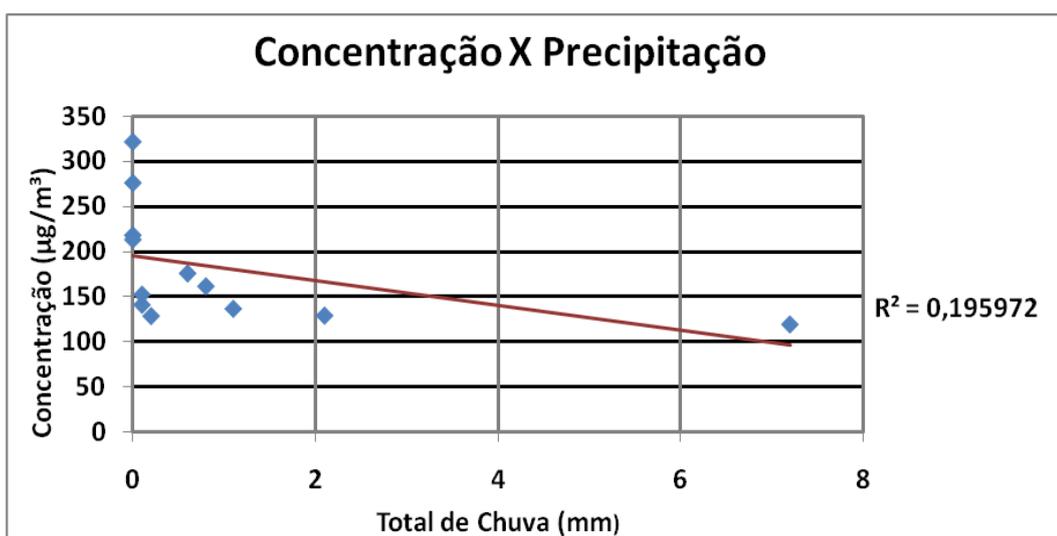
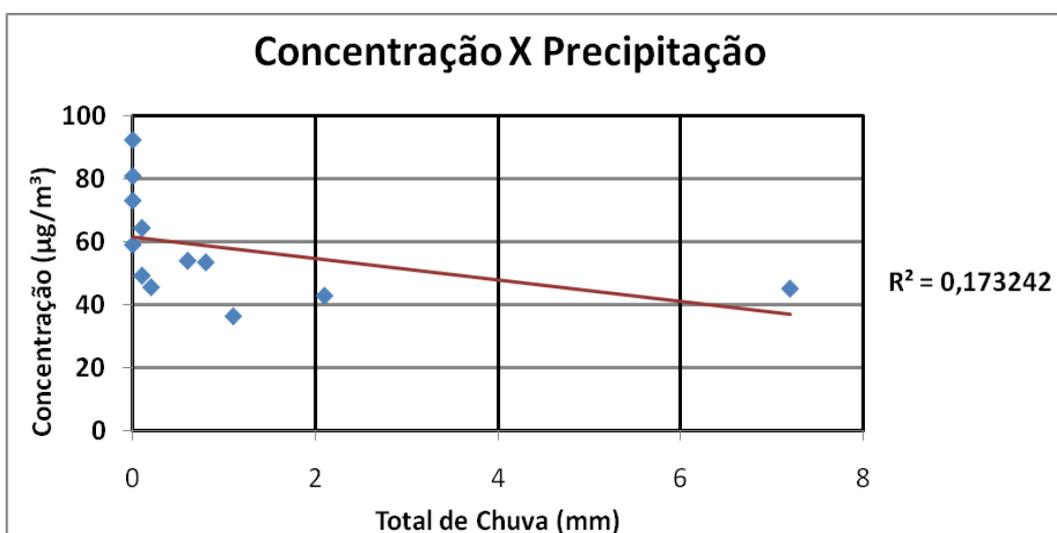


Figura 78 – Correlação da Concentração x Precipitação MP10 (Saída do canteiro)



Analisando os gráficos nota-se que os valores de concentração decrescem à medida que se eleva o índice pluviométrico. A relação estabelecida para a fração PTS é pouco maior, o que pode ser justificado pelo menor período de permanência desta fração na atmosfera.

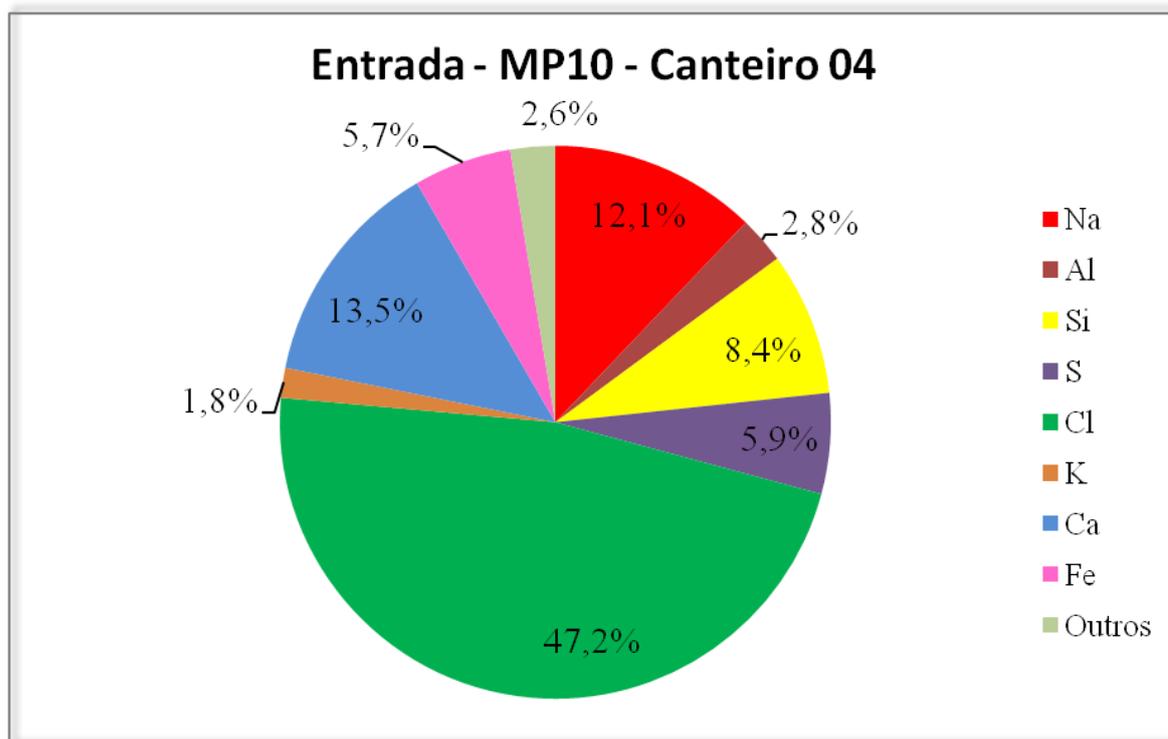
Taxa de sedimentação

A Tabela 15, apresentada anteriormente, mostra os resultados obtidos com as leituras dos *sticky pads*, indicando incômodo nos doze dias estudados. Foram obtidas leituras de queixas graves por três vezes, nos dias 31/03/2015, 08 e 09/04/2015, todas na entrada do canteiro. Este resultado é contrário ao obtido com a amostragem utilizando os amostradores *MiniVol* que resultou maior concentração na saída do canteiro o que deveria corresponder às queixas graves.

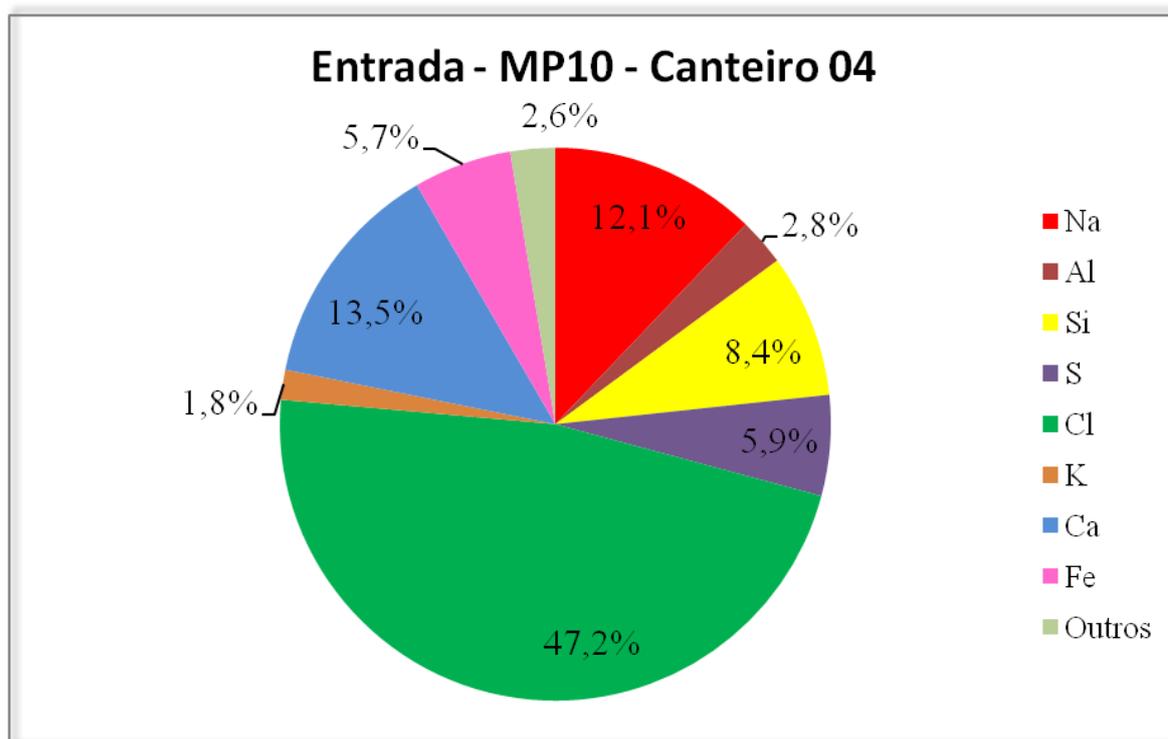
Comparando-se os resultados das concentrações obtidos entre os dias 08 e 14 de Abril de 2015, utilizando os *MiniVols* e os *sticky pads*, nota-se que foram obtidos os maiores valores de concentração no dia 14/04/2015, com resultado da leitura de possíveis queixas, enquanto que no dia 08/04/2015, com concentrações menores, foi obtido resultado mais crítico de queixas graves, mesmo tendo pluviosidade elevada o que deveria ter contribuído também com um resultado menos crítico. Desta forma conclui-se que os resultados obtidos com os *Sticky pads* e os amostradores *MiniVols* não retratam de forma similar os resultados.

Caracterização Química

Os principais elementos químicos presentes nas amostras do canteiro 4 foram Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, ZN, Se, Br e Pb. As Figuras 79 e 80 ilustram de forma clara a composição do material particulado presente nas amostras do canteiro 4.

Figura 79 – Composição Química do Material Particulado MP10 (Entrada)

Fonte: Própria

Figura 80 – Composição Química do Material Particulado MP10 (Saída)

Fonte: Própria

Os elementos que apresentaram concentração significativa na entrada do canteiro foram Na, Al, Si, S, Cl, K, Ca e Fe com maior concentração do Na e Cl em decorrência das brisas marinhas. Já na saída do canteiro foram presentes os mesmos elementos. Percebe-se que para os elementos Na, Cl e S ocorre decréscimo da concentração. Para os elementos provenientes da composição dos materiais de construção, Al, Si, K, Ca, Fe ocorre acréscimo do valor da concentração na saída do canteiro. Isto mais uma vez, comprova a contribuição proveniente do canteiro. O material particulado que é coletado na entrada do canteiro é distinto do material coletado na saída do canteiro. Grande percentual de acréscimo na contribuição pode ser notado para os elementos Ca e Si provenientes do Concreto.

Nos dias em que ocorreram as maiores concentrações na entrada do canteiro foram os dias 30 e 31/03/2015, além de 14/04/2015. Destaque foi o dia 30/03/2015 com concentrações de Ca ($6,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Si ($4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), quando estava sendo realizada a concretagem no período da tarde, não houve chuvas no período e a direção não foi predominante (E), foi SSE, com velocidade de 1,24 m/s. Nos dias em que ocorreram as mais altas concentrações na saída do canteiro foram 31, 01 e 07/04/2015. Destaque ficou para o dia 07/04, onde o Ca ($10,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o Si ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) atingiram valores máximos. A direção foi N, não predominante e a velocidade de 1,3 m/s. não houve chuvas no período.

No dia 12/04, Domingo, foram obtidas as seguintes concentrações na entrada do canteiro para os elementos S ($0,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Na ($3,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Cl ($13,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Para os demais elementos foram obtidas concentrações inferiores a $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para a saída do canteiro foram obtidas concentrações para o Na de $3,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Cl de $9,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e S de $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Percebe-se que há decréscimo nas concentrações do Na e Cl, que foram maiores na entrada do canteiro. Para o S houve um pequeno aumento de concentração proveniente do canteiro. Para este período houve um pequeno acumulado de chuvas de 2,10 mm, a direção não foi predominante, sendo SSW com velocidade média de 1.86 m/s. Como pode ser visto existiram condicionantes que favoreceram a diminuição da concentração, como a direção não predominante e o índice pluviométrico.

4.4.3 Considerações sobre os resultados obtidos no Canteiro de Obras 4

Após a análise dos resultados foi observado que o perfil do material particulado deste canteiro, também é constituído em maioria de partículas da fração grossa (PTS), o percentual de MP10 corresponde a cerca de 20 a 45% da fração PTS. A maior variação deste canteiro

ficou para a fração PTS com diferenças de até 50% entre os valores de entrada e saída do canteiro. A fração MP10 é mais uniforme com diferenças inferiores a 38%.

Não há associação entre os resultados obtidos com as amostragens utilizando *sticky pads* e *MiniVols*, visto mais uma vez a impossibilidade de estabelecimento de padrão que possa relacionar os valores de concentração com a criticidade das leituras dos *Sticky pads*. Por vezes ocorrem leituras com menor criticidade para concentrações altas e por vezes ocorrem leituras amenas para valores de concentração altos.

Para este canteiro também não pode ser identificada atividade específica que fosse responsável pela variação dos valores de concentração. Quanto às variáveis meteorológicas para este canteiro, só foi percebida a influência da pluviosidade, visto a grande variação da direção do vento, talvez esta tenha ocorrido em decorrência das direções terem sido registradas em ponto distinto ao da coleta, os dados registrados foram do INMET, estação localizada em Ondina- Salvador.

Os resultados obtidos para as análises físicas e químicas deste canteiro também coincidem, sendo o dia de máxima concentração o dia 30/03/2015 e o dia de mínima concentração o 12/04/2015.

4.5 CANTEIRO REFERÊNCIA

O **Canteiro Referência** está localizado em Salvador/Ba, Latitude 12°57'46'' Sul, Longitude 38° 24'32'' Oeste e Altitude de 34m. O canteiro piloto apresenta uma área de 32.780 m² onde serão construídas 08 torres residenciais, sendo apartamentos de 3 suítes e 2 torres residenciais com apartamentos de 4 suítes, cada torre com 16 pavimentos, totalizando em 464 unidades habitacionais (Figura 81).

4.5.1 Identificação da direção predominante do vento no Canteiro de Obras Referência

Para determinação da direção predominante a estação meteorológica foi instalada durante 5 dias ininterruptos para informar um período de tempo de menor oscilação do vento, visto que o vento da cidade oscila em torno de 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 (SE) foi identificado como predominante.

Figura 81 – Foto aérea do Canteiro Referência



Fonte: Construtora do Canteiro (2014)

4.5.2 Medição da concentração do material particulado no Canteiro de Obras Referência

Embora o estudo realizado no **Canteiro Referência** tenha ocorrido em três fases distintas da obra (movimentação de terra, obra bruta e acabamento), nas três frações de MP (PTS, MP10 E MP2,5) serão apresentados aqui apenas os resultados correspondentes a fase de obra bruta, para as frações PTS E MP10 como parâmetro para comparação com os quatro canteiros estudados, que foram desenvolvidos na fase específica de obra bruta. Os pontos correspondentes a fase de obra bruta no Canteiro Referência são respectivamente o ponto Fixo (entrada do canteiro) e ponto 2 (saída do canteiro).

Os equipamentos foram instalados no **Ponto Fixo** da obra, na entrada do canteiro e no **Ponto 2**, na saída do canteiro, sempre seguindo a direção predominante do vento (sudeste). Para cada ponto de medição foram instalados um conjunto de amostradores composto por três *MiniVols* para coleta das frações PTS, MP10 e MP2,5 com medições entre o período de 7 horas da manhã às 15 horas da tarde. A coleta foi realizada por um período mínimo de 10 dias. A Figura 82 ilustra a localização dos pontos de amostragem dentro do Canteiro Referência.

Figura 82 – Localização dos pontos de amostragem



Fonte: Araújo (2014)

As Figuras 83 a e 83 b ilustram os pontos de instalação dos amostradores *MiniVols* na entrada (Ponto Fixo) e na saída (Ponto 2) do canteiro.

Figura 83: Equipamentos no (a) Ponto Fixo e (b) Ponto 2



(a) Ponto Fixo

(b) Ponto 2

Fonte: Araújo 2014

A Tabela 20 apresenta as variáveis meteorológicas registradas no período de amostragem. Durante o período de coleta das amostras foram registrados baixos índices pluviométricos por um período de cinco dias. As variáveis pressão atmosférica e temperatura média sofreram pouca variação, obtendo-se médias de 757,00 mmHg e 26 °C, respectivamente. As demais variáveis obtiveram valores médios de umidade relativa de 80% e velocidade de 1,0 m/s.

Tabela 20 - Variáveis meteorológicas – Fase 2

Dia	Total de Chuva (mm)	Umidade Média (%)	Pressão Média (mmHg)	Temperatura Média °C	Velocidade Média (m/s)	Predominância do vento
07/01/2014	1,4	77	756,3	26,4	1,3	SE 44,4% (sudeste)
08/01/2014	0,0	80	755,5	25,9	1,8	S 55,56% (Sul)
09/01/2014	0,2	82	755,1	25,0	0,9	NNE e NW 22,22% (Nor-Nordeste e Noroeste)
10/01/2014	3,2	89	756,3	25,2	0,9	NE 47,7% (Nordeste)
13/01/2014	0	78	758,5	27,0	1,4	E e ESE 33,33% (Leste e Lés-Sudeste)
14/01/2014	0	78	758,2	27,4	1,4	ESE 77,8% (Lés-sudeste)
15/01/2014	1,8	83	756,7	26,5	1,5	E 66,7% (Leste)
16/01/2014	0	73	756,8	27,0	1,0	SE e SSE 33,3% (Sudeste e Su-sudeste)
17/01/2014	1,8	86	757,0	25,4	1,1	SSW e SW 22,2% (Su-Sudoeste e Sudoeste)
Média	0,9	80	757	26	1	Sudeste

Fonte: Araújo, 2014

Na instalação dos pontos distintos buscou-se localizá-los próximo às atividades que apresentassem a maior predominância das principais fases da obra. O Ponto 2 correspondeu a Fase 2 - execução de obra bruta.

As Medições do Ponto Fixo e do Ponto 2 foram realizadas 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.

No Ponto Fixo as atividades que puderam ser relacionadas com o período de medição foram 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, pode ter ocorrido a contribuição de partículas provenientes das atividades da vizinhança.

No ponto 2 as atividades que puderam ser relacionadas com o período de medição foram serviços de 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 e 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 e impermeabilização cristalizada.

Os resultados das amostragens serão apresentados da seguinte forma: (1) análise quantitativa e qualitativa do **Ponto Fixo**, concentrações de PTS e MP10 e suas composições químicas; (2) análise quantitativa e qualitativa do **Ponto 2**, concentrações de PTS e MP10 e suas composições químicas. Os resultados correspondentes aos *sticky pads* não serão apresentados pelo fato da finalidade de coleta não ser equivalente a do presente estudo.

A Tabela 21 apresenta os valores das concentrações diárias obtidas para as duas frações de MP e as atividades diárias desenvolvidas durante o período de coleta do Canteiro Referência.

Tabela 21 – Resultados das concentrações das amostras no período de coleta do canteiro Referência

DIAS	CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ATIVIDADES
	Entrada (Ponto Fixo)		Saída (Ponto 2)		
	PTS	PM10	PTS	PM10	
07/01/2014	312,67	96,08	585,70	269,28	Tratamento de concreto para laje, elevação de alvenaria, encunhamento de alvenaria, alvenaria em combogó de cimento, execução de contra-piso, piso auto-nivelante e piso cimentado; chapisco rolado, lavagem de pilares/vigas, fechamento de <i>shaft</i> em alvenaria, revestimento cerâmico e em massa única, soleira e filete de porta em mármore/granito, embutimento e chumbamento hidráulico, impermeabilização com manta asfáltica e cristalizada.
08/01/2014	611,81	60,74	600,25	259,83	
09/01/2014	324,46	41,93	307,65	229,08	
10/01/2014	252,29	81,39	357,64	15,78	
13/01/2014	304,84	108,01	664,19	172,73	
14/01/2014	290,09	105,26	485,60	201,65	
15/01/2014	327,88	100,67	419,09	138,28	
16/01/2014	265,20	80,48	515,03	270,70	
17/01/2014	222,33	81,85	412,88	169,97	

Fonte: Araújo 2014

4.5.3 Análise quantitativa e qualitativa do material particulado no Canteiro de Obras Referência no Ponto Fixo

A concentração máxima de PTS ($611,81\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada no Ponto Fixo foi em 8/1/2014 e no dia em questão houve ausência do vento sudeste, a umidade foi de 80% e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de PTS no Ponto Fixo ($222,33\mu\text{g}/\text{m}^3$) foi obtida no dia 17/1/2014 com ventos SSW e SW predominante no Canteiro em 22,2% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 1,1m/s, a umidade foi de 86% e foi obtido 1,8 mm de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais no dia de concentração máxima, nada se pode garantir com relação à concentração encontrada, pois alguns condicionantes favorecem valores de baixa concentração ao passo que outros favorecem valores de alta 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.

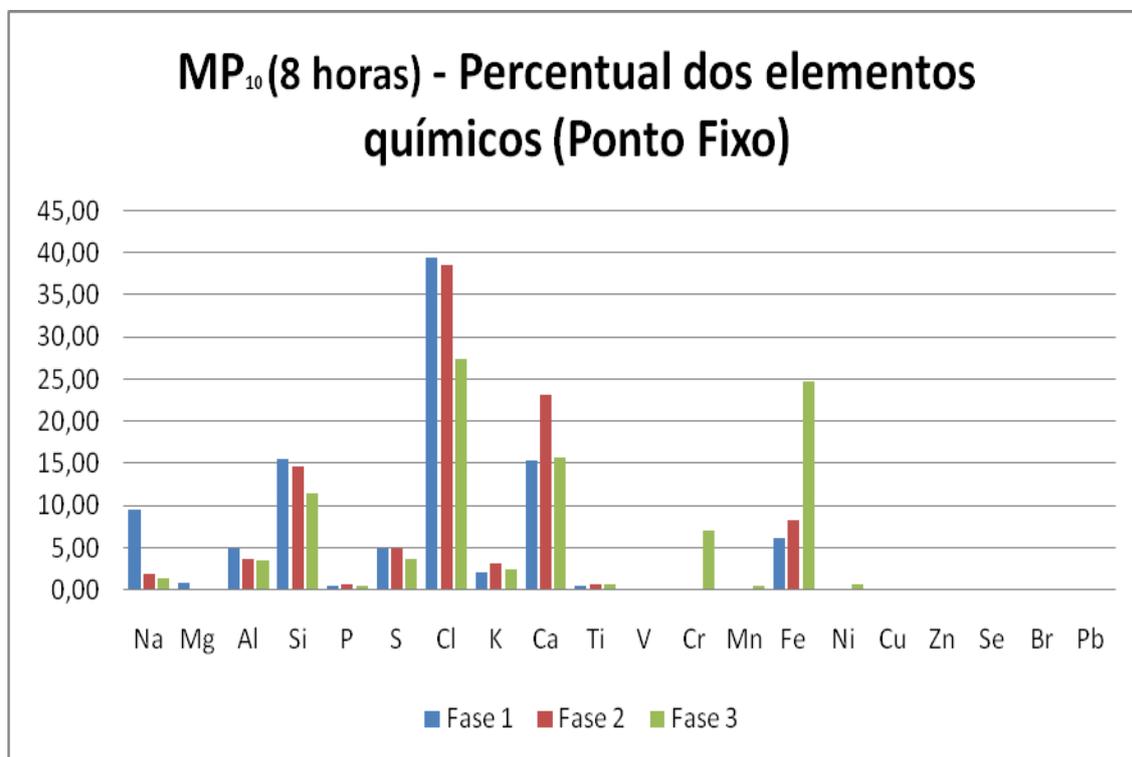
A concentração máxima de MP_{10} ($108,01\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada no Ponto Fixo foi em 13/1/2014 com o vento leste e leste sudeste predominante no canteiro em 33,33% em relação aos ventos do dia com velocidade média de 1,4m/s, a umidade foi de 78% e houve ausência de chuva. A mais baixa concentração de MP_{10} no Ponto Fixo ($41,93\mu\text{g}/\text{m}^3$) foi obtida no dia 9/01/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste (E e ESE 33,33%) com velocidade média de 0,9 m/s, a umidade foi de 82% e foram obtidos 0,2 mm de chuva.

Com relação às condicionantes ambientais no dia de concentração máxima do MP_{10} alguns condicionantes favorecem valores de baixa concentração ao passo que outros favorecem valores de alta 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), com velocidade baixa, alta umidade, além da presença de chuva.

Os dados da análise química do MP_{10} do Ponto Fixo não foram diferentes dos outros pontos estudados (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 84). 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 químicos apresentou valores pouco significativos para MP₁₀.

Figura 84: MP₁₀ (8 horas) - Percentual dos elementos químicos (Ponto Fixo)



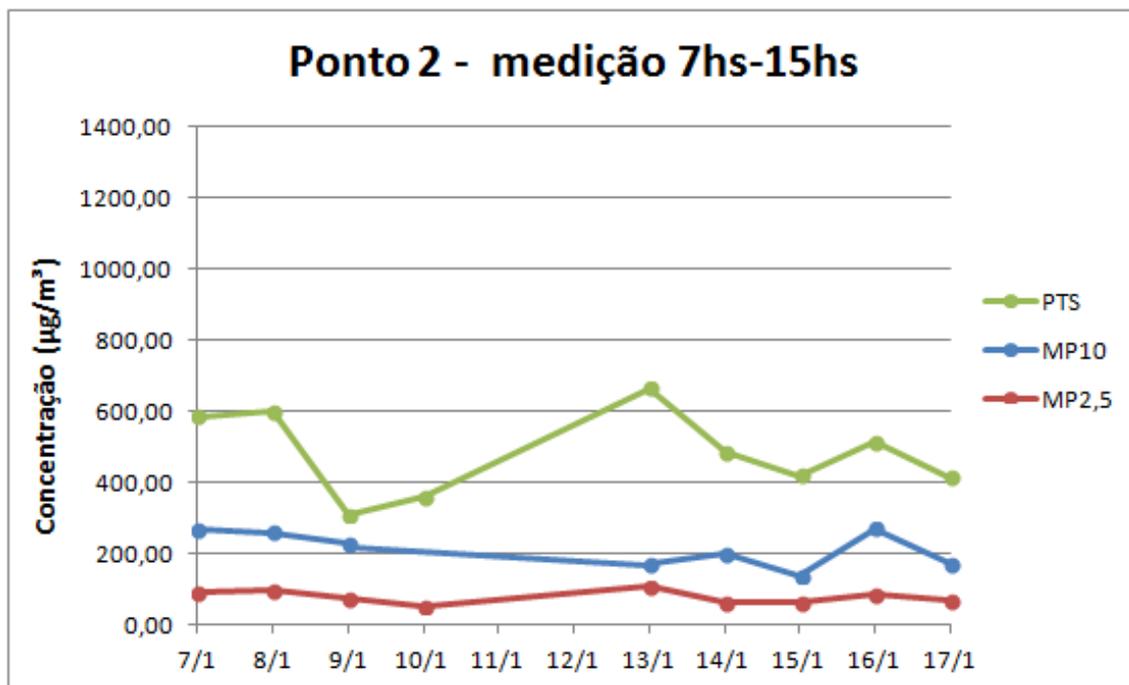
Fonte: Araújo 2014

No Ponto Fixo foi observada a presença dos óxidos dos elementos químicos Cl, Ca, Si, Fe, S, Na, K, P e Ti independentemente da fase de medição, com destaque para os elementos Cl, Ca, Si, Al, Fe e Na. A concentração dos demais óxidos dos elementos apresentou valores muito pequenos para MP₁₀ (8 horas).

4.5.4 Análise quantitativa e qualitativa do Ponto 2

Os dados obtidos no Ponto 2 foram analisados com o uso de gráficos de evolução (Figura 85) no qual foram inseridas as concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} para os dias de coleta, com exceção dos dias que apresentaram *outliers*, além do estudo das condições meteorológicas dos dias de máxima e mínima concentração. Na análise química foram analisadas as frações de MP e a porcentagem de cada óxido do elemento químico encontrado por meio de gráfico de pizza e gráfico de barras.

Figura 85 - Gráfico de evolução das concentrações de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} em µg/m³ - Ponto 2



Fonte: Araújo 2014

A concentração máxima de PTS (664,19µg/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 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

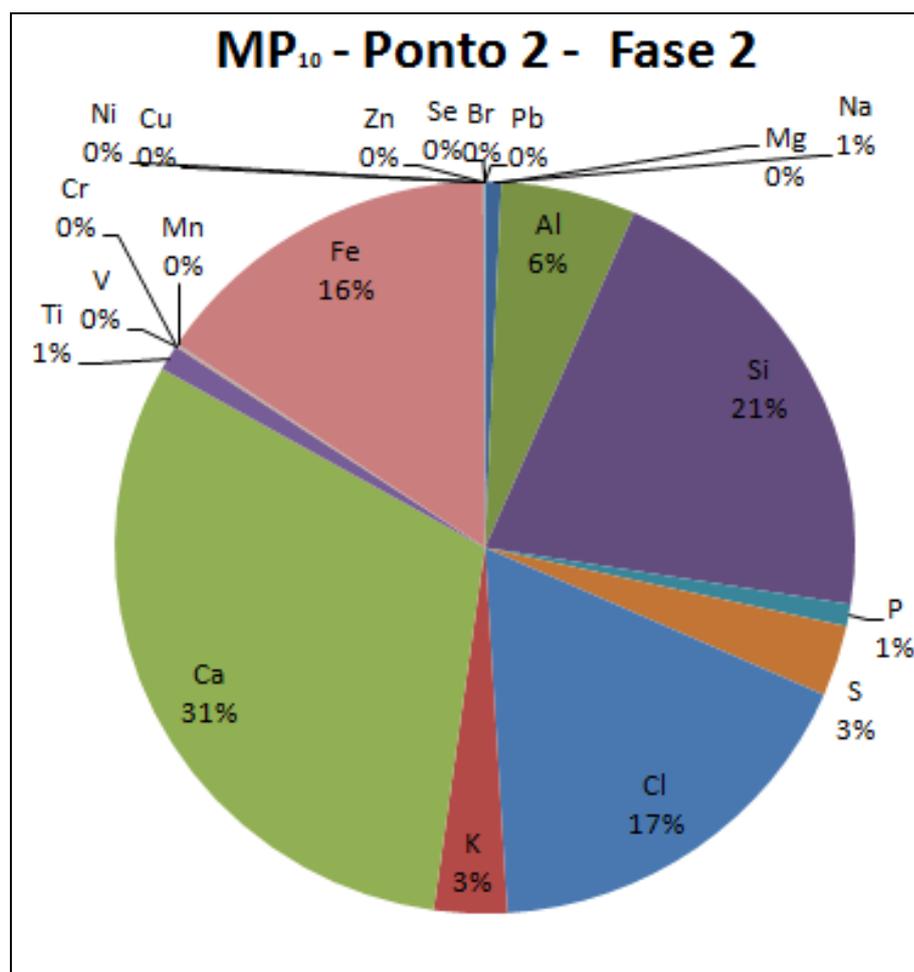
obtida no dia 15/01/2014 e no dia em questão houve a ausência do vento sudeste, a umidade foi de 83% e foram obtidos 1,8mm de chuva.

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 análise química do MP10 no **Ponto 2** apresentou a seguinte composição (Figura 86): Cl (17%) e Na (1%): este perfil também corrobora com o perfil de aerossóis marinho (NaCl), visto que a obra é localizada próximo a orla da cidade; Si (21%), Ca (31%), Al (6%), Fe (16%) e K (3%): 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, elevação de alvenaria, reboco, chapisco, entre outros) apresentarem seus materiais com perfil químico parecidos entre si. Por conseguinte, identificou-se para os óxidos dos elementos químicos (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 (3%): o elemento S aparece com porcentagens muito baixa. As demais contribuições dos outros elementos não foram significativas para o MP₁₀.

Figura 86 - Percentual dos elementos químicos das amostras de MP₁₀ do Ponto 2 - Fase 2



Fonte: Araújo 2014

Observa-se a presença dos elementos Ca, Si, Cl, Al e Fe em grandes proporções, com destaque para o Ca (MP₁₀) que apresentou concentração de 31% no Ponto 2.

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

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este item apresenta uma análise comparativa dos resultados obtidos entre os quatro canteiros estudados e os resultados obtidos por (Araújo, 2014), denominado neste trabalho como **Canteiro de Referência**. Esta análise está fundamentada nas análises cruzadas de dados apresentadas nas Tabelas 22, 23, 24, 25 e 26 e focada nas hipóteses elaboradas para este trabalho, quais sejam:

- a) Existem fatores meteorológicos que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras.
- b) Existem atividades de construção na obra bruta que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras.
- c) Existe relação entre os resultados obtidos nas coletas das amostras de material particulado com a utilização dos amostradores *MiniVols* e dos *Sticky Pads*.
- d) Existe relação entre os níveis de concentração de material particulado gerado nos diferentes canteiros de obras estudados.

Tabela 22 – Estatística descritiva das concentrações de PTS e MP10 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos quatro canteiros estudados e no Canteiro Referência

Medição	Minimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
PTS Entrada 1	344.18	465.12	486.01	583.52	89.88	19.32%
PTS Saída 1	339.87	445.51	444.40	534.27	52.54	11.79%
PTS Entrada 2	59.92	123.14	119.67	207.42	41.37	33.60%
PTS Saída 2	138.00	197.30	188.03	284.25	51.76	26.23%
PTS Entrada 3	77.08	145.64	143.75	194.44	34.76	23.87%
PTS Saída 3	82.20	136.18	135.19	218.30	38.43	28.22%
PTS Entrada 4	48.32	107.99	96.64	159.10	33.19	30.74%
PTS Saída 4	119.55	187.32	161.74	321.16	63.81	34.07%
PTS Entrada R	222.33	287.47	275.11	327.88	37.65	13.10%
PTS Saída R	307.65	483.12	485.60	664.19	119.17	25.00%
MP10 Entrada 1	80.57	170.54	155.71	264.13	57.16	33.52%
MP10 Saída 1	66.25	167.33	150.86	313.87	91.18	54.49%
MP10 Entrada 2	40.95	55.19	54.83	66.77	8.28	15.01%
MP10 Saída 2	40.17	62.64	62.82	80.84	13.99	22.33%
MP10 Entrada 3	24.91	47.69	47.55	72.92	14.73	30.89%
MP10 Saída 3	37.96	45.90	45.02	55.79	4.81	10.48%
MP10 Entrada 4	32.68	46.43	45.39	60.61	8.85	19.06%
MP10 Saída 4	36.41	59.34	53.93	92.09	16.80	28.30%
MP10 Entrada R	60.74	89.31	88.97	108.01	16.00	17.91%
MP10 Saída R	138.28	213.94	215.37	270.70	50.88	24.00%

Fonte: Própria

Tabela 23 - Variáveis meteorológicas dos pontos máximos e mínimos das concentrações de PTS e MP10 nos canteiros estudados

Concentração	Data	U (%)	P (mm)	V (m/s)	Dir. Vento	Dir. Pred.
PTS Min. Entrada 1	22/07/2014	86.9	2.54	0.8	WSW (100%)	W
PTS Min. Saída 1	31/07/2014	89.9	8.08	0.6	W (100%)	W
PTS Min. Entrada 2	14/11/2014	78.5	0.25	1.7	ESE (50%)	NW
PTS Min. Saída 2	21/11/2014	80.8	0.00	1.2	ESE (56%)	NW
PTS Min. Entrada 3	30/01/2015	73.0	0.00	1.5	NNE (67%)	NNE
PTS Min. Saída 3	30/01/2015	73.0	0.00	1.5	NNE (67%)	NNE
PTS Min. Entrada 4	15/04/2015	82.0	0.20	1.2	NE (50%)	E (0%)
PTS Min. Saída 4	08/04/2015	89.0	7.20	2.6	S (63%)	E (0%)
PTS Min. Entrada R	17/01/2014	86.0	1.80	1.1	SSW and SW (22%)	SE
PTS Min. Saída R	09/01/2014	82.0	0.20	0.9	NNE and NW(22%)	SE
PTS Max. Entrada 1	01/08/2015	76.7	10.64	1.5	W (100%)	W
PTS Max. Saída 1	30/07/2015	78.4	5.52	0.9	W (100%)	W
PTS Max. Entrada 2	10/11/2014	73.0	0.00	1.8	NW (31%)	NW
PTS Max. Saída 2	11/11/2014	80.4	0.51	1.2	ESE (44%)	NW (31%)
PTS Max. Entrada 3	06/02/2015	70.8	0.00	1.2	ENE (31%)	NNE (6%)
PTS Max. Saída 3	06/02/2015	70.8	0.00	1.2	ENE (31%)	NNE (6%)
PTS Max. Entrada 4	30/03/2015	70.0	0.00	1.2	SSE (37%)	E (0%)
PTS Max. Saída 4	30/03/2015	70.0	0.00	1.2	SSE (37%)	E (0%)
PTS Max. Entrada R	15/01/2014	83.0	1.80	1.5	E (66.7%)	SE
PTS Max. Saída R	13/01/2014	78.0	0.00	1.4	E and ESE (33.33%)	SE
MP10 Min Entrada 1	01/08/2014	76.7	10.64	1.5	W (100%)	W
MP10 Min Saída 1	29/07/2014	73.3	2.96	1.4	W (100%)	W
MP10 Min Entrada 2	21/11/2014	84.5	0.50	0.8	ESE (56%)	NW (25%)
MP10 Min Saída 2	21/11/2014	84.5	0.50	0.8	ESE (56%)	NW (25%)
MP10 Min Entrada 3	29/01/2015	67.7	0.00	1.6	NNE (69%)	NNE
MP10 Min Saída 3	09/02/2015	71.6	0.00	1.7	NNE (56%)	NNE
MP10 Min Entrada 4	26/03/2015	84.00	1.10	1.4	SSW (50%)	E (0%)
MP10 Min Saída 4	26/03/2015	84.00	1.10	1.4	SSW (50%)	E (0%)
MP10 Min Entrada R	08/01/2014	80.00	0.00	1.8	S	SE
MP10 Min Saída R	15/01/2014	83.00	1.80	1.5	E	SE
MP10 Max Entrada 1	28/07/2014	81.4	5.2	0.7	W (100%)	W
MP10 Max Saída 1	28/07/2014	81.4	5.2	0.7	W (100%)	W
MP10 Max Entrada 2	10/11/2014	75.0	0.0	1.4	E (31%)	NW (31%)
MP10 Max Saída 2	11/11/2014	75.0	0.0	1.3	ESE (44%)	NW (31%)
MP10 Max Entrada 3	06/02/2015	72.9	0.0	1.2	ENE (31%)	NNE (6%)
MP10 Max Saída 3	06/02/2015	72.9	0.0	1.2	ENE (31%)	NNE (6%)
MP10 Max Entrada 4	30/03/2015	70.0	0.0	1.2	SSE (37%)	E (0%)
MP10 Max Saída 4	07/04/2015	69.0	0.0	1.3	N (37%)	E (0%)
MP10 Max Entrada R	13/01/2014	78.0	0.0	1.4	E e ESE (33.33%)	SE
MP10 Max Saída R	16/01/2014	73.0	0.0	1.0	SE e SSE (33.33%)	SE

U – Umidade, P – Pluviometria, V. – Velocidade, Dir. – Direção, Pred. – Predominante

Fonte: Própria

Tabela 24 - Resumo das atividades construtivas e métodos de controle de poeira nos canteiros estudados

Canteiros/Atividades Construtivas	Concentrações Mínimas	Concentrações Máximas	Métodos de controle de poeira
Canteiro 1	Produção de argamassa Elevação de alvenaria	Produção de argamassa Elevação de alvenaria Emboço	Nenhum
Canteiro 2	Concretagem Desforma.	Concretagem	Nenhum
Canteiro 3	Elevação de alvenaria	Elevação de alvenaria Concretagem	Nenhum
Canteiro 4	Elevação de alvenaria Concretagem Montagem de armadura e forma	Concretagem	Nenhum
Canteiro Referência	Tratamento de concreto; elevação 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 (Araújo, 2014).		Aspersão de água durante a movimentação dos veículos (Araújo, 2014).

Fonte: Própria

Tabela 25 - Síntese dos Percentuais dos Elementos Químicos presentes nas amostras de MP10 nos quatro canteiros e Canteiro Referência

Medição	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Outros
MP10 Entrada 1	13.9	0.7	4.2	8.9	59.1	1.4	8.7	1.8	1.3
MP10 Saída 1	8.1	1.6	8.2	7.8	40.2	1.9	27.0	3.6	1.6
MP10 Entrada 2	15.0	1.2	5.7	6.5	59.25	1.54	7.13	2.73	0.9
MP10 Saída 2	12.4	3.4	8.1	6.6	52.74	1.50	10.18	4.30	0.9
MP10 Entrada 3	7.8	2.7	18.0	5.6	33.9	2.3	24.7	3.6	1.4
MP10 Saída 3	12.4	2.1	14.8	5.6	36.4	2.0	22.4	3.0	1.4
MP10 Entrada 4	12.1	2.8	8.4	5.9	47.2	1.8	13.5	5.7	2.6
MP10 Saída 4	9.3	3.6	14.4	4.9	34.2	2.2	21.9	7.0	2.5
MP10 Entrada R	1.9	3.7	14.7	4.9	38.5	3.1	23.1	8.3	1.8
MP10 Saída R	0.7	5.9	20.9	3.1	17.5	3.2	30.9	15.5	2.3

Fonte: Própria

Tabela 26 – Leitura dos *Sticky Pads* – EAC%. Área de cobertura efetiva nos dias de mínima e máxima concentração do PTS

Canteiros	Data da concentração Máx e Min do PTS	EAC/Dia (%)	Resposta
Mínimo Entrada 1	22/07/2014	Não houve leitura	-
Mínimo Saída 1	31/07/2014	Não houve leitura	-
Mínimo Entrada 2	14/11/2014	20,0	Queixas Graves
Mínimo Saída 2	21/11/2014	1,3	Censurável
Mínimo Entrada 3	30/01/2015	4,0	Possíveis queixas
Mínimo Saída 3	30/01/2015	2,0	Possíveis queixas
Mínimo Entrada 4	15/04/2015	1,5	Censurável
Mínimo Saída 4	08/04/2015	0,5	Possíveis queixas
Mínimo Entrada R	17/01/2014	Não se aplica	Não se aplica
Mínimo Saída R	09/01/2014	Não se aplica	Não se aplica
Máximo Entrada 1	01/08/2015	Não houve leitura	-
Máximo Saída 1	30/07/2015	9,0	Queixas graves
Máximo Entrada 2	10/11/2014	17,3	Queixas graves
Máximo Saída 2	11/11/2014	3,7	Queixas graves
Máximo Entrada 3	06/02/2015	0,5	Possíveis queixas
Máximo Saída 3	06/02/2015	0,5	Possíveis queixas
Máximo Entrada 4	30/03/2015	3,5	Possíveis queixas
Máximo Saída 4	30/03/2015	4,0	Possíveis queixas
Máximo Entrada R	15/01/2014	Não se aplica	Não se aplica
Máximo Saída R	13/01/2014	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: Própria

4.6.1 Fatores meteorológicos que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras

O MP apresenta uma grande complexidade no entendimento do seu comportamento, visto que este pode variar no espaço e no tempo devido à influência significativa dos fatores meteorológicos. Neste estudo, bem como em vários outros já desenvolvidos por Pinheiro e Monteiro (1992), Almeida (1999), CETESB (1998) e Resende (2007) percebe-se a grande importância do monitoramento dos parâmetros meteorológicos para se entender esta interação. Neste estudo notou-se que ocorreram influências das variáveis direção e velocidade do vento, pluviometria e umidade, com destaque para pluviometria e direção predominante do vento. As demais variáveis como temperatura, umidade e pressão atmosférica não foram tão significativas na variação dos valores de concentração, talvez devido a não ocorrência de grandes variações nos seus valores na cidade de Salvador-Ba, mesmo em diferentes períodos do ano.

De acordo com a análise cruzada das Tabelas 22, 23 nota-se que nos dias de máximas concentrações houve coincidência da direção do vento adotada como predominante no estudo

e no período da coleta, ou houve pouca variação (22,5° - 45°), com ausência da pluviometria, ou registro de índice pluviométrico muito baixo. Quando não foram obtidos coincidência entre as direções, notou-se também que durante alguns períodos do dia, ocorreu a direção predominante com altas velocidades favorecendo o transporte do MP. Nos dias de concentração mínima, houve maior variação entre as direções adotadas no estudo e no período de coleta (22,5° e 90°). Mesmo quando houve coincidência destas duas direções (adotada no estudo e coleta) houve registro de alto índice de pluviosidade. Com relação à variável umidade nota-se que os maiores valores foram registrados para as mínimas concentrações, ao passo que os menores valores de umidade foram obtidos para as máximas concentrações. A variável velocidade isoladamente não apresentou nenhuma correlação significativa que diferenciasse os valores mínimos e máximos de concentração. No geral, o comportamento do MP se dá pela interação entre estes fatores meteorológicos, sendo necessária uma análise multivariada entre todos eles para uma determinação mais precisa sobre a influência destes fatores.

Estes resultados corroboram com outros estudos desenvolvidos por Barbosa (2007) onde apresenta que a direção e a velocidade do vento propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes identificando a sua trajetória e alcances, bem como a umidade e a precipitação têm grande influência na remoção das partículas presente na atmosfera (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

4.6.2 Atividades de construção na obra bruta que influenciam na maior ou menor concentração de material particulado nos canteiros de obras

Neste estudo, bem como no estudo de referência (Araújo, 2014) não pôde ser determinada uma atividade específica que contribuiu com a maior ou menor geração de MP nos canteiros de obras. Analisando os dados das Tabelas 22 e 24 nota-se que para os dias em que foram obtidas as concentrações máximas houve predominância da atividade de concretagem em três dos canteiros estudados (2, 3 e 4), nos demais canteiros (1 e o referência), embora não estivesse sendo realizada especificamente a concretagem, houve sobreposição de atividades construtivas, inclusive de atividades que envolveram o cimento. Para os dias de concentração mínima houve sobreposição de atividades, inclusive a concretagem, que foi desenvolvida especificamente nos canteiros 2 e 4 em decorrência da etapa em que se encontravam as obras no período de coleta.

Analisando-se a Tabela 22 nota-se que as maiores concentrações foram registradas na saída dos canteiros, com exceção para o canteiro 1 e 3, visto que no canteiro 1 houve grande contribuição na entrada do canteiro das atividades de descarga de materiais e movimentação veicular e no canteiro 3 houve a contribuição de fontes externas, favorecendo a ocorrência das maiores concentrações na entrada do canteiro. Pode ser verificado ainda a semelhança do perfil do MP gerado nos canteiros 2 e 4, onde foram desenvolvidas especificamente as atividades de forma, desforma e concretagem. Estes canteiros apresentaram os valores de concentração numa mesma faixa, com maior variação para a fração PTS. Os canteiros 1 e Referência também apresentam perfil semelhante com altos valores obtidos para as diferentes frações. Talvez esta situação possa estar relacionada com o volume de atividades realizadas concomitantemente no período de coleta e a proximidade das atividades dos pontos de coleta.

Com relação à análise química realizada para a fração MP10 (Tabela 25) observou-se que no perfil da composição do MP nos canteiros estudados e no Canteiro Referência existe uma clara contribuição externa da brisa marinha (NaCl) devido a estes canteiros estarem localizados em áreas próximas ou muito próximas do litoral com destaque para o canteiro 2, o mais próximo da Orla de Salvador.

Analisando a Tabela 25, nota-se que houve maior participação dos elementos químicos (em porcentagem de massa) Si, Ca, Fe, Al, S e K constituintes da construção. Este resultado corrobora com o estudo desenvolvido por Chow (1995) e Chow *et al.* (2004). A contribuição do canteiro fica comprovada mais uma vez com a análise química. As porcentagens em massa são maiores na saída do canteiro, com exceção para o canteiro 3 que apresenta maior porcentagem na entrada e menor porcentagem na saída devido a contribuição externa (entrada) e da dispersão das partículas (saída).

4.6.3 Relação entre os resultados obtidos nas coletas das amostras de material particulado com a utilização dos amostradores *MiniVols* e dos *Sticky Pads*

Neste estudo não foi verificada uma relação entre os valores de concentrações obtidas utilizando os amostradores *MiniVols* e as leituras obtidas com os adesivos *sticky pads*. Embora por vezes as leituras de queixas graves obtidas com os *sticky pads* tenham correspondido com os valores altos de concentração, por vezes, ocorreram as mesmas leituras para valores bem menores (Tabela 26). Não pôde ser estabelecida uma faixa de valores que pudesse diferenciar altas concentrações/leituras de queixas graves das baixas

concentrações/leitura censurável ou prováveis reclamações. Também não pode ser notada nenhuma diferença nas leituras obtidas nos períodos secos e chuvosos ou entre os valores obtidos na entrada e saída do canteiro. A exemplo do canteiro 3 onde não foram registrados índices pluviométricos que pudessem ter interferidos nos resultados das leituras, também não pode ser percebida nenhuma relação entre os métodos de coleta. Para demonstrar a correlação entre os diferentes métodos foram estabelecidas associações entre os valores diários de concentrações obtidos em cada canteiro para a fração PTS (fração que engloba todos os tamanhos das partículas) e as respectivas leituras dos *sticky pads* obtidas diariamente. Não foi possível estabelecer esta correlação para o canteiro de obras 1, visto terem sido perdidas a maioria das amostras no período de coleta. Para o Canteiro de Referência também não foi estabelecida esta correlação pelo fato da coleta da poeira sedimentável ter sido realizada na vizinhança do canteiro e, neste estudo, a coleta ter sido realizadas dentro dos canteiros, consistindo desta forma em finalidades diferentes. As Figuras 87, 88, 89, 90, 91 e 92 retratam a correlação obtida entre os valores de concentração obtidos com os amostradores *MiniVols* em cada canteiro e as leituras obtidas com os *sticky pads*.

Figura 87 – Gráfico de Correlação Concentração x Leitura *sticky pad* Entrada do **Canteiro 2**

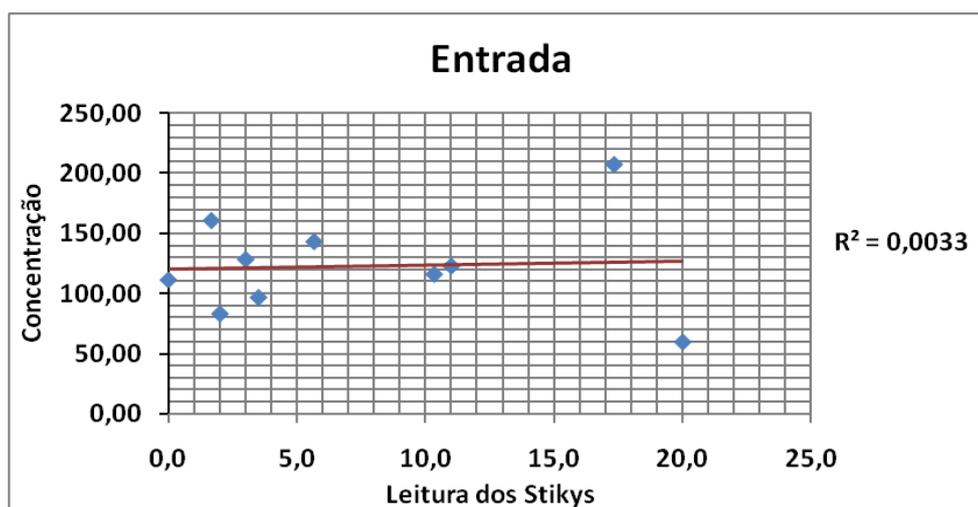


Figura 88 – Gráfico de Correlação Concentração x Leitura *sticky pad* Saída do **Canteiro 2**

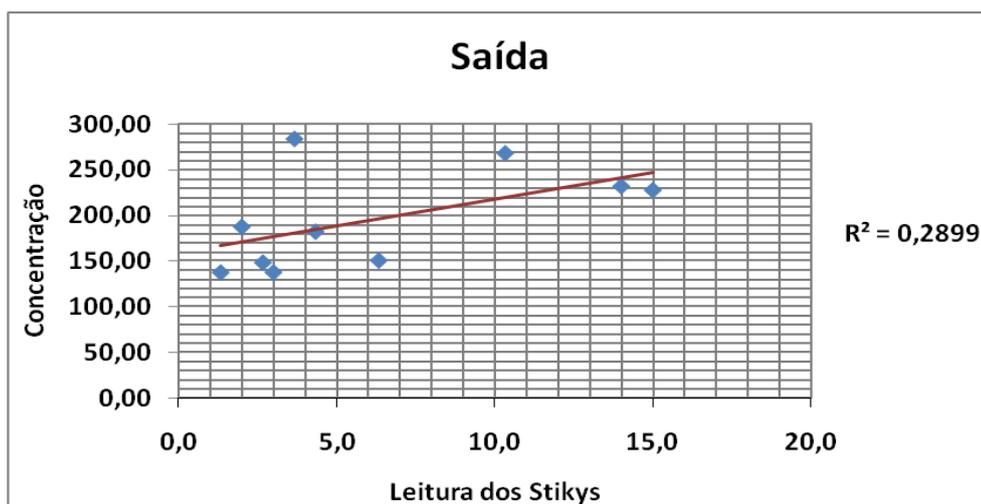


Figura 89 – Gráfico de Correlação Concentração x Leitura *sticky pad* Entrada do **Canteiro 3**

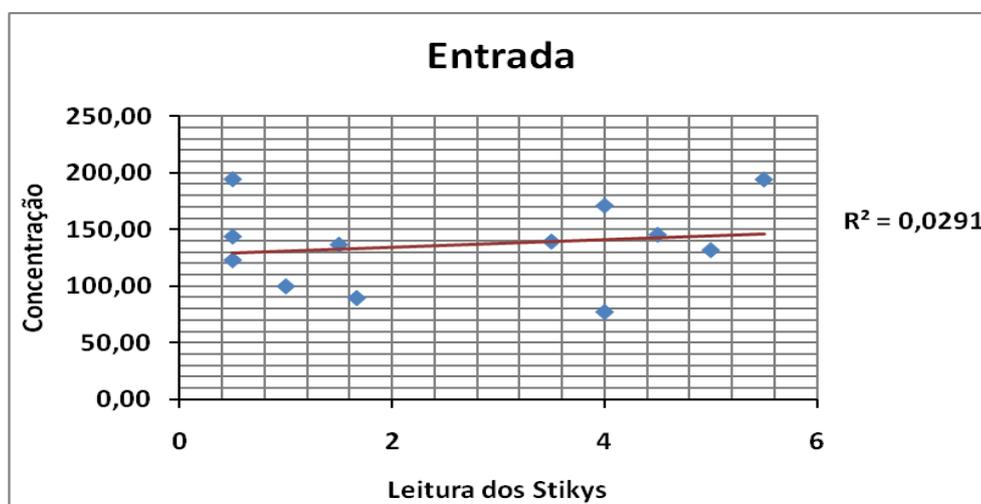


Figura 90 – Gráfico de Correlação Concentração x Leitura *sticky pad* Saída do **Canteiro 3**

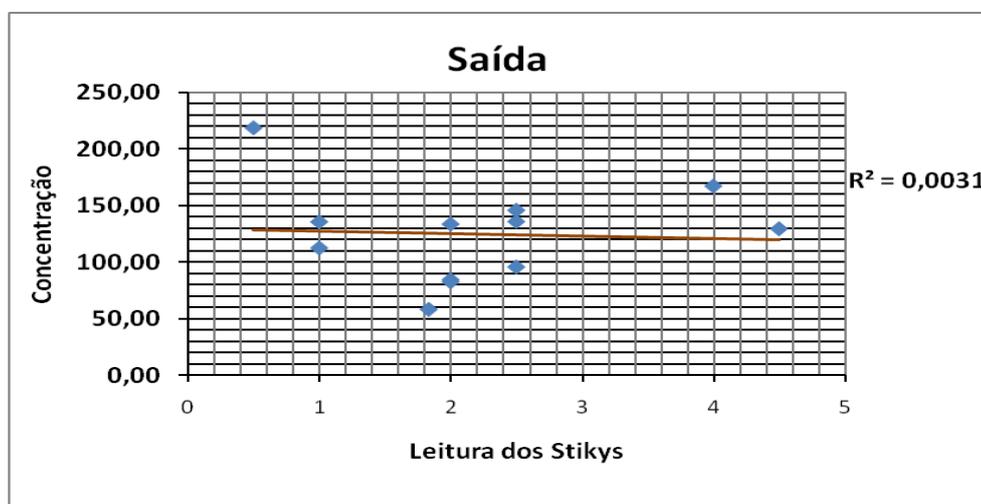


Figura 91 – Gráfico de Correlação Concentração x Leitura *sticky pad* Entrada do **Canteiro 4**

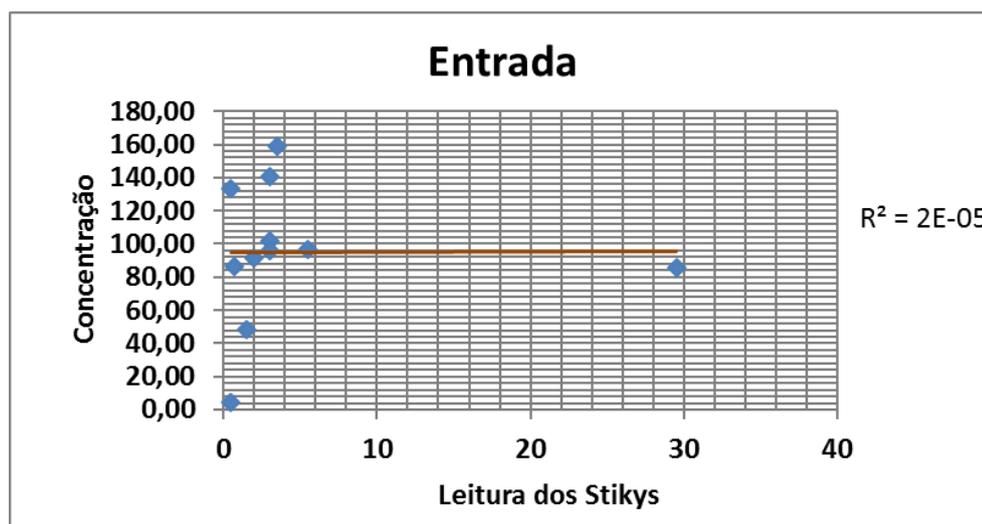
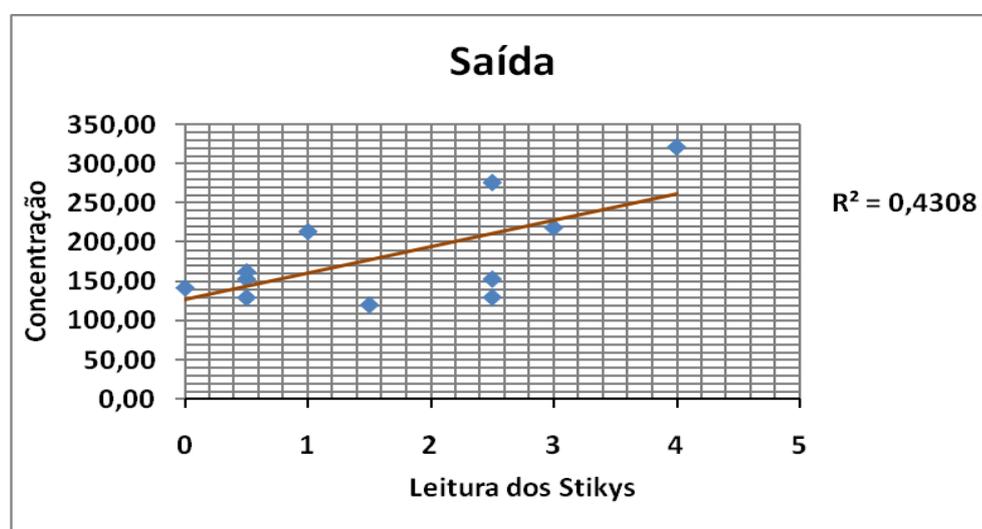


Figura 92 – Gráfico de Correlação Concentração x Leitura *sticky pad* Saída do **Canteiro 4**



Como pôde ser notado nos gráficos na entrada do canteiro não existiu correlação entre os resultados obtidos para os diferentes métodos de coleta, já para os resultados obtidos na saída do canteiro existiu alguma correlação. Fato interessante é que na saída destes canteiros foram obtidas as mais altas concentrações. A exceção a este fato foi o canteiro 3 que obteve certa correlação na entrada do canteiro, onde foram obtidas as maiores concentrações oriundas de fontes externas (outros canteiros na vizinhança).

De maneira geral o método *Sticky Pad* não apresentou confiabilidade nos seus resultados, não existiu um padrão nos resultados obtidos com as leituras, configurou-se num método propenso a sofrer variações por diversos fatores, tais como o manuseio das amostras, as condições climáticas, a distâncias de colocação das amostras com relação às atividades e o posicionamento das amostras dentro do canteiro.

4.6.4 Existe relação entre os níveis de concentração de material particulado gerados nos diferentes canteiros de obras estudados

Analisando a Tabela 22 observa-se que a fração PTS foi a menos homogênea, apresentou maior variação entre os valores de concentração tanto na entrada quanto na saída do canteiro. A fração PTS apresentou as concentrações máximas na saída do canteiro na maioria dos canteiros, sendo exceções o canteiro 1, em decorrência da frequência de atividades geradoras na entrada do canteiro e da proximidade dos pontos de coleta destas atividades. A fração MP10 foi mais heterogênea, apresentou menor variação entre seus valores de concentração, tanto na entrada quanto na saída, os seus valores são mais próximos. Seus valores máximos também foram obtidos na saída do canteiro com exceção do canteiro 3, cujo valor máximo foi obtido na entrada do canteiro. Os valores mínimos foram obtidos na entrada dos canteiros para as diferentes frações, excetuando-se o canteiro 1, como já explicado anteriormente. Notou-se a existência de uma variação entre os valores de concentração das diferentes frações em torno de 20 a 50%.

Com relação aos resultados apresentados por cada canteiro foi percebida semelhança no perfil do MP dos canteiros 2 e 4, provavelmente relacionada a etapa de construção semelhante no período de coleta, quando em ambos estavam sendo realizadas predominantemente a atividade de concretagem. Foi notada também a semelhança entre o perfil dos canteiros 1 e o de referência, talvez relacionada com o volume de atividades realizadas concomitantemente durante o período de coleta. Para estes dois canteiros foram registradas as maiores contribuições de MP.

Analisando os resultados apresentados pelos diferentes canteiros nota-se que não há um padrão no comportamento do MP gerado que possa ser definido. Existem semelhanças e diferenças que puderam ser destacadas, assim como fatores que influenciaram mais ou menos nos resultados. Assim como já apresentado nas discussões anteriores ocorre grande variabilidade dos resultados em decorrência dos fatores meteorológicos que interferem significativamente nos resultados das coletas, bem como uma grande complexidade na interação destes fatores que dificultam o entendimento do comportamento do MP gerado pelos canteiros. As fases da obra estudada bem como as etapas construtivas no período de coleta apresentam características singulares que provêm diferentes resultados. Também foram percebidos outros fatores que podem ter influenciado nos resultados obtidos, tais como o posicionamento dos equipamentos com relação às torres em construção, a proximidade dos pontos de coleta e até o mesmo o pavimento em que estavam sendo desenvolvida a maioria

das atividades construtivas. Foi notado que a dispersão do material particulado é mais efetiva nas obras baixas, a exemplo dos canteiros 2 e 4, ao passo que nas obras altas, como nos canteiros 1 e 3, a altura das torres funcionam como barreira para dispersão do material particulado. Estabelecer relação entre os inúmeros fatores que interferem no comportamento do MP gerado pelos canteiros é uma tarefa complexa que dificulta o estabelecimento de um padrão para o MP gerado pelos canteiros.

Com base nos resultados apresentados nos cinco canteiros estudados foram obtidos valores mínimos de concentração para a fração PTS numa faixa de 40 a 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximos numa faixa de 150 a 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para a fração MP10 foram obtidos valores de concentração mínima numa faixa de 20 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e para concentrações máximas numa faixa de 50 a 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estes valores correspondem a um volume coletado em 8 horas diárias.

Os padrões Nacionais e internacionais foram estabelecidos para um volume diário de 24 horas. Para a fração PTS a Resolução CONAMA 03/1990 estabelece 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e para a fração MP10 estabelece 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A OMS só estabelece padrão para MP10 de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tendo em vista que foram obtidas faixas de valores mínimas e máximas para as duas frações de MP com valores consideravelmente altos para um período de medição de apenas 8 horas diárias (Período considerado de funcionamento efetivo de um canteiro), mais 16 horas restantes de contribuições de MP diversas que não foram mensuradas, mas são existentes, pode-se sugerir que as contribuições dos canteiros de obra estudados mais as concentrações geradas externamente aos canteiros, somadas, correspondem às concentrações de MP que, por vezes, excedem os limites estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais, sendo assim, o canteiro de obras um grande impactador da qualidade do ar.

5. CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS

Este estudo teve como objetivo principal *determinar a concentração de material particulado proveniente de canteiros de obras na fase de obra bruta, nas frações PTS (Partículas Totais em Suspensão) e MP10 (Material Particulado 10 micrômetros), bem como os seus elementos químicos*. Como objetivos específicos tiveram-se:

- a) Identificar os fatores meteorológicos que influenciam a variação da concentração do material particulado na fase de obra bruta nos diferentes canteiros de obras.
- b) Identificar as atividades de construção da fase de obra bruta que influenciam a variação da concentração do material particulado e de seus elementos químicos na fase de obra bruta nos diferentes canteiros de obras.
- c) Identificar a existência de relação entre os resultados obtidos com as medições de material particulado utilizando amostradores *MiniVols* e o método dos *Sticky Pads* visando maior economicidade.
- d) Analisar comparativamente as concentrações do material particulado na fase de obra bruta e de seus elementos químicos com o estudo de Araújo (2014).

A principal contribuição deste estudo é o melhor entendimento do comportamento do material particulado em canteiros de obra, especificamente na fase de atividades construtivas relacionadas à estrutura e alvenaria, a sua composição, as variáveis meteorológicas e as atividades construtivas que mais influenciaram na sua concentração, bem como fatores que interferem nos resultados da coleta. Ao longo do estudo foi possível demonstrar que é efetiva a contribuição de material particulado, que causam impactos na vizinhança.

Este trabalho contribui ainda com a formação de futuras bases de dados da concentração de material particulado em canteiros de obra, coletados a partir de uma metodologia desenvolvida e validada para o contexto de canteiros de obras de edificações verticais, seja residencial quanto comercial. A formação deste tipo de base de dados é fundamental para identificação de futuros parâmetros ou faixas de valores que determinem se o canteiro apresenta alto grau de concentração de material particulado, bem como possibilite avaliar as soluções mais adequadas para mitigação desta concentração durante as diferentes fases de execução da obra.

Os canteiros de obras estudados apresentaram diversidades particulares que de forma mais ampla diferenciam os resultados de coleta de MP. Ressalta-se que foi adotado um método de

amostragem padronizado, conforme proposto por Araújo (2014), para assegurar uma menor influência destes fatores e variáveis nos resultados. A partir da análise dos dados apresentados pelos diferentes canteiros estudados, na fase de obra bruta, foi possível identificar as seguintes variáveis e fatores mais significativos

- a) Variáveis meteorológicas: neste estudo foi significativa a influência das variáveis direção e velocidade do vento, pluviometria e umidade com destaque para pluviometria e direção predominante do vento, enquanto as demais variáveis como temperatura e pressão atmosférica não foram tão significativas na variação dos valores de concentração, uma vez que estas variáveis não sofreram grandes variações nos seus valores na cidade de Salvador-Ba, mesmo em diferentes períodos do ano.
- b) Atividades construtivas: não pôde ser identificada uma atividade específica na fase de estrutura e alvenaria que tivesse contribuído de forma diferenciada na geração do MP. Nos canteiros de obras estudados estavam sendo desenvolvidas diversas atividades ao mesmo tempo, impossibilitando a diferenciação da atividade potencialmente geradora. Esta é uma característica específica da construção civil e que ocorrerá em todos os estudos que tiverem este objeto de análise. A análise química das amostras coletadas nos quatro canteiros estudados e no canteiro de referência mostrou claramente a contribuição dos canteiros e a constituição do material gerado, tendo-se como principais elementos químicos identificados e que fazem parte dos materiais de construção o Si, Ca, Fe, Al, S e K.
- c) Fatores externos e dos canteiros de obra: foram identificados os seguintes fatores que causaram variações nos resultados como o layout do canteiro, a distância entre os pontos de coleta e a construção, proximidade dos pontos de coleta e atividades, distância entre pontos de coleta, altura das construções e contribuições externas.

Comparando-se os resultados apresentados pelos diferentes canteiros, inclusive o canteiro referência, nota-se a dificuldade em estabelecer um padrão no comportamento do MP gerado pelos canteiros, uma vez que existem diversos fatores, como já apresentados, que influenciam nos resultados. Foram encontradas as seguintes faixas de valores para as frações PTS mínimo num intervalo de 350 a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máxima de 700 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para a fração MP10 o mínimo obtido ficou numa faixa de 150 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máxima de 280 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para um período de 8 horas diárias.

A proposta apresentada no estudo de referência, Araújo (2014) para realização de estudos em canteiros menores (uma torre) visando obter maior controle dos dados levantados, não foi verificada neste estudo, visto a variabilidade de fatores que foram identificados naquele estudo e que se reproduziram neste. Foi verificada neste estudo, assim como no estudo de referência, alta complexidade para se estabelecer uma correlação entre os resultados obtidos nos canteiros, pois embora se tenha estabelecido uma fase específica da obra, foi percebido que cada canteiro apresenta particularidades que de uma forma ou de outra diferenciam os resultados, bem como as inúmeras variáveis identificadas. É necessário um estudo mais abrangente, que contemple maior número de amostras e que além do período de atividades efetivas, contemple também o período da obra parada, para que se possam diferenciar os diferentes níveis de concentração de MP gerado pelo canteiro.

O método de amostragem da poeira sedimentável, o *Sticky Pad System*, não se configurou como uma ferramenta eficaz para retratar de forma fiel os níveis de concentração de material particulado gerado pelos canteiros, pois é um método vulnerável, suscetível a influências diversas dentro do canteiro, tais como o manuseio incorreto das amostras, conservação das amostras e períodos de pluviosidade, bem como aos locais de posicionamento dos mesmos e proximidade das atividades. Várias amostras foram perdidas durante o período de amostragem, ora em decorrência do manuseio indevido, ora em períodos de muita pluviosidade ou por serem derrubados durante a execução das atividades. Com relação aos resultados apresentados pelos diferentes métodos de coleta, *MiniVols* e *Sticky Pads*, não foi identificado nenhum padrão de correspondência, evidenciados pela análise de correlação. Desta forma conclui-se que estes dois métodos são diferentes e não há relação entre os seus resultados.

Com relação ao método de amostragem com os *MiniVols*, foi verificada a necessidade de mais de um aparelho por fração de MP nos pontos de coleta, visto a possibilidade de ocorrência de problemas com os mesmos e a inviabilidade da amostragem no respectivo dia. Foi percebida também a necessidade de uma estação meteorológica para cada ponto de coleta (entrada e saída do canteiro), visto a variabilidade das variáveis meteorológicas e a sua importância no entendimento do comportamento do MP.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Quanto às dificuldades encontradas para desenvolvimento da pesquisa pode ser citada a dificuldade de encontrar canteiros de obras na fase do estudo, especificamente a obra bruta; dificuldade em adequar os critérios estabelecidos no protocolo de coleta com a realidade de cada canteiro; a impossibilidade de realização das análises física e química na UFBA, o que resultou no retardamento dos resultados e a possibilidade de perda e extravio das amostras enviadas; dificuldade para transportar os andaimes e equipamentos para os canteiros, o que resultou em atraso das amostragens. Além disso, a ausência de técnico que garantisse a manutenção e calibração dos aparelhos foi observada, pois vários dias de amostragem foram perdidos devido aos problemas apresentados pelos aparelhos.

Por fim, este estudo apresentou um panorama de observações sobre a influência dos canteiros de obra sobre a qualidade do ar na sua vizinhança. O monitoramento da qualidade do ar no entorno das construções deve ser uma questão contínua de pleno estudo e monitoramento, dados os impactos e transtornos que as atividades de construção causam a vizinhança da obra. A fim de complementar os resultados obtidos, outros estudos voltados à medição do material particulado em canteiros de obras devem ser desenvolvidos.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para estudos futuros ficam as seguintes sugestões:

- a) Monitorar o nível de MP gerado pelos canteiros de obras em diferentes períodos do ano (secos e úmidos) para que se possa diferenciar o comportamento do MP nas diferentes estações;
- b) Realizar o monitoramento no período de 24 horas, divididas em intervalos de efetiva atividade no canteiro e períodos de obra parada para avaliação da real contribuição do MP gerado;
- c) Realizar o monitoramento das concentrações do material particulado não só dentro do canteiro, como também, nas vizinhanças das obras para que se possa conhecer os incômodos causados e seus possíveis danos à saúde e ao ambiente.
- d) Estimar a taxa de emissão do material particulado gerado pelo canteiro, buscando isolar a influência de outras variáveis, por meio de monitoramento por pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRMETRICS. **Minivol Operation Manual**. Eugene, OR, United States, 2011. Disponível em <<http://www.airmetrics.com>>.

ALBUQUERQUE, T.T.A. Distribuições 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. Universidade de São Paulo- USP, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG, Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA. São Paulo, 2005. 117p.

ALGRANTI, E.; CAPITANI, E. M. de; & BAGATIN, E. **Sistema respiratório. In: Patologia do trabalho**. Rio de Janeiro: Atheneu, 1995. p. 89-137.

ALMEIDA, I. T. de. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração à céu aberto**. São Paulo, 1999. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Minas. 194p.

AMORIM, W.B., 2004. **Monitoramento da concentração e caracterização de material particulado suspenso na atmosfera**. Campinas, SP. Tese de doutorado, 165p.

ARAUJO, I.P. S. **Metodologia para Avaliação e Redução de Impactos Ambientais causados pela emissão de material particulado de canteiros de obras habitacionais com foco no impacto à vizinhança da obra**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de Salvador – Ba, 2014. Departamento de Construção e Estruturas. Pesquisaem andamento.

ARAUJO, I. P. S.; MORAES, R.de; COSTA, D. B. **Identification and Characterization of Particulate Matter Concentrations on Construction Site**.In: ZEMCH, 2014, LONDRINA. Zero Energy Mass custom Homes - ZEMCH 2014 InternationalConference, 2014, 2014. v. 1.

ARAUJO, V. M.; CARDOSO, F. F. **Proposta metodológica para avaliação da sustentabilidade de canteiros de obras**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, Fortaleza. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2008.

ARAUJO, V. M. **Praticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiros de obras**. 2009. 228 p.. Dissertação (Mestrado Departamento de Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Pulo, 2009.

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>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001:1996. Sistemas de Gestão Ambiental – Especificação e Diretrizes para o uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental** – Requisitos com orientação e para uso. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIA NORTE I PR (APROMAC) e INSTITUTO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (PROAM) - Relatório de Pedido de Vista Processo: 02000.002704/2010-22 Resumo: **REVISÃO DA RESOLUÇÃO CONAMAN° 03/90**, p. 9-10, 2014.

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. P. 271-308.

ASSUNÇÃO, J. V.; HASEGAWA, P T. **Geração Termelétrica com Turbinas a Gás Natural e seu Impacto na Qualidade do Ar**. Workshop: “Geração Termelétrica a Gás Natural”, promovido pelo IBAMA e PETROBRAS, Porto Alegre-RS, jun 2001.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 5ª ed. Revisada, 2007.

BARBOSA, A. M. **Caracterização elementar sazonal do MP10 e a Influência das Condições Meteorológicas em Cuiabá - MT**. Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente. Cuiabá-MT, março de 2007. 104 p.

BEAMAN, A.L. & KINGSBURY, R.W.S.M. (1981), “Assessment of nuisance from deposited **dust particulates using a simple and inexpensive measuring system**”, Clean Air, Vol.11, No.2, p.77-81

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em abril de 2014.

BURNETT, R.T.; THUN, M.J.; CALLE, E.E.; KREWSKI, D.; ITO, K. et. al. **Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution**. JAMA, 2002, 287(9): 1132-41.

CARDOSO, F.F.; ARAÚJO, V.M. **Levantamento do estado da arte: Canteiro de obras. Projeto Finep 2386/04**. Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007. 38p. Disponível em: <http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/>

CARVALHO, L.S. **Concentrações de metais e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos associados ao material particulado atmosférico e fluxo de deposição seca em Salvador-Ba**. Tese de Doutorado. Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal da Bahia. Salvador-Ba, 2008.

CPEA (Consultoria, Planejamento e Estudos Ambientais) – Plano Integrado Porto-Cidade, São Sebastião-SP. Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais, Cap. 8. 2009. P.13.

CEQA Guide. Construction **Generated Criteria Air Pollutant and Precursor Emissions**. Chapter 3. Sacramento Metropolitan Air Quality Management District, 2009, p. 1-3.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo 1997**. São Paulo. 1998 (Série Relatórios).

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório da qualidade do ar de São Paulo**. 2004. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp>.

CHEN, B.; CHEN, J.; ZHAO, J. & ZHANG, F. (2011) **Particulate Air Pollution from Combustion and Construction in Coastal and Urban Areas of China**, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61:11, 1160-1165. <http://dx.doi.org/10.1080/10473289.2011.603995>

CHOW, J. C. **Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles**. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 45, p. 320-382, 1995.

CHOW, J. C.; WATSON, J. G.; KUHNS, H.; ETYEMEZIAN, V.; LOWENTHAL, D. H.; CROW, D.; KOHL, S. D.; ENGELBRECHT, J. P.; GREEN, M. C. **Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study**. *Chemosphere*, v. 54, p. 185-208, 2004

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

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

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. 1989. **Resolução Conama nº 005**. Disponível em: <www.mma.conama.gov.br/conama>

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

COUNTESS ENVIRONMENTAL 4001 WHITESAIL CIRCLE. **WRAP Fugitive Dust Handbook**. Westlake Village, CA 91361 (WGA Contract No. 30204-111), Sep/2006.

DALY, A., and P. ZANNETTI, P., 2007, **An Introduction to Air Pollution – Definitions, Classifications, and History**. Chapter 1 of AMBIENT AIR POLLUTION (P. Zannetti, D. Al-Ajmi, and S. Al-Rashied, Editors). Published by The Arab School for Science and Technology (ASST) (<http://www.arabschool.org.sy>) and The EnviroComp Institute (<http://www.envirocomp.org/>).

DEGANI, C.M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DIOCIAIUTI, M.; BALDUZZI, M.; DE BERARDIS, B.; CATTANI, G.; STACCHINI, G.; ZIEMACKI, G.; MARCONI, A.; PAOLETTI, L. **The Two PM_{2.5} (Fine) and PM_{2.5-10} (Coarse) Fractions: Evidence of Different Biological Activity**. *Environ. Res. Sect. A* 2001, 86, 254–262.

DOCKERY, D.W., POPE, A.C., XU, X., SPENGLER, J.D., WARE, J.H., FAY, M.E., et al., 1993. **An association between air pollution and mortality in six US cities**. *N. Engl. J. Med.* 329, 1753–1759.

DRAFT - **Summary of PM Report | 2012** | Bay Area Air Quality Management District.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET e-ISSN 2236 1170 - V. 18 n. 1 Abr 2014*, p. 66-78. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010537>

ELEMENTOS QUÍMICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL (2011). *TrabalhosFeitos.com*. <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Elementos-Químicos-Na-Constru%C3%A7%C3%A3o-Civil/102874.html>.

ENVIRONMENT AGENCY – **Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities**. Technical Guidance Document (Monitoring) M17. March 2004. Disponível em: www.environment-agency.gov.uk.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Center. **Integrated pollution prevention and control reference document on best available techniques in the ceramic manufacturing industry**. Seville: IPTS, December, 2006. 230 p. (MB/FS/EIPPCB/CERBREF-final). Disponível em: <http://eippcb.jrc.es>

FELICIANO M.; GONÇALVES A.; GOMES P.; CARDOSO A.; ARAÚJO R. **Partículas em Suspensão na Praça Camões (Bragança), durante a Construção do Parque de Estacionamento**. 8ª Conferência Nacional de Ambiente. Lisboa, 2004. <http://hdl.handle.net/10198/6473>.

FERNANDES, Rafael Pol. Informativo Técnico 3M do Brasil Ltda. **Problemas Respiratórios (Materiais Particulados)**. Vol 1. Edição 21. Janeiro, 2005.

FERRIS, B. G.; SPEIZER, F. E.; SPENGLER, J. D.; DOCKERY, D.; BISHOP, Y. M. M.; WOLFSON, M.; HUMBLE, C. **Effects of Sulfur Oxides and Respirable Particles on Human Health. Methodology and Demography of Populations in Study**. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1979, 120,767–779.

[FUNDACENTRO]. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **Diretrizes sobre Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho**. São Paulo, 2005.

[FUNDACENTRO]. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **Sílica e Silicose**. Disponível em http://www.fundacentro.gov.br/SES/silica_base_2.asp?D=SES.

GANGOLELLS, M.; CASALS, M.; GASSÓ, S.; FORCADA, N.; ROCA, X.; FUERTES, A. **A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings**. *Building and Environment*, v 44, n 3, p 558-571, March 2009. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.05.001

GAUDERMAN, W.J., AVOL, E., GILLILAND, F., VORA, H., THOMAS, D., BERHANE, K., MCCONNELL, R., KUENZLI, N., LURMANN, F., RAPPAPORT, E., MARGOLIS, H., BATES, D., PETERS, J., 2004. **The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age.** *New England Journal of Medicine* 351, 1057e1067.

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M.; ALBERTI, M. E.; NEWTON, S. A. Planejamento e Gestão de Obras: Um Resultado Prático da Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. 1ª edição. Curitiba: Editora CEFET-PR, 2002.

GEHLEN, J. **Aplicando a Sustentabilidade e a Produção Limpa aos Canteiros de Obras** – Brasília, 2008. Universidade de Brasília.

GERASOPOULOS, E.; KOULOURI, E.; KALIVITIS, N.; KOUVARAKIS, G.; SAARIKOSKI, S.; MAKELA, T.; HILLAMO, R.; MIHALOPOULOS, N. **Size-Segregated Mass Distributions of Aerosols over Eastern Mediterranean: Seasonal Variability and Comparison with AERONET Columnar Size-Distributions.** *Atmos. Chem. Phys.* **2007**, *7*, 2551–2561.

GODISH, T. **Air quality.** 2nd ed. Chelsea, Michigan: Lewis, 1991.

GOELZER, B. I. F. Introdução à tecnologia de controle em saúde ocupacional. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE EXPOSIÇÃO À SÍLICA. Curso de prevenção e controle de riscos/poeiras, 2000. Curitiba: [s.n.], 2000.

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, Gilbratar, 2010. 21p.

GUERREIRO, L.L.N.; VASCONCELLOS, P.C.; SOLCI, M.C. – **Poluentes Atmosféricos da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão.** Revista Virtual de Química. ISSN 1984 6835, Vol. 3, Número 5. Novembro, 2011.

GUIDANCE NOTE CONSTRUCTION SITES – LONDON COUNCILS – MODULE 3. Local Government. **Air Quality Toolkit.**

GUIMARÃES, M. S. O. **Diretrizes para desenvolvimento de canteiro de obras habitacional de baixo impacto ambiental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; Salvador, 2013. 234 f:

HEI Perspectives. Understanding the health effects of components of the particulate matter mix: progress and next steps. Boston, 2002. 20p. Disponível em: http://www.healtheffects.org/pubs/Perspective_1. Acesso em 18/09/2014.

HINDS, W.C, 1999. Aerosol Technology; properties, behavior and measurement airborne particles. 2nd edition, John Wiley& Sons, Inc. 483p.

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

JACOBI, Pedro Roberto. **Meio Ambiente e Sustentabilidade.** São Paulo, 1999.pp. 175-184.

JOHNSON, K. S.; ZUBERI, B.; M., L. T.;MOLINA, M. J.; IEDEMA, M. J.; COWIN, J. P.; GASPAR, D. J.;WANG, C.; LASKIN, A. **Processing of Soot in an Urban Environment: Case Study from the Mexico City Metropolitan Area.** *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **2005**, *5*, 5585–5614.

KADO, N.Y, KUZMICKY, P.A. 2003. **Bioassay analyses of particulate matter from a diesel bus engine using various biodiesel feedstock fuels. Final Report.** Report 3 in a series of 6. National Renewable Energy Laboratory U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, Oak Ridge, TN USA. Available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/31463.pdf>. Accessed on 12 August 2013.

KELLY, F.J., FUSSELL, J.C., 2012, **Size source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter.** *Atmospheric Environment* *60*. pp. 504-526.

KETZEL, M.; WAHLIN, P.; KRISTENSSON, A.; SWIETLICKI, E.; BERKOWICZ, R.;NIELSEN, O. J.; PALMGREN, F. **Particle Size Distribution and Particle Mass Measurements at Urban, Near-City and Rural Level in the Copenhagen Area and Southern Sweden.** *Atmos. Chem. Phys.* **2004**, *4*, 281–292.

KOCBACH,A.; LI,Y.; YTTRI, K. E.;CASSEE, F. R.; SCHWARZE, P. E.; NAMORK,E. **Physicochemical Characterisation of Combustion Particles from Vehicle Exhaust and Residential Wood Smoke.***Part. FibreToxicol.* **2006**, *3*, 1.

KREWSKI, D., BURNETT, R.T., GOLDBERG, M.S., HOOVER, K., SIEMIATYCKI, J.,ABRAHAMOWICZ, M., WHITE, W.H., 2000. **Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality.** Health Effects Institute, Boston.

KUKADIA, V.; UPTON, S.; HALL, D. **Control of dust from construction and demolition activities.** Londres: **BRE e DTI**, 2003.50p.

LIMA, M.; TEIXEIRA, M. M. **Características da poeira do processo de fabricação de materiais cerâmicos para revestimento: estudo no pólo de Santa Gertrudes / Maria Margarida Teixeira Moreira Lima - Campinas, SP: [s.n.], 2007**

LISBOA, H. D. M.; KAWANO, M. **Controle da Poluição Atmosférica. Capítulo IV. Monitoramento de PoluentesAtmosféricos, 2007.** 73p.

LORENZO, R.; KAEGI, R.; GEHRIG, R.; GROBETY, B. **Particle Emissions of a Railway Line Determined by Detailed Single Particle Analysis** *Atmos. Environ.* **2006**, *40*, 7831–7841.

LYRA, D. G. P. de. **Modelo integrado de gestão da qualidade do ar da região metropolitana de Salvador.** São Paulo, 2008. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Química. 233p.

MACHADO, V. B. **Identificação das fontes de material particulado fino (MP2,5) de Porto Alegre.** Dissertação de Mestrado – Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas – São Paulo, 2012. 115p.

MAIOLI, B. G. **Quantificação e caracterização do material particulado fino (MP_{2,5}) na Região Metropolitana da Grande Vitória, ES.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico – 2011.118p.

MALM, WC, SISLER, JF, HUFFMAN, D., ELDRED, RA AND CAHILL, TA (1994). **Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States.** *Journal of Geophysical Research* **99**: Doi: 10.1029/93JD02916.

MARTINS, L. A. **A Temperatura do Ar em Juiz de Fora – MG: Influência do Sítio e da Estrutura Urbana.** – Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP – Rio Claro, 1996, 168p. Dissertação (Mestrado em Geografia)

MARTINS, D. F. **Sustentabilidade no canteiro de obras,** Rio de Janeiro, 2010: UFRJ/Escola Politécnica. 100.

MARTINS, A R. B. **Caracterização e avaliação de poeiras presentes em canteiros de obras de edifícios verticais,** Recife, 2009.200p. Dissertação (Pós-Graduação) – Escola Politécnica de Pernambuco.

MASTALERZ, M.; GLIKSON, M.; SIMPSON, R. W. **Analysis of Atmospheric Particulate Matter; Application of Optical and Selected Geochemical Techniques.** *Int. J. Coal Geol.* **1998**, *37*, 143–153.

MILFORD, J.B., DAVIDSON, C.I., 1985. **The Size of Particulate Trace Elements in the Atmosphere.** A Review, *Journal of the Air Pollution Control Association*, *35*:12, 1249-1260, 10.1080/00022470.1985.10466027. <http://dx.doi.org/10.1080/00022470.1985.10466027>.

MULESKI , GREGORY E. ; COWHERD, CHATTEN JR. & KINSEY, JOHN S. (2005) **Particulate Emissions from Construction Activities,** *Journal of the Air & Waste Management Association*, *55*:6, 772-783. <http://dx.doi.org/10.1080/10473289.2005.10464669>

MUELLER-ANNELING, L.; AVOL, E.; PETERS, J. M.; THORNE, P. S. **Ambient Endotoxin Concentrations in PM₁₀ from Southern California.** *Environ. Health Perspect.* **2004**, *112*, 583–588.

MUÑOZ, I.S.C.; PALACIOS, J.C.M. **Gestión em el control de emisiones difusas em la actividad de la construcción.** Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Geográfica. Santiago, 2001.

NASCIMENTO FILHO, V. F., **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios x por dispersão de energia (EDXRF) e por reflexão total (TXRF).** Piracicaba: ESALQ/CENA/USP, (Apostila) 33p, 1999.

NETO, V. E. M. M. **Poeira, um problema invisível na construção civil.** Engenharia, 2007. 104-108p. Disponível em: www.brasilengenharia.com.br.

OFORI G, B. C., GANG G, RANASINGHE M. (2000). **Impacts of ISO 14000 on construction enterprises in Singapore.** *Construction Management and Economics*, Vol. 18, No. 8, 935–947.

OMS - Organización Mundial de la Salud. Calidad de laire salud (2006). Disponível em: <<http://www.who.int>>. Acessado em 28/03/2014.

PACYNA, J.M. **The origin of arctic air pollutants: lessons learned and future research.** Science of the Total Environment, v.160 - 161, p.39 - 53, 1995.

PEIXOTO, N. H.; FERREIRA, L.S. **Higiene ocupacional III** – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, 2013. 152 p. :il. ; 28 cm ISBN 978-85-63573-45-2.

POPE, C. A.; DOCKERY, D. W. **Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines That Connect.** *J. Air Waste Manage. Assoc.* 2006, 56, 709–742.

POZZA, S. A. **Características temporais da concentração de material particulado na atmosfera da Cidade de São Carlos – SP/São Carlos.** Tese (Doutorado): UFSCar, 2009.141f.

PRYOR, S. and D. STEYN. (1994). **Visibility and Ambient Aerosols in Southwestern British Columbia during REVEAL.** Prepared for the Air Resources Branch, Ministry of Environment Lands and Parks, Victoria, BC.

QUEIROZ, P. G. M.; JACOMINO, V. M. F.; MENEZES, M. A. B. C. **Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais.** Química Nova. V. 30, no 5, p. 1233-1239, 2007.

RESENDE, Fernando. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: Avaliação e Controle nos canteiros de obras de Edifícios, São Paulo, 2007.** 232p.

RESENDE, F.; CARDOSO, F.F. **Gestão da emissão de material particulado no canteiro de obras de edifícios.** V Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Campinas, 2007.

_____. **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.

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

SADLER CONSULTANTS. Construction and its impact on Air Quality Exceedances in the UK. Disponível em: <http://www.airquality_policy.co.uk>.

SANTANA, Eduardo; CUNHA, Kamyla Borges da; FERREIRA, André Luis; ZAMBONI, Ademilson. Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia. Instituto de Energia e Meio Ambiente, São Paulo 2012.

SANTIAGO, A. **Material Particulado total suspenso na baixa atmosfera em Cuiabá – MT, 2013.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. 97 f.

SANTOS, A. M. dos A. XXIV Curso de especialização em medicina do trabalho. **Agentes Químicos Poeiras**. Departamento de Medicina Social, São Paulo, 2003. Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo, 2003.

_____. **O Tamanho das Partículas de Poeira Suspensas no Ar dos Ambientes de Trabalho**. Adaptação da Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, 96 p, 2001.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, N. S., 2006. **Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change**. USA: Wiley – Inter science Publication.

SHI, Z.; SHAO, L.; JONES, T. P.; WHITTAKER, A. G.; LU, S.; BERUBE, K. A.; HE, T.; RICHARDS, R. J. **Characterization of Airborne Individual Particles Collected in an Urban Area, a Satellite City and a Clean Air Area in Beijing**, 2001. *Atmos. Environ.* **2003**, *37*, 4097–4108.

SILLANPÄÄ, M. **Chemical and Source Characterisation of Size- Segregated Urban Air Particulate Matter**; Finnish Meteorological Institute: Helsinki, 2006.

SONDREAL, E. A.; BENSON, S. A.; PAVLISH, J. H.; RALSTON, N. V. C. **An Overview of Air Quality III: Mercury, Trace Elements, and Particulate Matter**. *Fuel Process. Technol.* **2004**, *85*, 425–440.

SUN, J.; ARIYA, P. A. **Atmospheric Organic and Bio-Aerosols as Cloud Condensation Nuclei (CCN): A Review**. *Atmos. Environ.* **2006**, *40*, 795–820.

TECER, LOKMAN HAKAN; SÜREN, PINAR; ALAGHA, OMAR; FERHAT KARACA & TUNCEL, GÜRDAL (2008) **Effect of Meteorological Parameters on Fine and Coarse Particulate Matter Mass Concentration in a Coal-Mining Area in Zonguldak, Turkey**, *Journal of the Air & Waste Management Association*, *58*:4, 543-552. <http://dx.doi.org/10.3155/1047-3289.58.4.543>.

THOMAS, N. I. R. **Implantação de canteiros de obra sustentáveis - Case da Nova Sede Sinduscon-BA**. xxx f. il. 2013. Monografia (Curso de especialização em Gerenciamento de Obras) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

UNIÃO EUROPÉIA - UE. **Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa**. Jornal Oficial da União Europeia de 21 de Maio de 2008.

USEPA - 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 (SLAMS)**. Draft Report, n°. EPA-454/R-98-005, United States, Apr. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/pm/>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air Quality Criteria for Particulate Matter**. 2004 (EPA/600/P-99/002aF). 900p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). **Guidelines for the application of SEM/EDX analytical techniques to particulate matter samples**. National Exposure Research Laboratory. Office of Research and Development, 2002. (EPA # 600/R-02/070).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. US. EPA (2006) – **PM Standards Revision 2006**. Disponível em: <www.epa.gov/pm/naaqsrev2006.html>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME / WORLD HEALTH ORGANIZATION. **GEMS/AIR methodology review handbook series**. Nairobi, UNEP / Genova, WHO, 1994. V.3; Measurement of suspended particulate matter in ambient air.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC) (2001). **Leadership in Energy and Environmental Design**—Rating System Version 2.0. U.S. Green Building Council.

VAHLSING, C.; SMITH, K. R. **Global review of national ambient air quality standards for MP10 and S02(24h)**. *Air Quality, Atmosphere and Health*, v. 5, n.4, p. 393 - 399, 2012.

VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F. de; PINATTI, D. G. **Caracterização de massacrâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campo de Goytacazes – Rio de Janeiro**. *Cerâmica*(online). São Paulo, 2000, v. 46, n. 297. ISSN 0366-6913.

WETHERILL, M., REZGUI, Y., BODDY, S. AND COOPER, G. S. (2007). **Intra- and Interorganizational Knowledge Services to Promote Informed Sustainability Practices**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 21, No. 2, 78-89.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide**. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva, 2006.

_____. **Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution**. 2006, 113p. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/document/E88189.pdf>> Acesso em: 10 de Nov. 2014.

WILLEKE K & BARON PA. 1993. **Aerosol Measurement: Principles, Techniques and Applications**. New York, Van Nostrand Reinhold Co., 875 pp.

Endereços Eletrônicos na Internet

European Environment Agency air quality website:

http://themes.eea.eu.int/Environmental_issués/air_quality

<http://www.hanby.co.uk/>

Poluição do ar, pag 4, disponível em: www.engenharia.com.br

Poluição do ar, disponível em: www.portalsaofrancisco.com.br

Poluição Atmosférica, disponível em: www.gpa.com.br/controlé

Qualidade do ar – CETESB – Poluentes-Padrões/Índices, disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/

Estudos da Qualidade do ar – BRE (2003), disponível em: www.bre.co.uk/page.jsp?id=2261

ANEXO A

- **Protocolo de Coleta do Material Particulado**

Tecnologia para Canteiro de Obras Sustentável em Habitação de Interesse Social

CANTECHIS

Subprojeto Desenvolvimento de soluções para redução da emissão de materiais particulados em canteiros de obras de Habitação de Interesse Social.

Diretrizes para monitoramento da Emissão de Material Particulado -Cantechis

Neste documento está, parcialmente, delineada a proposta das diretrizes para monitoramento da emissão de material particulado nos canteiros de obra a serem estudados no Projeto CANTECHIS. O objetivo é estabelecer procedimentos que padronizem as atividades desde a fase de preparação em laboratório, de seleção e escolha dos canteiros, na fase de coleta das amostras e encaminhamento das amostras para laboratório, bem como desmobilização da estrutura necessária.

A importância da uniformização dos procedimentos favorece a comparação dos resultados obtidos entre canteiros de obra do mesmo estado, bem como dentre os estados participantes, além de todas as opções citadas no projeto (a exemplo das etapas construtivas, entre outras).

A existência de possíveis discrepâncias e interferências entre as quantidades de material particulado coletado pelo equipamento de monitoramento e sua variação mineralógica capturada tem acentuada contribuição pela pouca ou nenhuma semelhança entre os canteiros de obra escolhidos para o monitoramento.

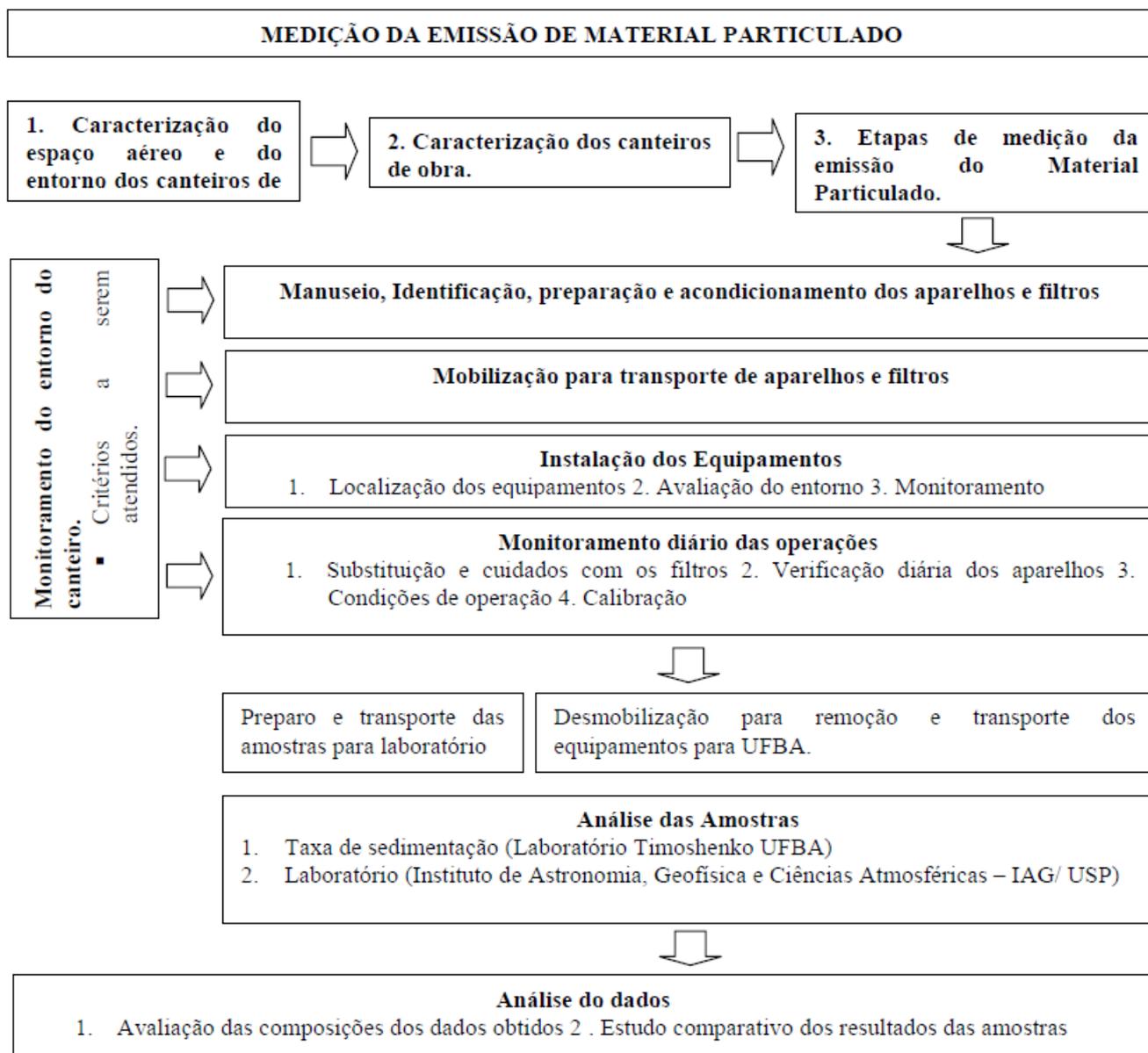
Essas interferências estão assim associadas:

- a. O Espaço aéreo caracterizado interfere na Magnitude e na variação das partículas coletadas 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 “micro” ou de 0,1 km.
- b. Os dados dos canteiros 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 diretrizes estão divididas em cinco grupos: **caracterização do espaço aéreo e entorno dos canteiros de obras, caracterização do canteiro de obras, etapas de**

laboratório anterior ao monitoramento de material particulado, etapas de monitoramento em canteiro de obras e etapas de laboratório posterior ao monitoramento de material particulado. Ver fluxo na Figura 1 a seguir.

Figura 1 - Fluxo de Atividades



2. Caracterização dos canteiros de obras

A seguir serão descritos os critérios de seleção dos canteiros de obras.

2.1 Critérios mínimos de seleção dos canteiros

- a) Edificação em área urbana, dentro da região metropolitana. (Observar obstruções para ventos – prédios vizinhos, relevo, etc., quanto maior ventilação, melhor para medições).

- b) Terreno com área superior a 1.500 m²
- c) Uso residencial
- d) Edifício multi-pavimentos, acima de 8 pavimentos
- e) Serão realizados 10 dias de amostragem em dias úteis e 01 dia de obra parada (brancos) para verificar a interferência externa.

OBS: A equipe da pesquisa avaliará em conjunto com a construtora das obras selecionadas, quais delas melhor atingem o objetivo da pesquisa.

3. Etapas para medição da emissão de material particulado nos canteiros de obra

3.1 Etapas de Laboratório anterior ao monitoramento de material particulado (Preparação para amostragem em canteiro).

3.1.1 Manuseio e identificação dos filtros (Preparação dos filtros)

Em primeiro lugar deve haver a inspeção dos filtros para verificar a integridade dos mesmos. Esta verificação deve ser realizada antes da realização de qualquer atividade e deve seguir as seguintes recomendações:

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 a usada em checagens de raios-X). Deve-se procurar principalmente pelos seguintes defeitos:

- a) ***Furinhos*** - um furo pequeno, aparecendo como um ponto de luz distinto e obviamente brilhante, quando examinado sobre uma mesa ou tela luminosa, ou como um ponto escuro, quando observado sobre uma superfície negra.
- b) ***Material solto*** - qualquer outro material solto ou partículas de poeira no filtro, que deva ser removido antes da pesagem do filtro. Utilize uma escova bem macia para a remoção.
- c) ***Descoloração*** - qualquer descoloração obviamente visível, que possa ser evidência de contaminação.

- d) *Não uniformidade do filtro* - qualquer não uniformidade obviamente visível na aparência do filtro, quando observada sobre uma mesa luminosa ou superfície negra, que possa indicar gradações da porosidade através da face do filtro.
- e) *Outros* - um filtro com qualquer imperfeição não descrita acima, tal como superfícies irregulares ou outros resultados de pobre fabricação.
- f) Após realização da inspeção os filtros devem ser identificados por sequência de números. Ex: FQ 91, FQ 92, etc.

3.1.2 Verificação dos aparelhos e das condições de operação

I. Preparação de equipamentos e filtros

Os MiniVols deverão ser calibrados e verificados quanto a ocorrência de possíveis vazamentos, conforme orientação no manual do aparelho.

Para determinar a vazão inicial de cada aparelho é necessário que seja realizado um ajuste de vazão seguindo a tabela de vazões indicadas de cada aparelho para determinação da vazão correspondente lida no aparelho. Esses valores devem ser colocados em uma curva de regressão para determinação da vazão inicial de cada aparelho.

Para verificar se há vazamentos no MiniVol remova o conjunto do suporte impactador / filtro do tubo de entrada. Certifique-se que o tubo de entrada está completamente estendido e se o ajuste de compressão está apertado. Cobrir o tubo de entrada de ar com a palma da mão enquanto a bomba está em execução. A bola no medidor de vazão deve cair para zero e lá permanecer sem movimento.

II. Pesagem dos filtros e acondicionamento

- a) Deveser realizada a eliminação da carga estática dos filtro, para depois proceder a pesagem dos mesmos.
- b) Deve haver a pesagem de filtros e dos “brancos de campo” - Brancos de campo são filtros pesados, mas não amostrados, que foram levados até os locais de amostragem e retornados para as condições de acondicionamento, utilizados para determinar uma possível contaminação ou perda de material durante o processo de transporte/manuseio dos filtros.
- c) A cada 10 filtros amostrados um branco de campo será realizado.

- d) Cada filtro deve ser pesado 3 vezes para obtenção da massa média, antes e após a coleta.
- e) As condições de equilíbrio do ambiente de pesagem deve ter uma 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, esse controle é realizado com a ajuda de um termohigrometro. Cabe ressaltar que as pesagens são realizadas antes e após a amostragem.
- f) As pesagens devem ser realizadas na mesma balança analítica, e de preferência pelo mesmo analista.
- g) O número do lote dos filtros devem ser anotados, assim como a identificação de cada filtro também deve se realizada.

Etapas do monitoramento de material particulado em canteiro de obras

3.2 Mobilização para transporte dos equipamentos e filtros para monitoramento

3.2.1 Condições de transporte

Os filtros limpos devem ser identificados antes de seguir para o canteiro, assim como as suas respectivas placas petri. Assim seguem os filtros e placas petri armazenados nos cassetes, e os cassetes no cooler, de forma a garantir as condições de equilíbrio de temperatura e ambiente.

3.3 Instalação dos equipamentos

Na identificação dos locais para instalação dos equipamentos devemos levar em consideração os locais críticos que representem fontes potenciais de emissão, a existência de população residente e trabalhadores na área.

3.3.1 Localização dos equipamentos (Exigências de localização da US EPA)

Os equipamentos devem ser localizados em:

- a) Área aberta e plana(s) com semelhança estrutural e ausência de proximidade com arranha-céus em pelo menos três dos quadrantes direcionais do equipamento;

- b) Distâncias adequadas (igual ou maior que 25 metros) de atividade industrial pesada, as principais vias de circulação arterial e outras grandes fontes de emissão de partículas primárias;
- c) o canteiro deve estar em geral a favor do vento e as atividades para emissoras no canteiro devem garantir o prazo de exposição às condições de vento predominante e das plumas de poluição;
- d) observar a possibilidade de pouca alteração dos dados de concentração de partículas em decorrência de fonte de emissão muito localizada;
- e) garantir distâncias (iguais ou mais próximas) a partir de fontes localizadas como medida para reduzir as interferências nos níveis medidos.
- f) O fluxo de ar em redor do amostrador deve ficar livre pelo menos 270° de qualquer obstrução;
- g) o amostrador deve ser colocado longe de vegetação e onde se tenha boa circulação de massa de ar;
- h) a estação meteorológica deve ser instalada, no mínimo, 05 dias antes das medições para determinação do vento predominante que impacta no canteiro.
- i) Deverá ser previsto espaço para locação de 02 estações de medição de MP em lados opostos do canteiro conforme ventos predominantes.
- j) A instalação dos amostradores na plataforma deve obedecer a uma altura de 3,20 metros.

3.3.2 Avaliação do entorno

As informações sobre o uso e ocupação do solo são importantes para avaliação das interferências internas e impactos: área residencial, comercial ou mista.

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

3.3.2.1 Espaçamento de árvores e edifícios

- a) As árvores podem obstruir o fluxo de vento. O material particulado pode também se depositar na superfície da folha ou ter sua emissão potencialmente favorecida pela presença da árvore. Para reduzir esta interferência é possível recomendar que 90 por

cento do caminho de monitoramento deve ter fluxo livre e a 20 metros de distância da linha de gotejamento de árvores.

b) Outros obstáculos podem obstruir o fluxo de vento normal em torno do amostrador ou do caminho de monitoramento. Para evitar esta possível interferência, o amostrador, deve estar a pelo menos, 90 por cento do caminho de monitorização com fluxo de ar livre e estar longe de obstáculos verticais, de modo que a distância entre o ponto de captação seja de pelo menos duas vezes a altura máxima do obstáculo acima do caminho do amostrador.

3.3.2.2 Afastamento dos equipamentos

- a) Recomendável que 90% do caminho de monitoração deve ter fluxo livre e a 20 metros de distância da linha de gotejamento de árvores.
- b) O caminho de monitoramento com fluxo de ar livre deve estar longe de obstáculos verticais, de modo que a distância entre a sonda seja pelo menos duas vezes a altura máxima do obstáculo acima do caminho do amostrador.
- c) O amostrador deve ficar afastado em no mínimo 20 m de árvores, edifícios ou outros grandes obstáculos. A regra geral é que o amostrador fique afastado de um obstáculo em no mínimo duas vezes a altura do obstáculo com relação à entrada do amostrador;
- d) A altura das estações devem ser mínima de 2 metros acima do solo e máxima de 2 a 3 metros, pois se entende que nesta altura obter-se a uma situação característica de poluição na altura da camada respirável pelo homem.
- e) O equipamento deve estar afastado no mínimo 2 metros na horizontal de qualquer obstáculo, observar que a *cerca de vedação do canteiro pode ser restrição a instalação.*
- f) o amostrador deve ser colocado sobre uma superfície firme e nivelada.

3.4.1 Monitoramento diário do entorno

O pesquisador é responsável pela supervisão do funcionamento das estações de monitoramento, do funcionamento do amostrador, visitas diárias ao local por parte do operador, verificação semanal de alterações na escala espacial (0,1 a 0,5 km), calibração, substituição dos filtros, manutenção preventiva e registro dos dados.

Devem ser observadas as alterações diárias durante o intervalo do monitoramento e após a coleta das amostras.

Canteiro - o entorno deve ser observado de modo a garantir que :

- a) continue a cumprir os critérios de afastamento das atividades industriais pesadas, vias de circulação arterial, fontes de emissão de partículas e/ou retenção como surgimento de edifícios ou crescimento de árvore;
- b) as condições iniciais do monitoramento relativas à faixa de volume de ar continuem sem alteração. Caso contrário considerar as alterações do movimento local (upwind) num raio pré-definido para todos os canteiros:

Deve ser realizado o cadastramento das informações sobre terras desprotegidas, especialmente nas rotas de tráfego mais importantes e a favor do vento na escala espacial média de 100 metros.

3.4.2 Monitoramento diário das operações

3.4.2.1 Substituição e cuidados com o filtro

A troca dos filtros só deve ser realizada em ambientes fechados. Os filtros só podem ser manuseados com as pinças e deve-se ter bastante cuidado durante a troca para armazenamento dos filtros amostrados nas suas respectivas placas de petri identificadas. Outro cuidado que deve-se ter durante o manuseio e armazenamento dos filtros é para não tocar com a mão na tela dos petrislides, evitando assim a sua contaminação.

Para abrir os cassetes será utilizado um dispositivo de separação. Os cassetes devem ser colocados sobre o dispositivo e impulsionados na direção ascendente até que ocorra a abertura do cassete.

A Troca dos filtros será realizada a cada 24 horas exceto finais de semana permanecem expostos 48 horas.

Toda ocorrência que possa alterar a amostra deve ser registrada na ficha de campo. Devem ser identificadas as amostras coletadas na entrada do canteiro e as amostras coletadas na saída. Esta diferenciação é bastante importante para determinação da contribuição de poluição do canteiro.

3.4.2 Verificações dos aparelhos

O MiniVol™ TAS deve ser posicionado com a ingestão para cima e deve estar localizado em uma área desobstruída em pelo menos 30 cm de qualquer obstáculo ao fluxo de ar.

- a) Coloque o amostrador em uma superfície firme e nivelada.
- b) Soltar a porca de compressão e estender o tubo de entrada para a altura máxima e apertar novamente a porca.
- c) Verificação de vazamentos: Para verificar se há vazamentos, remova o conjunto do suporte impactor / filtro do tubo de entrada. Certifique-se que o tubo de entrada está completamente estendido e se o ajuste de compressão está apertado. Cobrir o tubo de entrada de ar com a palma da mão enquanto a bomba está em execução. A bola no medidor de vazão deve cair para zero e lá permanecer sem movimento

3.4.3 Condições de operação

3.4.3.1 Calibração

O MiniVol é calibrado para as condições padrão e ajustado para operar com uma vazão de 5,0L/min, nessas condições. Condição padrão é definida como uma pressão atmosférica de 760mmHg e uma temperatura de 298°k. Em outras localidades, o Minivol deve ser ajustado para contabilizar as diferentes temperatura ambiente e pressão atmosférica. No procedimento de calibração utilizado pela Airmetrics, o medidor de vazão (rotâmetro) é calibrado usando um dispositivo medidor de vazão certificado NIST (National Institute of Standards and Technology), gerando-se uma curva de regressão para calibração do equipamento para diferentes vazões (Airmetrics, 2011).

A cada troca de filtro o amostrador deve ter sua vazão ajustada, caso não coincida com a vazão inicial estabelecida na curva de regressão.

4. Etapas de monitoramento após a coleta das amostras

4.1 Preparo e transporte das amostras para o laboratório

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 em recipientes adequados.

4.2 Desmobilização para remoção e transporte dos equipamentos

Após a finalização das amostragens no canteiro, os equipamentos deverão ser desmontados e armazenados em seus respectivos recipientes, verificando-se a integridade item a item de cada equipamento, de forma a checar a ausência de alguma peça. Feita a verificação dos equipamentos deverá ser desmontada a estrutura de suporte dos equipamentos (andaime), sendo feita a mesma verificação com relação a ausência de partes da estrutura. Todos os itens serão transportados em veículo adequado de uma só vez.

4.3 Preparo e envio das amostras para o IAG/ SP (Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo).

A cada campanha de amostragem o cooler será enviado ao IAG/SP para realização das análises química e físicas. As amostras seguirão armazenadas nas placas petri-identificadas, nos cassetes, e estes dentro do cooler.

4.4 Análise da taxa de sedimentação (Realização UFBA/ Laboratório TIMOSHENCO)

Nesta análise será utilizado o método do StickyPad System ou método de Beaman&Kingsbury, cuja finalidade é medir as partículas incômodas.

O método determina as mudanças em uma superfície quanto à quantidade de poeira depositada durante um período. Isto é feito através de um adesivo branco que é colocado em áreas externas durante um período determinado de tempo, recebendo poeira depositada. Um refletômetro determina a porcentagem de área efetiva do adesivo coberta por poeira num determinado período. Depois o adesivo é levado ao laboratório para determinar suas alterações na refletância.

Análise

O leitor consiste de um cilindro com diâmetro de aproximadamente 65 milímetros de altura x 120 milímetros, 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. Alimentação regulada é alimentada para o dispositivo por uma fonte de alimentação de 13 ampplugtop que requer um fornecimento normal de 230-240 V 50 Hz CA (uma fonte de alimentação alternativa está disponível como uma opção). A Figura 2 ilustra o Refletômetro utilizado para realizar as leituras dos adesivos.

Figura 2 – Refletômetro utilizado para realização das leituras dos Stickypads



Fonte: obtido em <http://www.hanby.co.uk> > (acesso em Novembro de 2014)

O adesivo sob teste é iluminado por três lâmpadas de filamento de tungstênio, perto da extremidade inferior do cilindro, espaçadas de tal forma a dar um brilho uniforme em toda a amostra inteira, embora o fotodiodo, que é usado para medir a degradação do adesivo pad é limitado a ver um disco circular de diâmetro de 6 mm no centro da área iluminada. De acordo com instrumentos semelhantes, a leitura na tela é definida para 100 quando o bloco está limpo, e diminui com o aumento de carga de poeira. Como o dispositivo é linear, uma calibração simples de dois pontos é tudo que é necessário antes de colocar o instrumento para funcionar. Uma leitura é então tomada simplesmente ao colocar a máscara sobre a parte desejada do adesivo, colocando o instrumento na máscara e observando a leitura do medidor.

Devem-se ter alguns cuidados com este método devido a susceptibilidade à perda de poeira na chuva pesada e ventos fortes. Se o adesivo for exposto durante demasiado tempo, então ele pode tornar-se saturado com o pó, uma vez que o pó novo não vai ficar em cima do pó já preso. Períodos de exposição adequados são, geralmente, entre 3 a 5 dias.

O papel suporte é cortado com uma faca ou bisturi de modo a permitir que uma pequena parte deste permaneça no lugar, enquanto remova o restante. Após a exposição, o adesivo deve ser coberto para evitar perda, e devolvido para análise. Recomenda-se que os papéis de suporte originais sejam guardados e utilizados para cobrir a amostra exposta, mas o cuidado deve ser tomado para usar o lado correto do papel de suporte, ou não vai soltar. Os StickyPads devem ser colocados fora do canteiro em locais alto o suficiente para não serem retirados por pessoas não autorizadas.

A unidade de medida não é equivalente a dos outros métodos: ela é registrada em percentual de área efetiva coberta por partículas.

ANEXO B

- Manual de Operações

MANUAL DE OPERAÇÕES

i. RECEBIMENTO DOS EQUIPAMENTOS

- a) MiniVol
- b) Filtros
- c) Placas petri
- d) Tubetes
- e) Cooler

ii. INSTALAÇÃO

1) LABORATÓRIO

Para instalar o filtro:

- a) Selecione um filtro e remova a tampa de petrislide;
- b) Utilizando uma pinça, instalar o filtro no cassete do filtro;
- c) Coloque o cassete do filtro no filtro suporte (placas petri);
- d) Coloque a etiqueta de identificação do filtro suporte (placas suporte);
- e) Coloque o conjunto do filtro limpo no cooler. Manter o conjunto na vertical até a instalação no amostrador.

2) MONTAGEM DO EQUPAMENTO EM CAMPO

Posicionar o MiniVol com a ingestão para cima.

- f) Insira a bateria no amostrador (verificar se a carga da bateria está completa);
- g) Abrir a caixa de amostragem;
- h) Calibrar a bomba de amostragem - Obter a taxa de fluxo de início (ver caudalímetro l/min), lendo o medidor de caudal ($\pm 0,25$ lpm);

O amostrador deve ter sua vazão calibrada de acordo com o local de amostragem. Essa vazão é determinada levando-se em consideração a temperatura e pressão do ambiente de coleta. O

equipamento é projetado para operar a uma taxa de vazão volumétrica real de 5 l/min (AIRMETRICS, 2002).

Para as condições ambientes dos locais de monitoramento, de acordo com os parâmetros meteorológicos, monitorados pela estação meteorológica, são utilizadas as médias de temperatura e pressão do período de estudo, encontrando-se a taxa volumétrica por minuto e verificada a cada troca de filtro.

- i) Verificar o tempo correto e dia da semana no visor. Anotar a hora mostrada no totalizador de tempo decorrido, anotar na ficha de campo;
- j) Verifique se há condições de erro;
- k) Verifique se a entrada de ar do dispositivo de coleta está livre;
- l) Feche a caixa do equipamento;
- m) Ligar a bomba de amostragem;
- n) Verificar se há vazamentos;
- o) Posicionar a estação meteorológica por meio de um tripé;
- p) Anotar data, horário do início da coleta, código do filtro, número da bomba de amostragem (MiniVol) e demais dados em um formulário de registro;
- q) Investigar o processo e as atividades de trabalho que serão realizadas naquele dia, assim como as ocorrências que podem interferir nos resultados durante o período de coleta.

iii. FINAL DA AMOSTRAGEM

- r) Registrar a taxa de fluxo de término;
- s) Desligar a bomba de amostragem depois de concluído o período de coleta e anotar o horário;
- t) Desconectar a bomba de amostragem e, posteriormente, do dispositivo de coleta;
- u) Remover o conjunto do suporte / filtro a partir do tubo de entrada e, em seguida, colocá-lo dentro do cooler. Guardar o porta-filtro com a face amostrada voltada para cima, nos tubets em caixa apropriada para transporte

(cooler), de maneira a evitar o desprendimento do material coletado; O transporte das amostras para o laboratório deve ser feito com muito cuidado, para evitar derramamentos e perdas de amostras em razão dos impactos, desse modo, elas devem ser acondicionadas em embalagens adequadas, revestidas de espuma ou material similar;

- v) Verifique o número de identificação do filtro com o número da ficha de campo;
- w) Transportar o cooler até o laboratório.

iv. ARMAZENAMENTO NO LABORATÓRIO

Passo 1: armazenar as amostras no cooler que será destinado para guardá-las, visto que não se pode deixar no mesmo cooler que foi a campo, para evitar a contaminação e perda das amostras.

Passo 2: Estas atividades anteriormente descritas neste “diário de obra” serão repetidas durante 11 dias de medições, quando completa um ciclo de amostragem.

Passo 3: enviar o cooler completo para o laboratório IAG-USP.

REFERÊNCIAS

1. Air Metrics. **Operation manual. Mini voltm.** Edição 12. Disponível em: <http://www.airmetrics.com>.
2. Ambient Air - **Monitoring Protocol for PM2.5 and Ozone Canada-wide Standards for Particulate Matter and Ozone.** PN 1456. ISBN 978-1-896997-99-5 PDF. © Canadian Council of Ministers of the Environment 2011. Module 3: Guidance note Construction sites. Air quality guidance note.
3. Berman; Kingsburry. **Clean Air**, Vol. 11, N° 2. P 77-81. BS1747**Pt2.
4. CODE OF FEDERAL REGULATIONS (CFR). 40 CFR Part 50 Appendix L. 2010. Disponível em: <http://www.gpoaccess.gov/cfr/index.html>
5. FERREIRA, T.M.; FORTI, M.C.; ALVALA, P.C. **Protocolo para coleta de Material Particulado Atmosférico.** INPE, São José dos Campos, 2012.
6. BELO, P.I.D.; TROFOLI, R. **Quantificação dos níveis de Partículas Finas (MP 2,5) no município de Vitória.** Vitória, 2011.
7. MAIOLI, B.G. **Quantificação e Caracterização do Material Particulado Fino (MP 2,5) na região metropolitana da grande Vitória.** Vitória 2011.

APÊNDICE A

- Diário de Campo

Tabela 27 - Diário de Campo para coleta de dados

Canteiro:			Empresa:	
Hora do início da coleta: 7 h		Hora do final da coleta: 15 h		Data da coleta:
	Amostrador 10μm (Entrada) - 6205	Amostrador 10μm (Saída) - 6207	Amostrador PTS (Entrada) - 6216	Amostrador PTS (Saída) - 6213
Vazão Inicial	4,66	4,53	4,54	4,75
Vazão Final				
Vazão média				
Código do Filtro				
Tempo Inicial				
Tempo Final				
Obs:				

APÊNDICE B

DADOS DO CANTEIRO 1

- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período 1**
- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período de Coleta**

APÊNDICE C

CANTEIRO 1

Gráficos de correlação das variáveis meteorológicas x concentração

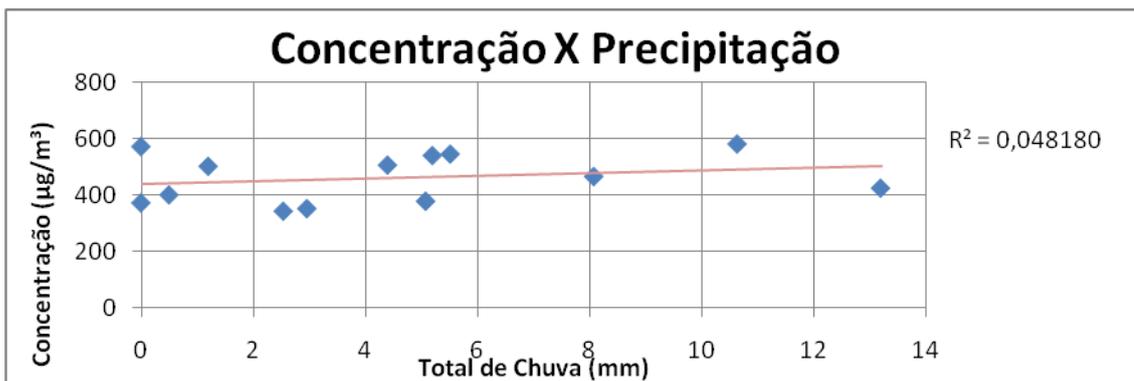
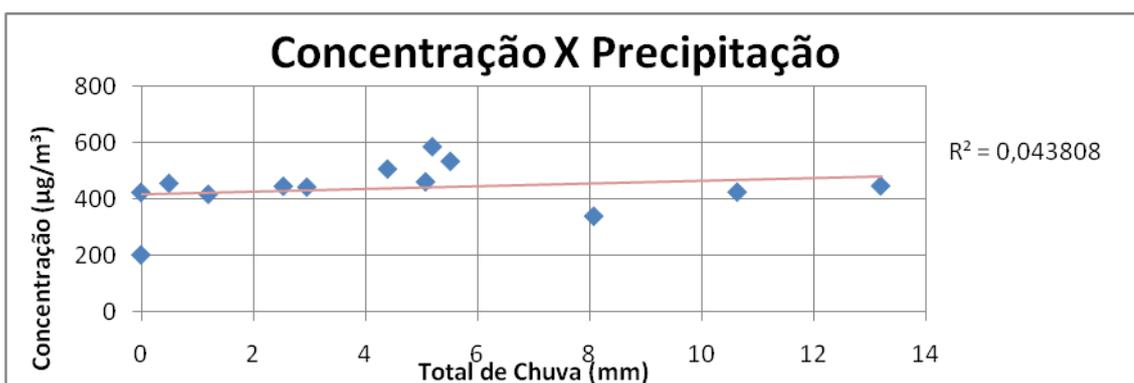
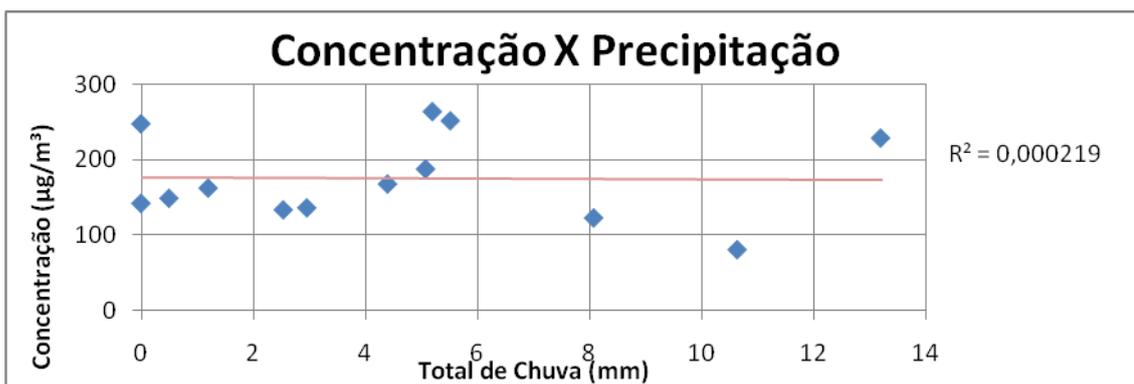
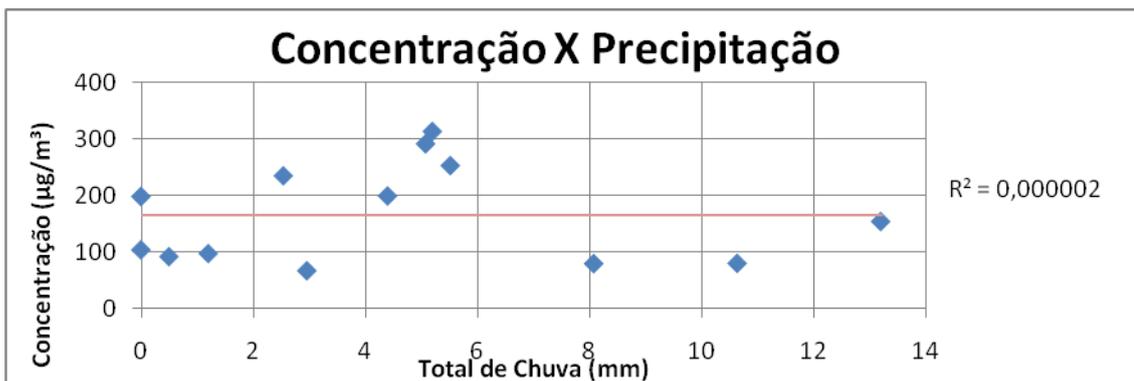
Figura 93 – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PTS entrada**Figura 94**– Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PTS saída**Figura 95** – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação MP10 entrada**Figura 96**–Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PM10 saída

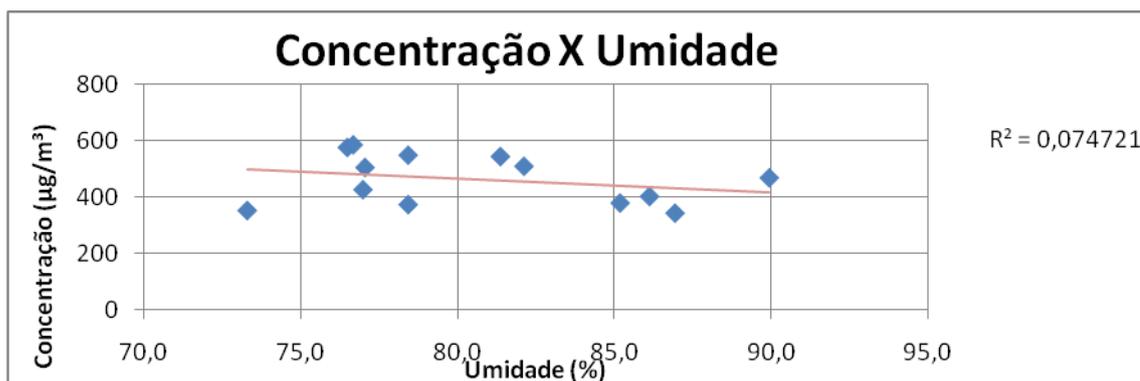
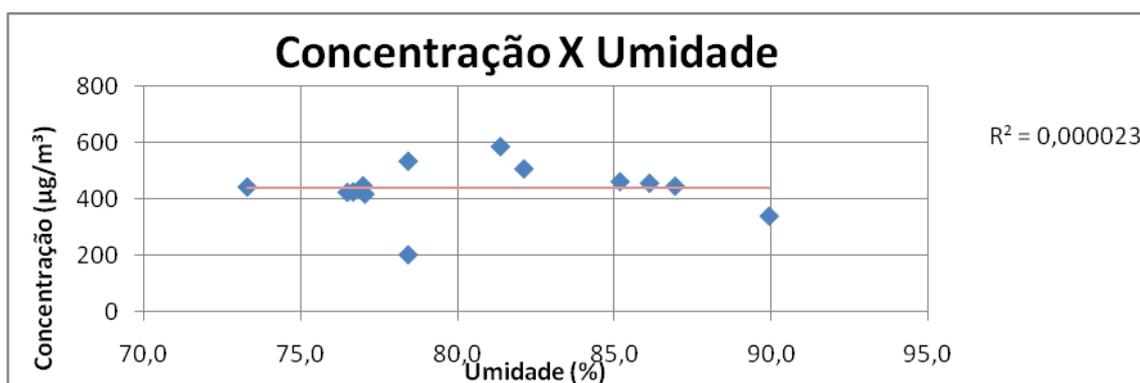
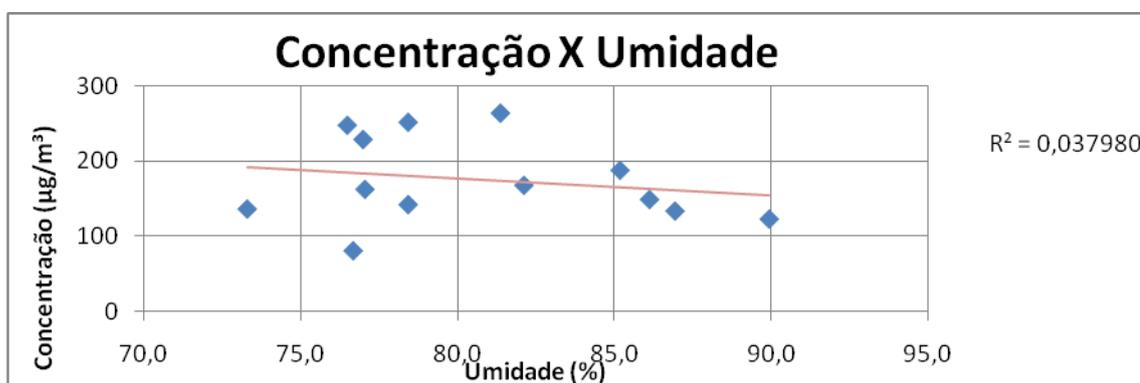
Figura 97– Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS entrada**Figura 98** – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS saída**Figura 99**–Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 entrada

Figura 100 - Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 saída

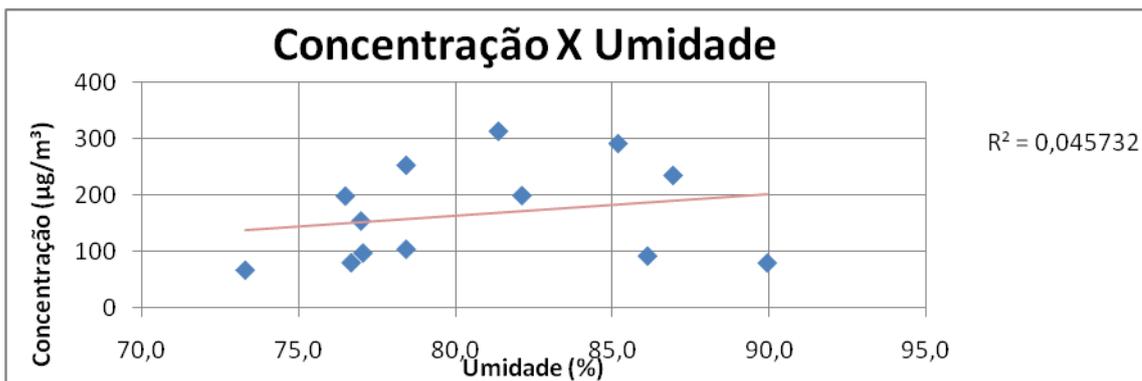


Figura 101– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS entrada

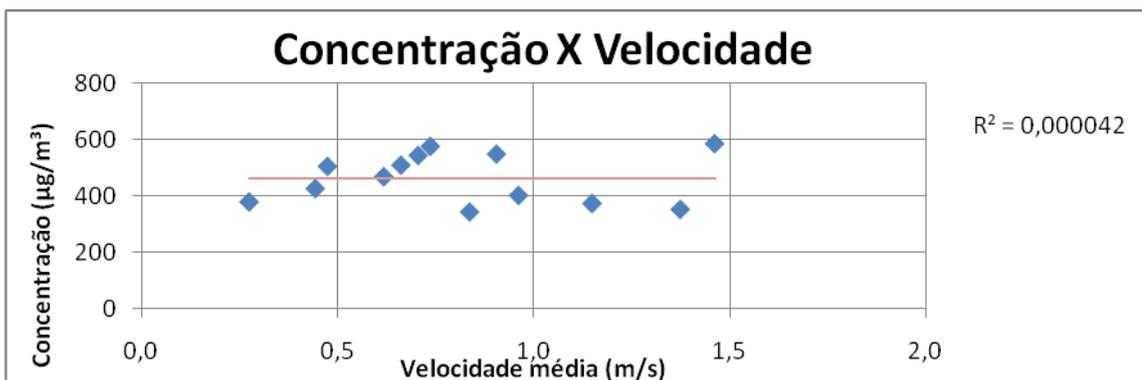
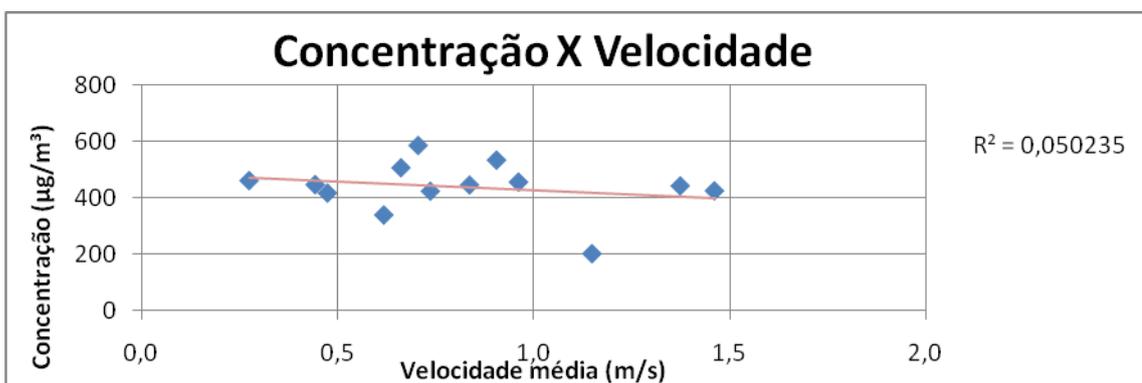


Figura 102– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS saída



APÊNDICE D

CANTEIRO 1

- **Concentração dos elementos químicos**
- **Estatística dos elementos químicos**
- **Porcentagem dos elementos químicos**

Tabela 31 – Elementos químicos presentes na entrada do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA1 g – 1	1,4097387	0,371039	1,7176625	3,9442913	2,7063564	0,3026491	6,7949323	0,8537344
BA3 g – 1	2,5293395	0,0057357	0,2655625	1,3173898	13,585417	0,2290776	0,8941734	0,1435835
BA6 g – 1	0,1691275	0,1297894	0,6591554	0,6913697	5,4061875	0,1226809	0,7409872	0,2144222
BA7 g – 1	1,351863	0,1437843	0,9515861	0,6612758	5,094172	0,1293505	0,6791604	0,2463484
BA9 g - 1	2,519517	0,0778521	0,4600597	0,5301905	3,0779443	0,0872035	0,2862683	0,0953138
BA10 g – 1	2,2064187	0	0,5162108	1,1732314	10,721513	0,2136445	0,7159629	0,1827804
BA22 g – 1	1,2052807	0,1499168	0,8441107	1,3053689	9,341084	0,296331	1,8927652	0,3551947
BA23 g – 1	3,2011645	0,0482451	0,3107397	1,2146684	11,309095	0,2042378	0,4967765	0,1360538
BA24 g – 1	1,9609197	0,0962487	0,4161156	1,0029233	9,9676576	0,1907007	0,7258102	0,2570749
BA28 g – 1	2,4047707	0	0,3160199	1,1226549	10,462304	0,2105271	0,5424662	0,1770989
BA11 g – 1	0,4194231	0,0215222	0	0,0551899	0,0387464	0	0	0
BA14 g – 1	2,3474524	0,0440313	0,4326122	1,175398	11,750683	0,2192459	0,6059295	0,2580155
BA17 g – 1	1,427014	0	0,1381794	0,5648394	5,1191055	0,1055242	0,2045442	0,1450841

Tabela 32 – Estatística dos elementos químicos da entrada do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	3,2011645	0,371039	1,7176625	3,9442913	13,585417	0,3026491	6,7949323	0,8537344
Média	1,7809253	0,083705	0,5406165	1,1352916	7,5830973	0,1777825	1,1215212	0,2357465
Mínimo	0,1691275	0	0	0,0551899	0,0387464	0	0	0
Mediana	1,9609197	0,0482451	0,4326122	1,1226549	9,341084	0,2042378	0,6791604	0,1827804
CV	0,4936882	1,2274087	0,8147098	0,8144526	0,5545393	0,4806838	1,5716638	0,8709477
Desvio Padrão	0,8792219	0,1027402	0,4404456	0,9246412	4,2051256	0,0854572	1,7626543	0,2053229

Tabela 33 – Elementos químicos presentes na saída do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA2 g - 1	0,8965666	0,4621531	1,2827322	0,8839115	2,6381819	0,2337477	2,4457842	0,5872816
BA4 g - 1	1,2478067	0,2131629	1,0769678	2,1835643	12,971511	0,4318357	7,0227555	0,4712934
BA5 g - 1	0,8283028	0,1986659	0,913987	1,0857128	4,6591399	0,2373545	5,2124312	0,4813401
BA8 g - 1	1,4623247	0,4288877	1,9942965	1,4573215	4,6436706	0,3989037	6,628376	0,5145352
BA19 g - 1	0,509478	0,0513419	0,7788733	0,667458	2,9787796	0,1775739	3,753173	0,2032862
BA20 g - 1	2,700588	0,6571208	3,7018864	2,5473369	9,2346331	0,6636015	7,0777353	0,776589
BA21 g - 1	2,4584462	0,2393855	0,7301722	1,263474	9,0292941	0,2810111	1,8462235	0,3524164
BA25 g - 1	2,2044234	0,1111778	0,7285033	1,1412486	9,1667411	0,274491	1,932638	0,1737198
BA26 g - 1	0	0	0,924571	1,2819929	7,4980734	0,2994202	3,8766224	0,3993828
BA27 g - 1	1,2088937	0,3597039	1,7113997	1,8461867	9,9011031	0,4723434	6,7050014	0,6961267
BA12 g - 1	0,552488	0,680449	3,7287588	1,5781402	4,7593283	0,5652684	11,106036	3,0905502
BA16 g - 1	2,5555642	0,0725471	0,9248451	1,3582383	10,040184	0,2849187	3,6183205	0,2844974
BA15 g - 1	1,8743824	0,0886096	0,2009068	0,5135306	4,2366454	0,0860989	0,3891436	0,1044152

Tabela 34 – Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro

Máximo	2,700588	0,680449	3,7287588	2,5473369	12,971511	0,6636015	11,106036	3,0905502
Média	1,4230204	0,2740927	1,4383	1,3698551	7,0582527	0,3389668	4,739557	0,6258026
Mínimo	0	0	0,2009068	0,5135306	2,6381819	0,0860989	0,3891436	0,1044152
Mediana	1,2478067	0,2131629	0,9248451	1,2819929	7,4980734	0,2849187	3,8766224	0,4712934
CV	0,6128806	0,8262173	0,7690516	0,4183735	0,459477	0,4741639	0,6159769	1,2255428
Desvio Padrão	0,8721415	0,2264601	1,106127	0,573111	3,2431046	0,1607258	2,9194576	0,7669479

Tabela 35 – Porcentagem dos elementos químicos

	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn
Entrada - MP10	13,88	0,84	0,65	4,21	0,12	8,85	59,12	1,39	8,74	0,14	0,04	0,03	1,84	0,00	0,09
Saída - MP10	8,11	0,35	1,56	8,19	0,47	7,80	40,20	1,93	27,00	0,20	0,46	0,05	3,56	0,02	0,07

Tabela 36 – Porcentagem dos elementos químicos mais presente

PORCENTAGEM DOS ELEMENTOS QUIMICOS										
	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Outros	
Entrada - MP10	13,9	0,7	4,2	8,9	59,1	1,4	8,7	1,8	1,3	
Saída - MP10	8,1	1,6	8,2	7,8	40,2	1,9	27,0	3,6	1,6	

APÊNDICE E

CANTEIRO 2

- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período 1**
- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período de Coleta**

APÊNDICE F

CANTEIRO 2

Gráficos de correlação das variáveis meteorológicas x concentração

Figura 103 – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PTS entrada

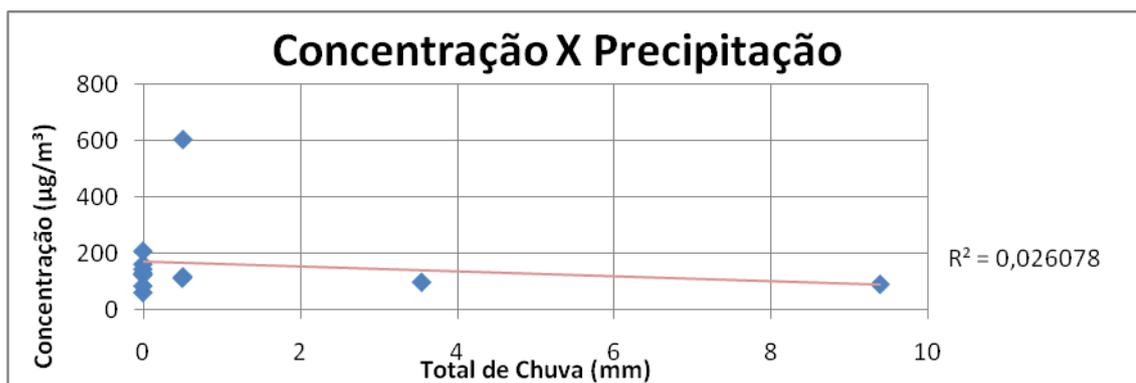


Figura 104– Gráfico de Correlação Concentração x Umidade PTS entrada

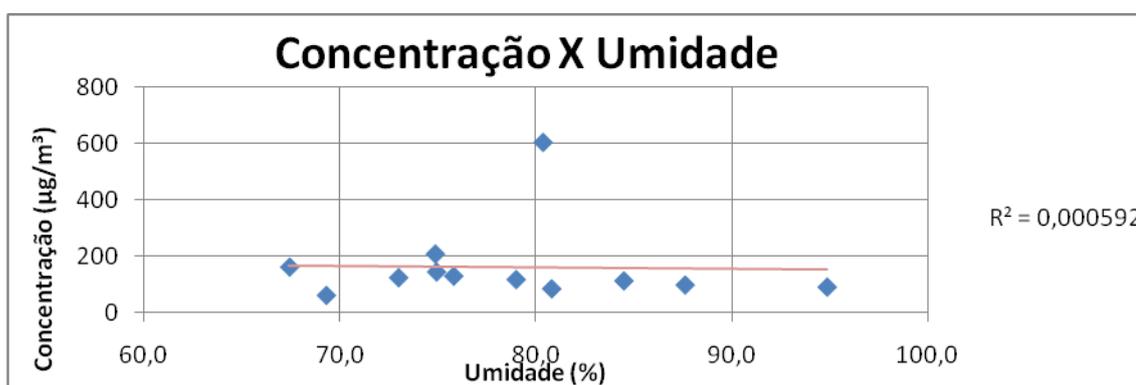


Figura 105– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS entrada

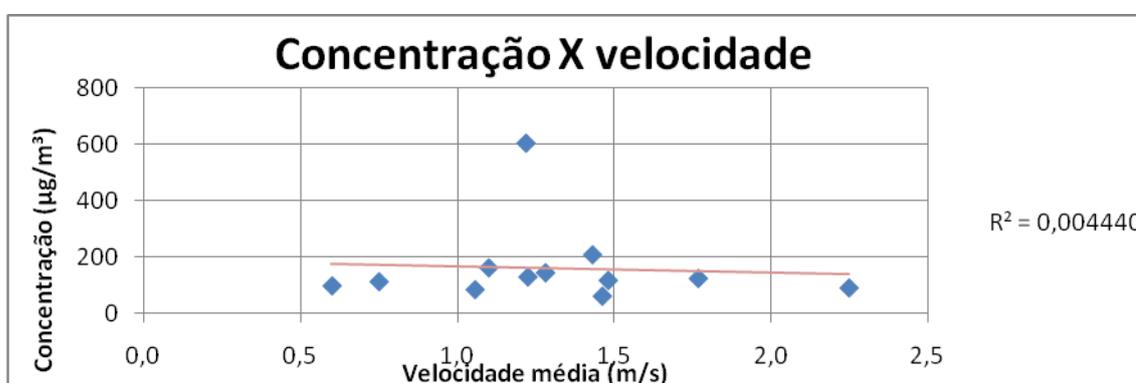


Figura 106– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS saída

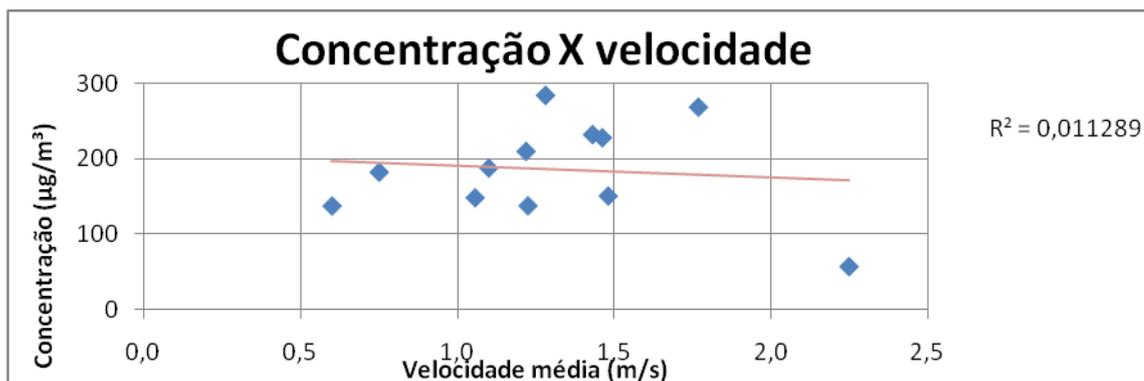


Figura 107– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 entrada

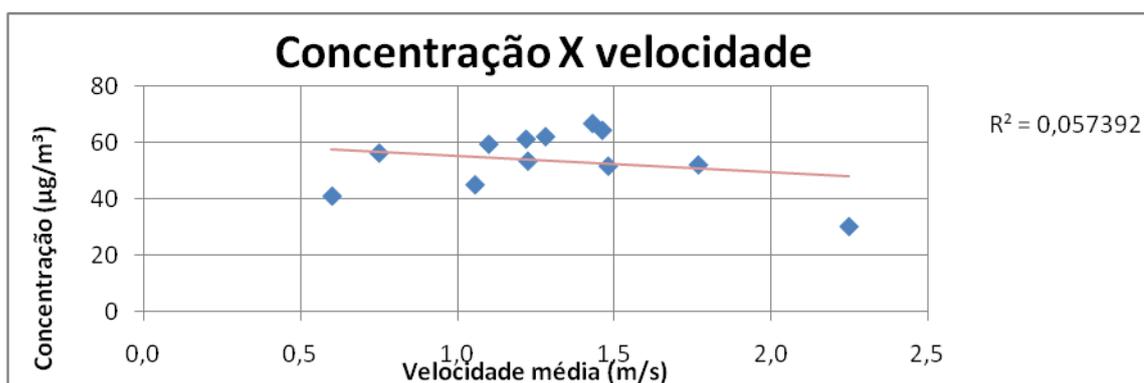
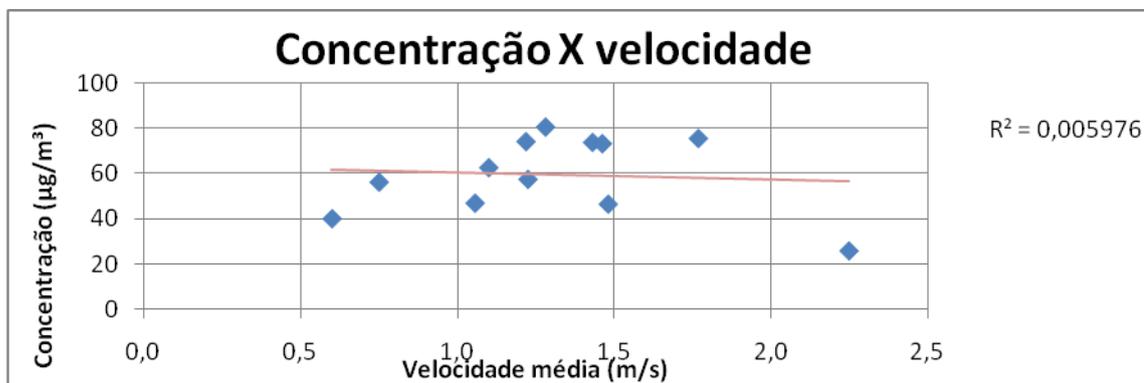


Figura 108– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 saída



APÊNDICE G

CANTEIRO 2

- **Concentração dos elementos químicos**
- **Estatística dos elementos Químicos**
- **Porcentagem dos elementos químicos**

Tabela 39 – Elementos químicos presentes na entrada do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA3g-3	5,0936757	0,2180685	0,9177061	1,1619351	10,601375	0,254006	1,1539552	0,4423678
BA4g-3	3,5542383	0,1241578	0,9518852	1,2445085	11,849217	0,2522605	1,0820197	0,3638951
BA5g-3	1,9474991	0,168984	1,0296157	1,2579482	12,244528	0,3108212	2,3781515	0,5241991
BA6g-3	4,6391805	0,3714882	1,5312999	1,3663043	13,323579	0,3167277	1,1588791	0,5565612
BA7g-3	3,9305602	0,4425702	1,6893192	1,5584229	12,980492	0,3410709	2,0083468	0,8691388
BA8g-3	2,2363653	0,3788368	1,0886009	1,1206486	9,6342063	0,2294413	1,041295	0,511847
BA9g-3	1,4798637	0,1871324	0,9495829	1,3637882	13,033439	0,2939889	1,1368584	0,5626435
BA20g-3	2,7926138	0,4229621	1,6768017	1,2241298	11,760432	0,3269776	1,3124676	0,7354738
BA21g-3	1,5955809	0,0561915	0,391299	0,8223646	5,7874096	0,1825103	0,569955	0,0776881
BA25g-3	1,2960096	0,0550645	0,6126367	1,03989	9,7760225	0,2914712	1,0497672	0,4237237
BA27g-3	1,6431623	0,0843485	0,9204266	1,187397	11,740978	0,3098979	1,8099258	0,4733513
BA29g-3	2,8686213	0,1441145	0,8552299	0,9496486	7,569074	0,2755292	0,9836236	0,4621333

Tabela 40 – Estatística dos elementos químicos da Entrada do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	5,0936757	0,4425702	1,6893192	1,5584229	13,323579	0,3410709	2,3781515	0,8691388
Média	2,7564476	0,2211599	1,0512003	1,1914155	10,858396	0,2820586	1,3071037	0,5002519
Mínimo	1,2960096	0,0550645	0,391299	0,8223646	5,7874096	0,1825103	0,569955	0,0776881
Mediana	2,5144896	0,1780582	0,9507341	1,2057634	11,750705	0,2927301	1,1454068	0,4925991
CV	0,4680648	0,6537705	0,3796795	0,1653326	0,2134272	0,1618746	0,3861054	0,3848518
Desvio Padrão	1,290196	0,1445878	0,3991192	0,1969798	2,3174773	0,0456581	0,5046799	0,1925228

Tabela 41 – Elementos químicos presentes na saída do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA12g-3	2,0458201	0,1146322	0,6529546	1,2154071	9,9083649	0,2255035	1,3556305	0,2943151
BA13g-3	2,132588	0,3147534	0,8666362	1,2838131	11,181866	0,2511016	1,5313689	0,3969013
BA14g-3	3,0777582	0,3183975	1,2549173	1,2904047	11,922739	0,2556652	1,7689399	0,6834691
BA15g-3	3,0280117	0,9049877	2,4067169	1,6307611	13,467785	0,38518	2,3457182	1,243045
BA16g-3	3,1173083	2,0372778	3,8150171	1,6748637	10,122426	0,444605	3,3645598	2,0693089
BA17g-3	1,9849783	1,8302379	3,7812385	1,527591	8,9005322	0,4141967	4,6559909	1,8903991
BA18g-3	2,5272612	0,8446817	2,0124524	1,7167831	12,65559	0,3857017	2,963003	1,2249478
BA19g-3	3,3156185	1,0595819	2,4662985	1,3171535	11,060158	0,3581689	2,6770953	1,1820034
BA22g-3	0,2093995	0	0,1548887	0,6858777	4,8557349	0,1139958	0,2574811	0
BA26g-3	1,7464835	0,0696071	0,2052097	1,0595664	10,780724	0,1915831	0,54179	0,1583987
BA28g-3	4,0088295	0,2609414	0,8424067	1,3192932	13,297392	0,2700134	1,3857118	0,6075111
BA30g-3	2,1633576	0,2525229	0,7409534	0,941981	7,2065233	0,2734702	1,3531754	0,4624243

Tabela 42 – Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro

	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	4,0088295	2,0372778	3,8150171	1,7167831	13,467785	0,444605	4,6559909	2,0693089
Média	2,4464512	0,6673018	1,5999742	1,3052913	10,446653	0,2974321	2,0167054	0,8510603
Mínimo	0,2093995	0	0,1548887	0,6858777	4,8557349	0,1139958	0,2574811	0
Mediana	2,3453094	0,3165755	1,0607768	1,3037791	10,920441	0,2717418	1,6501544	0,6454901
CV	0,398144	1,0266007	0,8025077	0,2362903	0,2412748	0,3357794	0,6176103	0,7863098
Desvio Padrão	0,9740398	0,6850525	1,2839916	0,3084277	2,5205137	0,0998716	1,2455379	0,6691971

Tabela 43 – Porcentagem dos elementos químicos

	Na	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Br
Entrada - MP10	15,04	1,21	5,74	0,02	6,50	59,25	1,54	7,13	0,25	0,04	0,06	2,73	0,02
Saída - MP10	12,35	3,37	8,08	0,16	6,59	52,74	1,50	10,18	0,42	0,03	0,04	4,30	0,03

Tabela 44 – Porcentagem dos elementos químicos mais presente

PORCENTAGEM DOS ELEMENTOS QUIMICOS									
	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Outros
Entrada - MP10	15,04	1,21	5,74	6,50	59,25	1,54	7,13	2,73	0,9
Saída - MP10	12,35	3,37	8,08	6,59	52,74	1,50	10,18	4,30	0,9

APÊNDICE H

CANTEIRO 3

- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período 1**
- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período de Coleta**

Tabela 45 - Médias diárias da direção do vento no Período 1

Dia/Direção	10/jan	11/jan	12/jan	13/jan	14/jan	15/jan	16/jan	17/jan	Média Geral
S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SSW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
WSW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
W	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
WNW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
NNW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
N	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	25,0	0,0	6,25
NNE	56,3	12,5	62,5	75,0	31,3	62,5	43,8	50,0	49,22
NE	18,8	68,8	37,5	25,0	43,8	25,0	31,3	37,5	35,94
ENE	6,3	18,8	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	3,91
E	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	6,3	1,56
ESE	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,78
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	1,56
SSE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,78

Tabela 46 – Média diária das direções do vento no Período de Coleta

Dia/Direção	23/jan	26/jan	27/jan	29/jan	30/jan	01/fev	03/fev	04/fev	05/fev	06/fev	09/fev	10/fev	11/fev	12/fev	Média Geral
S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
SSW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,45
SW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
WSW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
W	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
WNW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,89
NNW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
N	18,8	6,3	0,0	12,5	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	0,0	6,3	25,0	18,8	0,0	8,48
NNE	18,8	68,8	81,3	68,8	68,8	81,3	56,3	56,3	25,0	6,3	56,3	50,0	43,8	6,3	49,11
NE	31,3	6,3	6,3	18,8	0,0	6,3	12,5	31,3	37,5	18,8	25,0	12,5	18,8	12,5	16,96
ENE	31,3	6,3	6,3	0,0	6,3	6,3	0,0	6,3	0,0	31,3	0,0	12,5	18,8	75,0	14,29
E	0,0	6,3	6,3	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,13
ESE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,89
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45
SSE	0,0	6,3	0,0	0,0	12,5	0,0	12,5	0,0	31,3	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,36

APÊNDICE I

CANTEIRO 3

Gráficos de correlação das variáveis meteorológicas x concentração

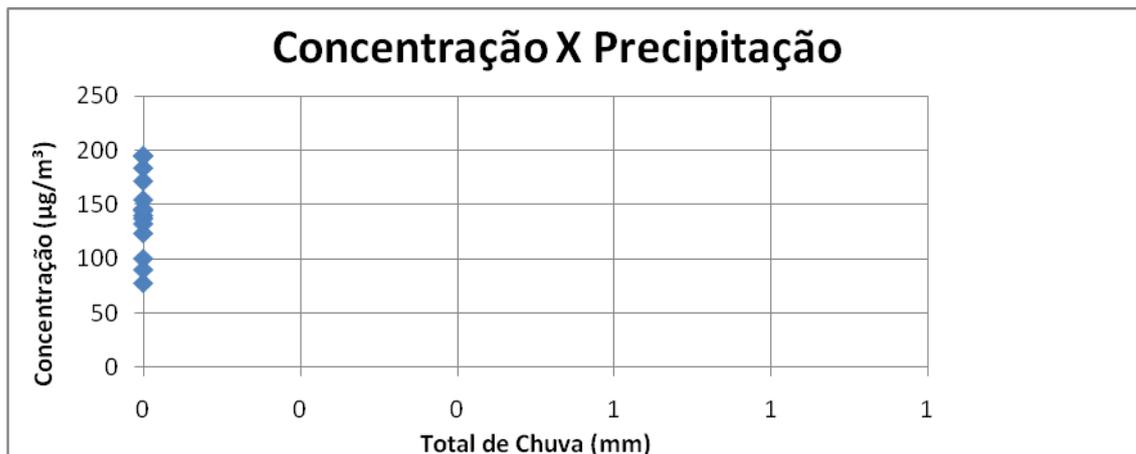
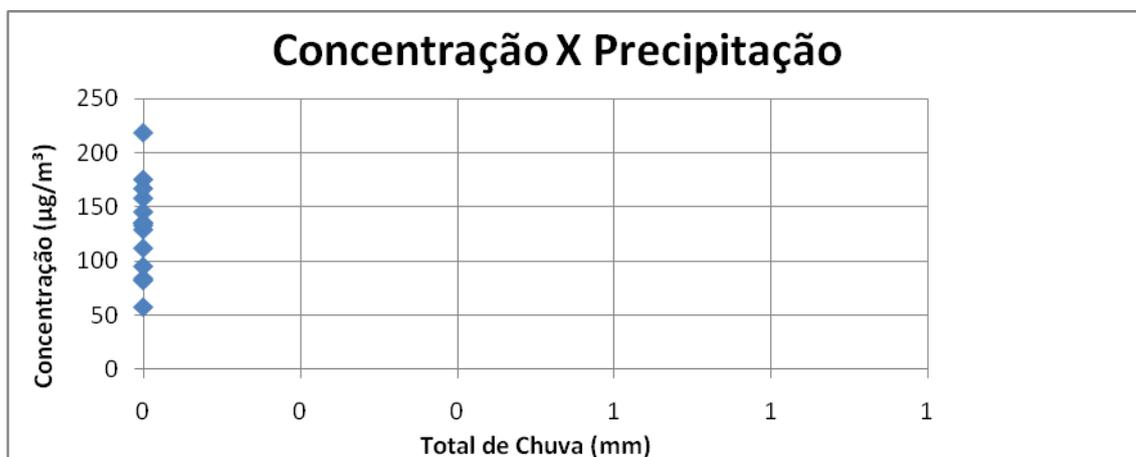
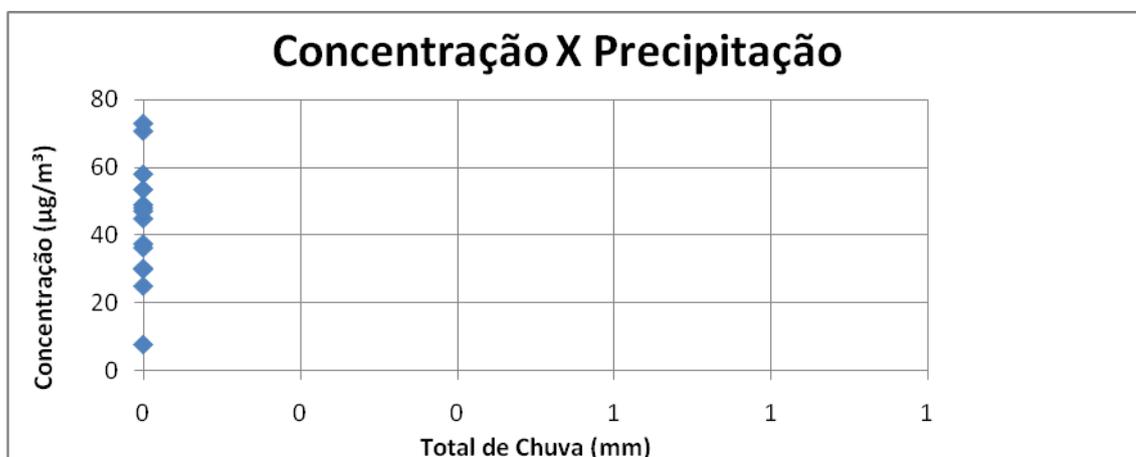
Figura 109 – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PTS entrada**Figura 110** – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PTS saída**Figura 111** – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação MP10 entrada

Figura 112 – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação MP10 saída

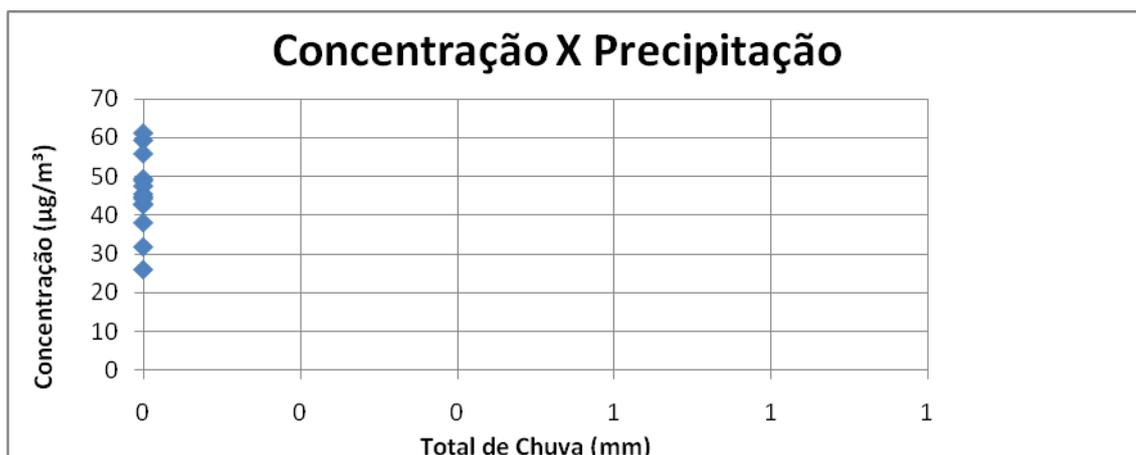


Figura 113 – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS entrada

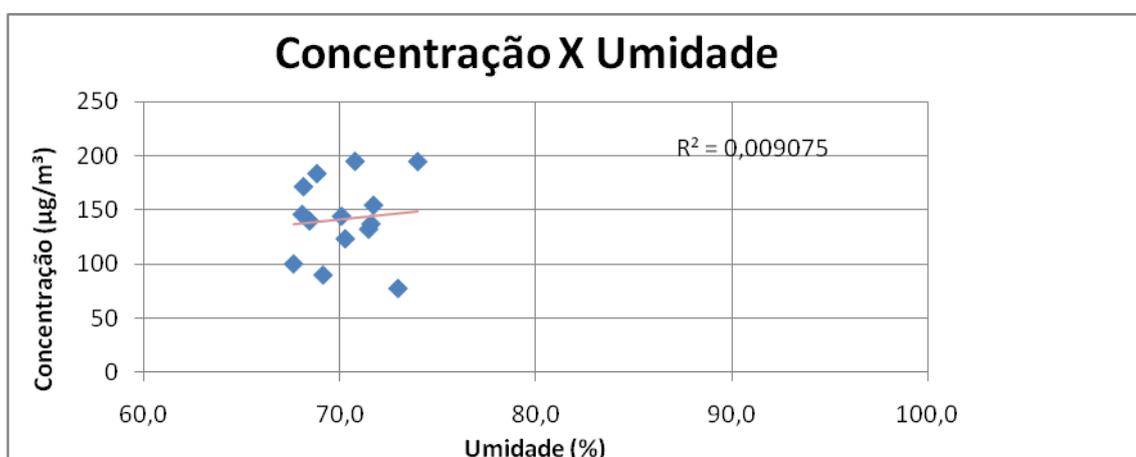


Figura 114 – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS saída

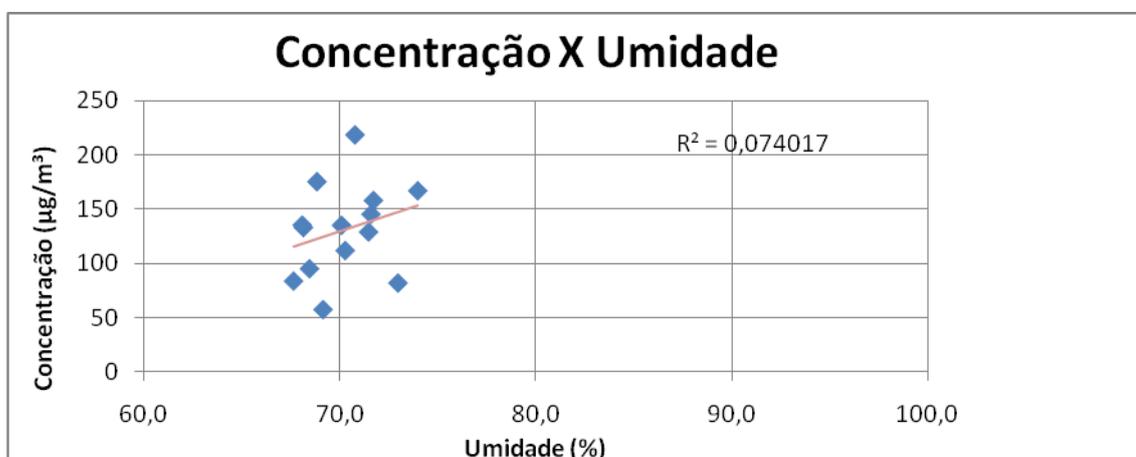


Figura 115 – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 entrada

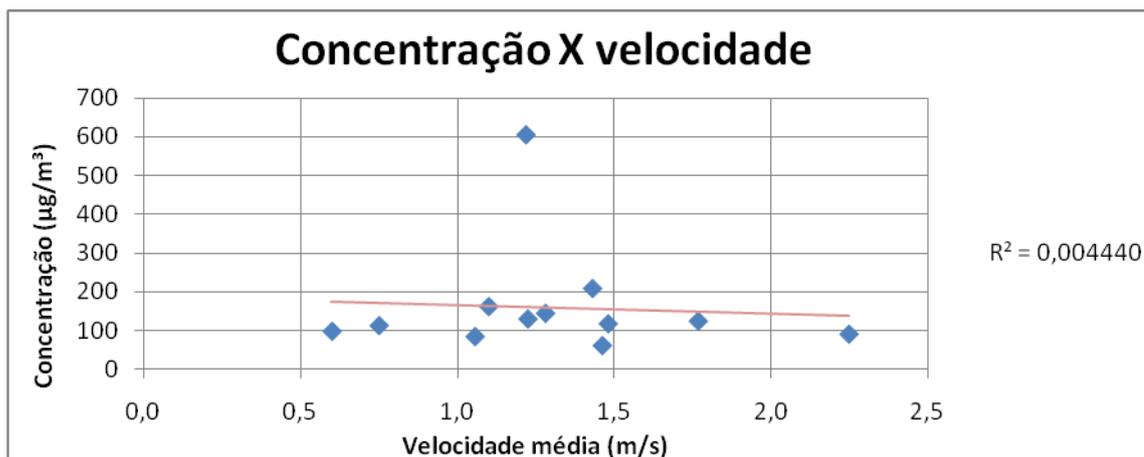


Figura 116 – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 saída

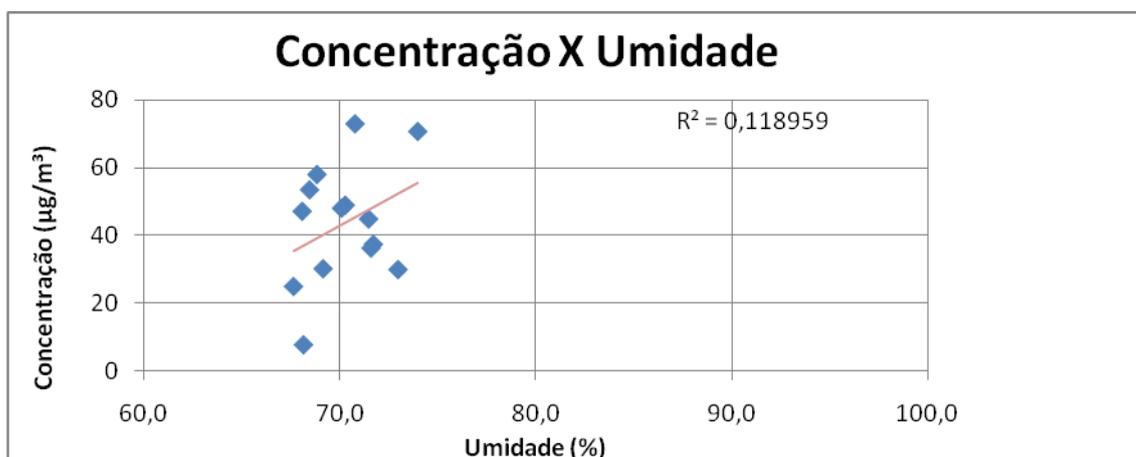


Figura 117 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 entrada

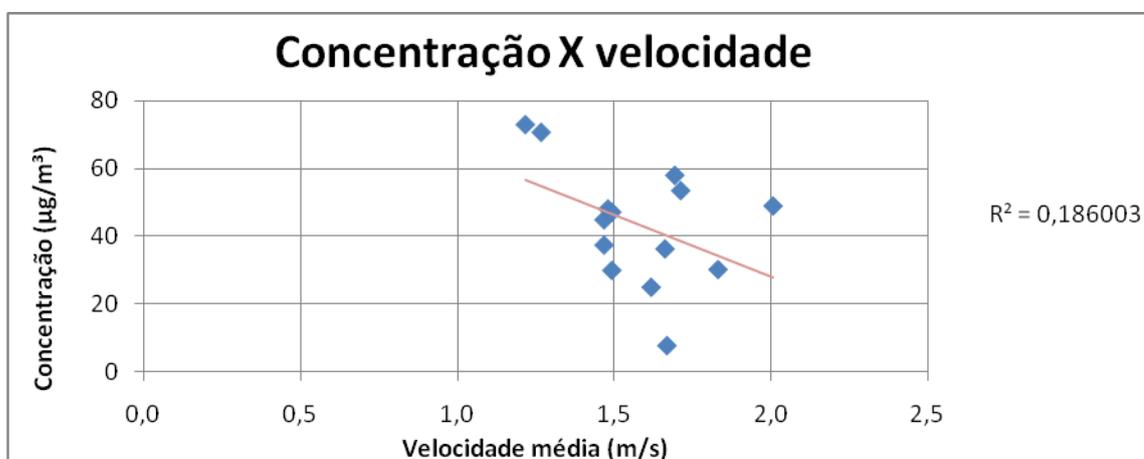
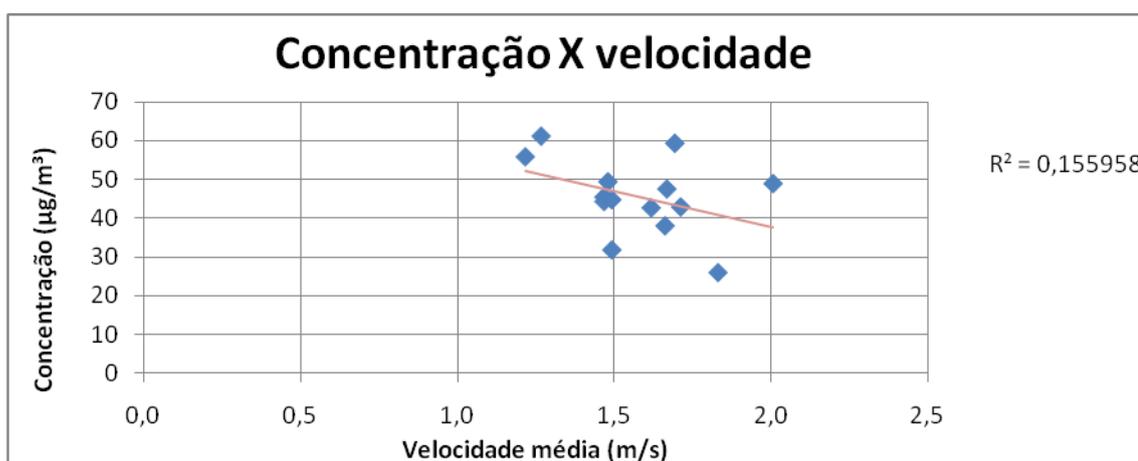


Figura 118 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 saída

APÊNDICE J

CANTEIRO 3

- **Concentração dos elementos químicos**
- **Estatística dos elementos químicos**
- **Porcentagem dos elementos químicos**

Tabela 47 – Elementos químicos presentes na entrada do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA3g-4	3,3060756	0,5122742	2,2035059	1,1860131	9,8472751	0,372671	3,9608814	0,5861222
BA5g-4	1,1328828	0,0087023	1,2910448	0,7279027	4,8620231	0,1897932	2,1847774	0,3305443
BA7g-4	1,9265819	0,5043398	4,3334439	1,0012109	4,8848471	0,5624357	5,4008063	0,5671466
BA12g-4	0	0,4360507	2,9950529	0,7494104	4,0494317	0,3492439	4,2473348	0,5366389
BA13g-4	1,0283814	0,1915914	2,337438	0,690657	3,7460109	0,2846018	3,2915941	0,4531706
BA15g-4	0,8047072	0,5657027	2,468757	0,8904561	5,4100036	0,280114	4,3227982	0,6161579
BA17g-4	1,0697837	0,9765072	4,2689231	0,8443602	4,4394493	0,5541968	5,7837136	1,1565552
BA19g-4	1,6871154	0,5533186	4,0734833	1,0162249	4,5714348	0,47751	6,4858249	0,7156317
BA23g-4	2,0195235	0,6517801	5,301405	1,2237439	7,579686	0,5869072	6,2512701	0,9145005
BA24g-4	2,1875729	0,8906765	5,0861855	1,528943	10,319914	0,5862643	5,8900864	1,2382367
BA26g-4	0,9741335	0,2578276	2,7568226	0,7829842	6,3710742	0,3018394	3,3697195	0,5046552
BA28g-4	0,9920335	0,2027403	2,1422217	1,0122271	7,4541946	0,3721851	4,3515018	0,5905063
BA32g-4	0,4360656	0,4331222	2,6016538	0,9037199	4,7547312	0,3670036	0,110429	0
BA33g-4	1,4744338	0,3929884	2,2028125	1,1376366	4,6751148	0,3006565	4,7635724	0,6081217

Tabela 48 – Estatística dos elementos químicos da entrada do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	3,3060756	0,9765072	5,301405	1,528943	10,319914	0,5869072	6,4858249	1,2382367
Média	1,3599493	0,4698301	3,1473393	0,9782493	5,9260851	0,3989588	4,3153079	0,6298563
Mínimo	0	0,0087023	1,2910448	0,690657	3,7460109	0,1897932	0,110429	0
Mediana	1,1013333	0,4701952	2,6792382	0,9524654	4,8734351	0,3695943	4,33715	0,5883143
CV	0,6080689	0,5602831	0,3916289	0,2375952	0,3554716	0,3278073	0,40018	0,4993256
Desvio Padrão	0,8269429	0,2632379	1,232589	0,2324273	2,1065549	0,1307816	1,7268999	0,3145034

Tabela 49– Elementos químicos presentes na saída do canteiro

Alvo	Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA2g-4	1,6513356	0,2593426	1,6027602	1,2068745	9,4492347	0,3334662	3,3170162	0,517238
BA4g-4	1,0622236	0,2589931	1,5409491	0,8949833	5,5966417	0,2376292	3,0201481	0,4062755
BA6g-4	2,0130398	0,3736222	3,5979407	0,9716556	5,1383204	0,4398532	4,8079829	0,4727412
BA10g-4								
BA14g-4	1,8126514	0,2884037	2,5574273	0,8445838	4,3797796	0,3490282	3,7658949	0,4589176
BA16g-4	2,63565	0,2967005	1,4453417	0,7876903	5,9007537	0,2088412	2,3871472	0,3959069
BA18g-4	1,7206097	0,6250972	2,7228949	0,8628134	4,602812	0,3844069	4,4359546	0,6474148
BA20g-4	2,3657306	0,4022907	3,5328194	0,8897157	4,7241917	0,4358648	6,3974681	0,8487218
BA22g-4	3,0756157	0,5313653	5,0735852	1,2074111	7,5917171	0,5783079	5,6482861	0,7532231
BA25g-4	3,5406528	0,5784407	3,0330685	1,2326375	8,8070542	0,4187977	3,8494736	0,7855495
BA27g-4	2,2716704	0,3520088	2,1706519	0,8209676	6,6511106	0,2407431	2,6473435	0,373225
BA29g-4	2,602762	0,2501069	2,556581	1,115094	8,8132347	0,3789852	4,1861329	0,4395213
BA30g-4	2,5879153	0,3805782	2,4143963	1,0319014	8,5793718	0,3424144	3,6852667	0,4356264
BA34g-4	1,4744338	0,3929884	2,2028125	1,1376366	4,6751148	0,3006565	4,1156593	0,476538

Tabela 50– Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro

Alvo	Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Máximo	3,5406528	0,6250972	5,0735852	1,2326375	9,4492347	0,5783079	6,3974681	0,8487218
Média	2,2164839	0,3838414	2,6500945	1,000305	6,5314875	0,357615	4,0202903	0,5392999
Mínimo	1,0622236	0,2501069	1,4453417	0,7876903	4,3797796	0,2088412	2,3871472	0,373225
Mediana	2,2716704	0,3736222	2,556581	0,9716556	5,9007537	0,3490282	3,8494736	0,4727412
CV	0,3090956	0,323532	0,3770973	0,1625441	0,2881484	0,2805967	0,281638	0,3007535
Desvio Padrão	0,6851054	0,124185	0,9993434	0,1625937	1,8820379	0,1003456	1,1322667	0,1621963

Tabela 51 – Porcentagem dos elementos químicos

	Na	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe
Entrada - MP10	7,79	2,69	18,02	0,81	5,60	33,93	2,28	24,71	3,61
Saída - MP10	12,35	2,14	14,77	0,62	5,57	36,40	1,99	22,41	3,01

Tabela 52 – Porcentagem dos elementos químicos mais presente

PORCENTAGEM DOS ELEMENTOS QUIMICOS									
	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Outros
Entrada - MP10	7,8	2,7	18,0	5,6	33,9	2,3	24,7	3,6	1,4
Saída - MP10	12,4	2,1	14,8	5,6	36,4	2,0	22,4	3,0	1,4

APÊNDICE L

CANTEIRO 4

- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período 1**
- **Tabela das Médias diárias da direção do vento no Período de Coleta**

Tabela 54– Média diária das direções do vento no Período de Coleta

Dia/Direção	26/mar	27/mar	30/mar	31/mar	01/abr	07/abr	08/abr	10/abr	12/abr	14/abr	15/abr	16/abr	Média Geral
S	25,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	62,5	25,0	12,5	12,5	0,0	0,0	12,50
SSW	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	12,5	37,5	0,0	0,0	12,5	10,42
SW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	12,5	2,08
WSW	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,08
W	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
WNW	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,08
NW	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,13
NNW	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	2,08
N	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	6,25
NNE	0,0	25,0	0,0	37,5	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	37,5	13,54
NE	0,0	0,0	12,5	37,5	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	12,5	10,42
ENE	0,0	0,0	12,5	25,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	5,21
E	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	12,5	12,5	0,0	0,0	0,0	3,13
ESE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,04
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	12,5	25,0	50,0	0,0	0,0	10,42
SSE	0,0	25,0	37,5	0,0	0,0	12,5	25,0	25,0	0,0	25,0	37,5	0,0	15,63

APÊNDICE M

CANTEIRO 4

Gráficos de correlação das Variáveis Meteorológicas x Concentração

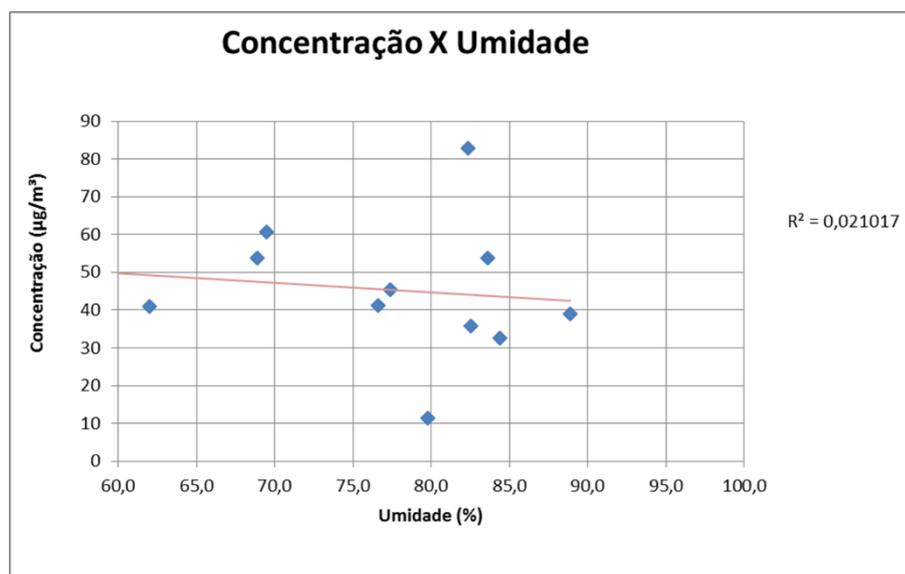
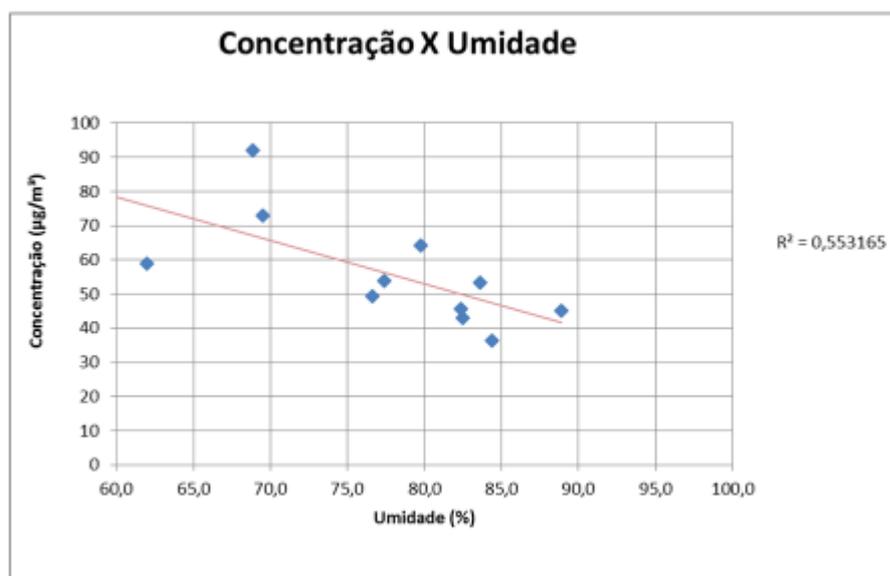
Figura 119 – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PM10 Entrada**Figura 120** – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 saída

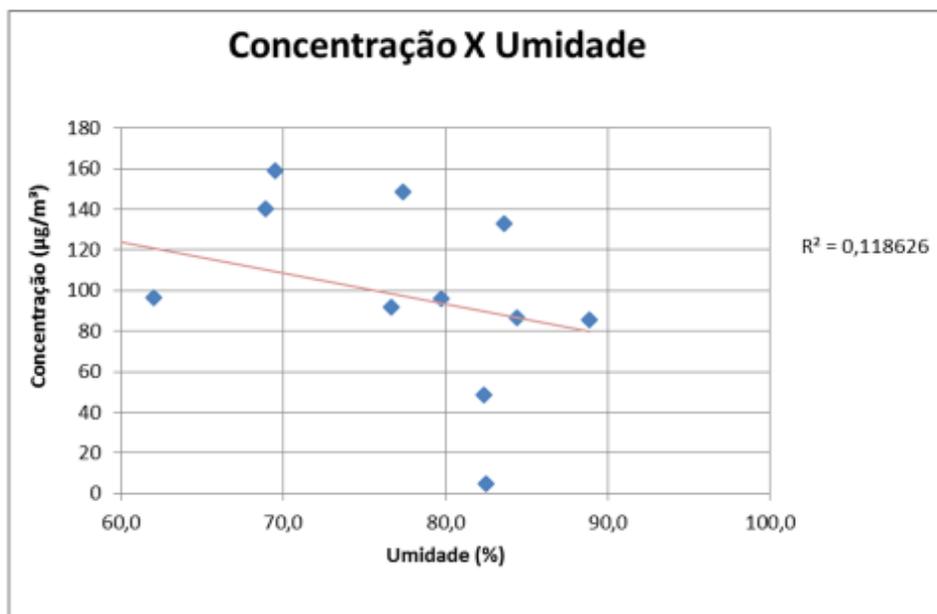
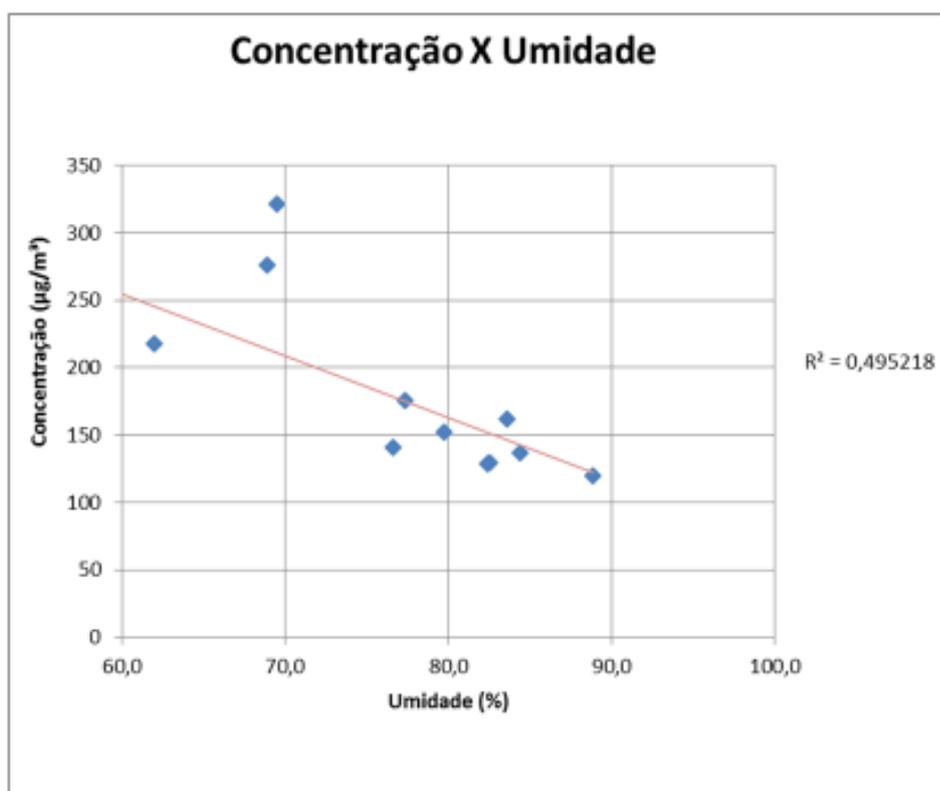
Figura 121 – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS entrada**Figura 122** – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS saída

Figura 123 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 entrada

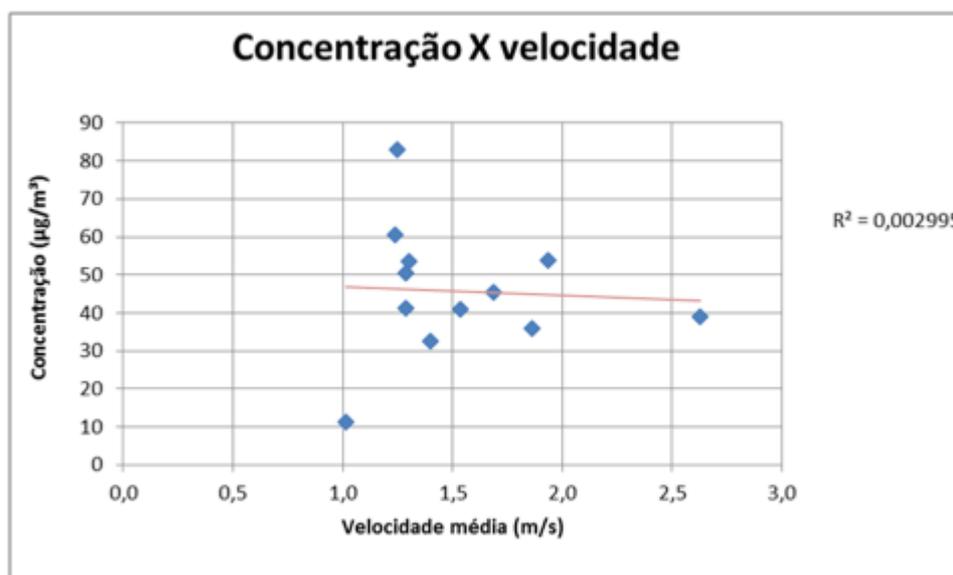


Figura 124 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 saída

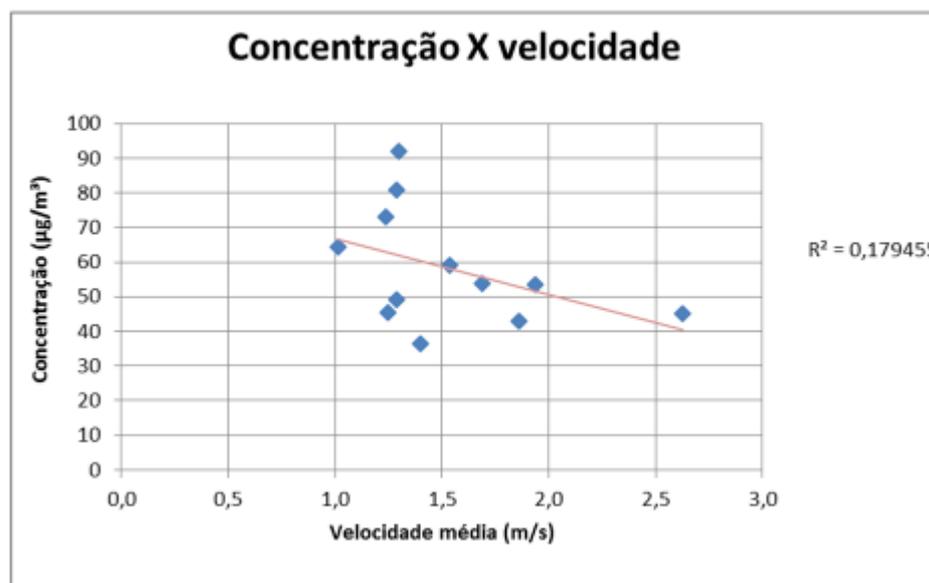
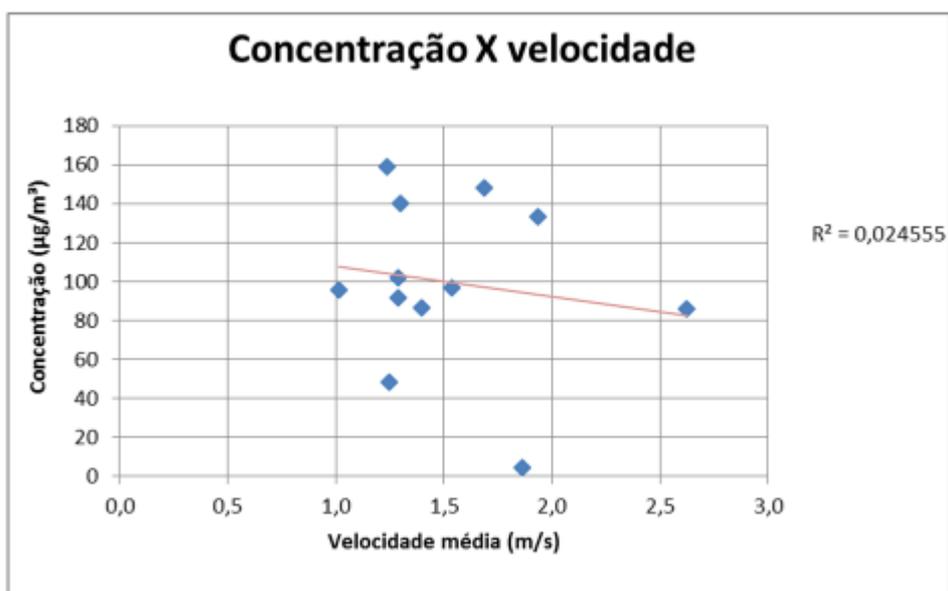
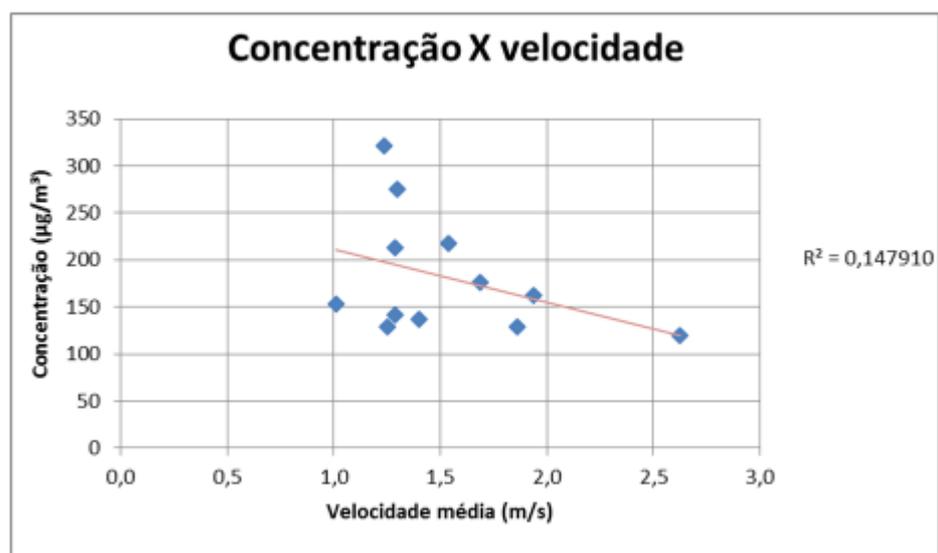


Figura 125 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS entrada**Figura 126** – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS Saída

APÊNDICE N

CANTEIRO 4

- Concentração dos elementos químicos
- Estatística dos elementos químicos
- Porcentagem dos elementos químicos

Tabela 55– Elementos químicos presentes na entrada do canteiro

Alvo	Na(µg/m³)	Mg(µg/m³)	Al(µg/m³)	Si(µg/m³)	P(µg/m³)	S(µg/m³)	Cl(µg/m³)	K(µg/m³)	Ca(µg/m³)	Ti(µg/m³)	V(µg/m³)	Cr(µg/m³)	Mn(µg/m³)	Fe(µg/m³)
BA2g-5	2,0382398	0,1373271	0,4493428	0,9181917	0,0523902	0,7499451	5,7552564	0,1710798	1,5824051	0,0438735	0,0054743	0,0048189	0,6719821	0,0008002
BA4g-5	1,7762559	0	0,5887536	1,9835802	0,1025513	0,839926	5,3209405	0,3176725	2,9981055	0,0781073	0,0021668	0,0136379	0,0084718	0,7910122
BA6g-5	1,9490993	0,0272005	1,2879831	4,2387509	0,227311	1,178327	6,9902874	0,6121767	6,8185893	0,1620079	0	0,0090207	0,0181304	2,4699879
BA8g-5	3,8825629	0,2500292	0,5696749	1,5140481	0,0993786	0,8881335	7,7238501	0,295761	3,1236198	0,0567524	0,0004256	0,0121291	0,0086885	0,6011131
BA10g-5	3,3623485	0,3187414	0,3862613	1,1620089	0,0243637	1,5695098	14,582609	0,3321568	2,6022835	0,0500848	0	0,0142808	0,0089791	0,7243209
BA13g-5	0,3955186	0,107031	1,4594449	3,6927742	0,1212658	0,8653161	3,9935755	0,3714407	2,4558676	0,1692871	0,0002773	0,0106232	0,0281079	2,0082959
BA15g-5	3,2862132	0	0,303086	0,4961265	0,028656	1,1380714	11,51841	0,2625885	1,0434395	0,0179761	0	0,0161547	0,0016117	0,8479616
BA17g-5	0	0	0,1546956	0,5931102	0,0035839	1,5205814	8,4925314	0,4518418	1,8043162	0,0334676	0	0,0103875	0,0128897	0,7115109
BA19g-5	4,7809377	0,1200925	0,2182672	0,7580356	0,0183329	1,8440641	18,444247	0,4477808	1,4543878	0,0359035	0	0,0143727	0,0168125	0,5633037
BA22g-5	3,7110462	0	0,1234173	0,4041213	0,015433	1,3656804	13,460705	0,2402351	0,7643006	0,0106513	0,0021982	0	0,0086265	0,1306586
BA24g-5	0,9560653	0,0455782	0,3911474	1,8989465	0,1011579	0,7431046	6,5616027	0,2919903	3,5630919	0,0594726	0,0042429	0,0055705	0,023563	2,062909
BA26g-5	1,0640133	0,0956624	0,2049504	0,6409001	0,0147064	0,4287906	3,1414426	0,1146492	0,9472484	0,0252453	0,0043362	0,000855	0,0174707	0,8213348
BA28g-5	1,3169106	0	0,3824396	1,4512604	0,1096307	0,7359867	5,0949089	0,2274396	2,5176172	0,0680244	0,0015959	0,0007914	0,0273832	1,7516635

Tabela 56 – Estatística dos elementos químicos da entrada do canteiro

Máximo	4,7809377	0,3187414	1,4594449	4,2387509	0,227311	1,8440641	18,444247	0,6121767	6,8185893	0,1692871	0,0054743	0,0161547	0,6719821	2,4699879
Média	2,1937855	0,0847433	0,5014972	1,5193734	0,0706739	1,0667259	8,5446436	0,3182164	2,4365594	0,0623734	0,0015936	0,0086648	0,0655936	1,0372979
Mínimo	0	0	0,1234173	0,4041213	0,0035839	0,4287906	3,1414426	0,1146492	0,7643006	0,0106513	0	0	0,0016117	0,0008002
Mediana	1,9490993	0,0455782	0,3862613	1,1620089	0,0523902	0,8881335	6,9902874	0,295761	2,4558676	0,0500848	0,0004256	0,0103875	0,0168125	0,7910122
CV	0,6746797	1,2161485	0,8264961	0,794179	0,9046338	0,3841707	0,5389374	0,4115173	0,6526144	0,7980263	1,2297586	0,654814	2,7803148	0,7475802
Desvio Padrão	1,4801026	0,1030604	0,4144855	1,2066545	0,063934	0,4098048	4,6050284	0,1309515	1,5901338	0,0497756	0,0019598	0,0056738	0,1823709	0,7754633

Tabela 57 – Elementos químicos presentes na saída do canteiro

Alvo	Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mg($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Al($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Si($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	S($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cl($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ti($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	V($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mn($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BA3g-5	1,1253526	0	0,4039574	1,5475037	0,0616916	0,7722465	5,6508753	0,2909605	2,8643796	0,0483946	0,0015104	9,771E-05	0,0023636	1,0240371
BA5g-5	1,3219393	0,0457777	0,3982763	2,4097807	0,0715121	0,8853538	4,7335239	0,3886575	4,6823259	0,0874084	0,00047	0,0051445	0,0066885	1,2799831
BA7g-5	2,7219037	0	0,4835184	1,904757	0,1162951	1,0158949	6,4743321	0,3525191	3,4208393	0,0768071	0,0005078	0,0068166	0,0059209	1,2734865
BA9g-5	0,5944414	0	0,6506785	2,85135	0,1994225	1,0628162	6,3117819	0,5108043	7,1902858	0,0898894	0	0,0091952	0,0064911	1,1936103
BA12g-5	4,078332	0,2117259	0,7302175	3,5111328	0,2517624	1,3684892	10,584132	0,6364784	8,05267	0,1308917	0,0057681	0,0062359	0,0181528	1,4682226
BA14g-5	0,0726641	0	2,175573	12,186078	0,4479668	1,3493823	4,0453838	1,1446216	10,802169	0,233058	0	0,009003	0,0486064	3,0025661
BA16g-5	1,4858055	0,2360234	0,534757	1,3205625	0,0092364	1,1876591	10,188936	0,3766539	2,4700036	0,047443	0	0,0075242	0,020083	2,2669438
BA18g-5	0	0	0,376087	1,8092708	0,127899	0,7013012	3,8652495	0,3720208	3,4039461	0,0545747	0,0029837	0,0018555	0,0194737	1,2372772
BA20g-5	5,5858139	0,0661517	0,2918655	1,2448872	0,0161277	1,7275507	18,743221	0,4608456	2,0528111	0,0466676	0	0,0128415	0,0100634	0,6428111
BA23g-5	3,5671004	0,0432789	0,3477825	0,2760329	0,0157057	0,952323	9,819576	0,178119	0,3654287	0,0016316	0	0,0118335	0,0057849	0,110997
BA25g-5	2,4103457	0,0913662	0,6826493	2,6420299	0,1699341	0,9464454	7,3100816	0,446279	5,447836	0,102082	0	0,0177503	0,0241293	1,5937671
BA27g-5	0,8063913	0,1557636	0,8843385	3,078146	0,2009623	0,7178173	3,1722748	0,4535271	5,3449024	0,0905046	0,0026313	0,0117683	0,0197133	1,4321225
BA29g-5	2,2310193	0,1111748	2,0950483	5,3349193	0,1722734	0,9218208	4,7196595	0,6154468	5,0366457	0,2022392	0,0017592	0,0146622	0,0250315	3,0181163

Tabela 58– Estatística dos elementos químicos da saída do canteiro

Máximo	5,5858139	0,2360234	2,175573	12,186078	0,4479668	1,7275507	18,743221	1,1446216	10,802169	0,233058	0,0057681	0,0177503	0,0486064	3,0181163
Média	2,0000853	0,0739433	0,7734423	3,0858808	0,1431376	1,0468539	7,3553098	0,4789949	4,7026341	0,0931994	0,0012024	0,0088253	0,0163463	1,5033801
Mínimo	0	0	0,2918655	0,2760329	0,0092364	0,7013012	3,1722748	0,178119	0,3654287	0,0016316	0	9,771E-05	0,0023636	0,110997
Mediana	1,4858055	0,0457777	0,534757	2,4097807	0,127899	0,952323	6,3117819	0,446279	4,6823259	0,0874084	0,00047	0,009003	0,0181528	1,2799831
CV	0,8288735	1,1231794	0,8125355	0,9746601	0,8456365	0,2816449	0,5733828	0,490165	0,5926885	0,6885208	1,4437293	0,5651019	0,7617731	0,5537997
Desvio Padrão	1,6578178	0,0830515	0,6284493	3,0076848	0,1210424	0,294841	4,2174085	0,2347865	2,7871971	0,0641697	0,0017359	0,0049872	0,0124522	0,8325714

Tabela 59 – Porcentagem dos elementos químicos

PORCENTAGEM DOS ELEMENTOS QUIMICOS																				
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Se	Br	Pb
Entrada - MP10	12,12	0,47	2,77	8,40	0,39	5,90	47,23	1,76	13,47	0,34	0,01	0,05	0,36	5,73	0,06	0,51	0,25	0,04	0,08	0,06
Saída - MP10	9,31	0,34	3,60	14,37	0,67	4,87	34,24	2,23	21,89	0,43	0,01	0,04	0,08	7,00	0,02	0,49	0,27	0,03	0,07	0,04

Tabela 60 – Porcentagem dos elementos químicos mais presente

PORCENTAGEM DOS ELEMENTOS QUIMICOS									
	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Outros
Entrada - MP10	12,12	2,77	8,40	5,90	47,23	1,76	13,47	5,73	2,6
Saída - MP10	9,31	3,60	14,37	4,87	34,24	2,23	21,89	7,00	2,5

Figura 127– Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação MP10 Entrada

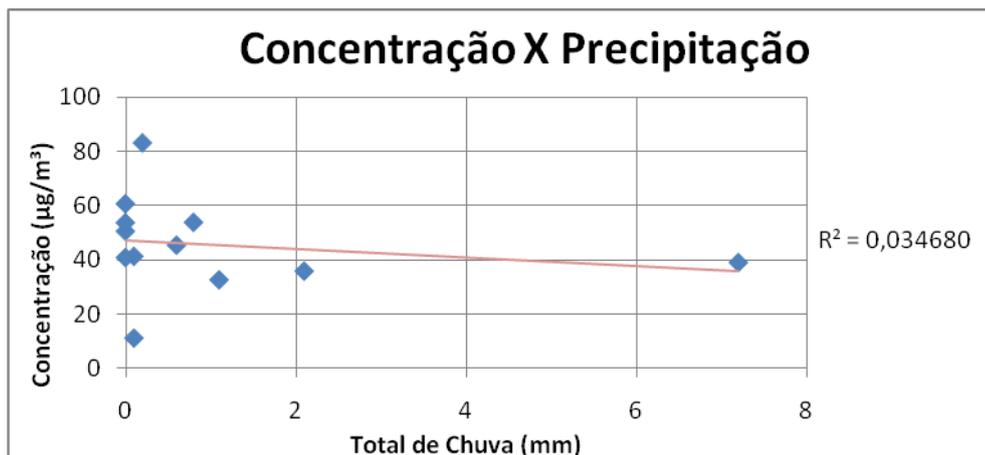


Figura 128 – Gráfico de Correlação da Concentração x Precipitação PTS Entrada

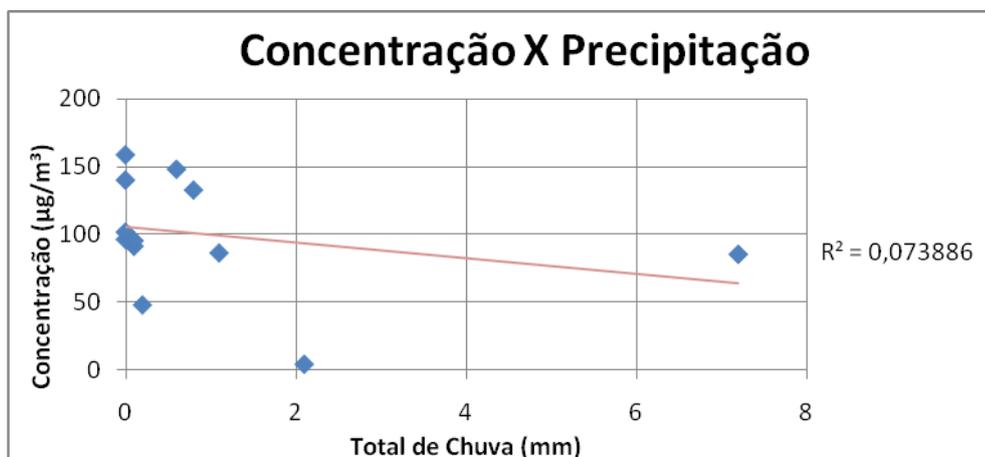


Figura 129– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 Entrada

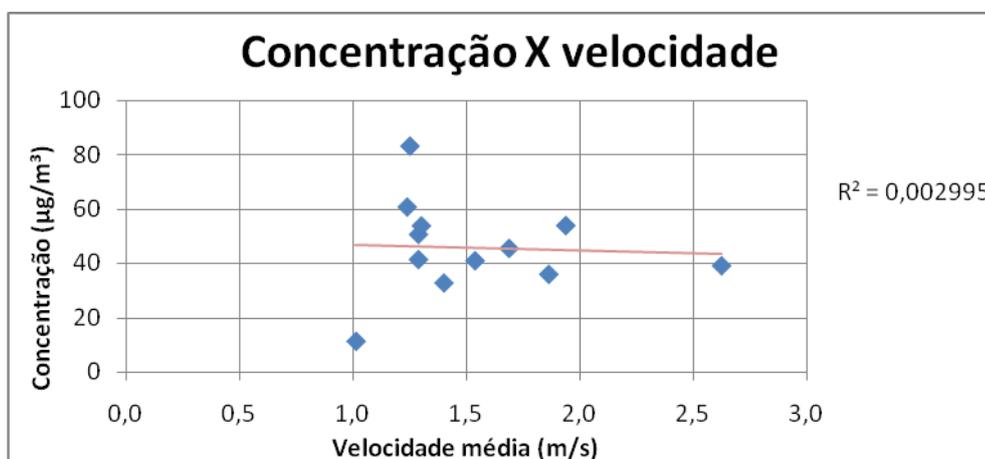


Figura 130– Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade MP10 Saída

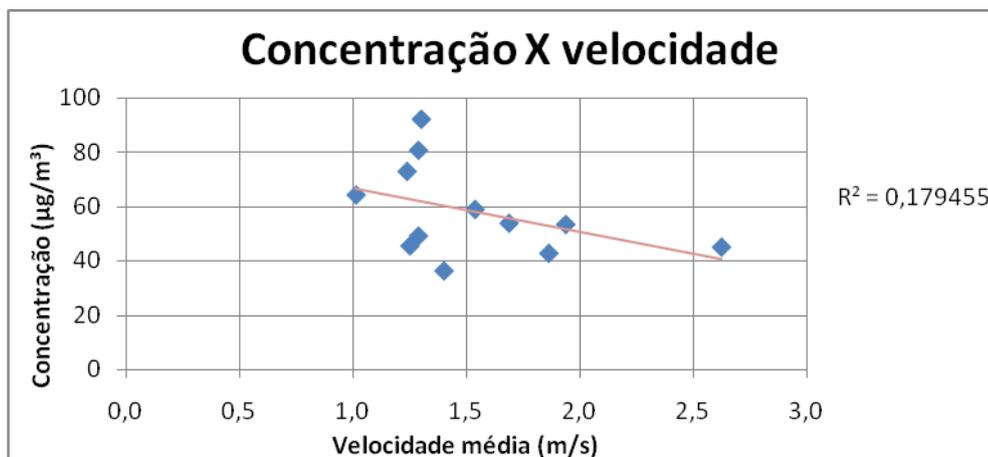


Figura 131– Gráfico de Correlação Concentração x Velocidade PTS Entrada

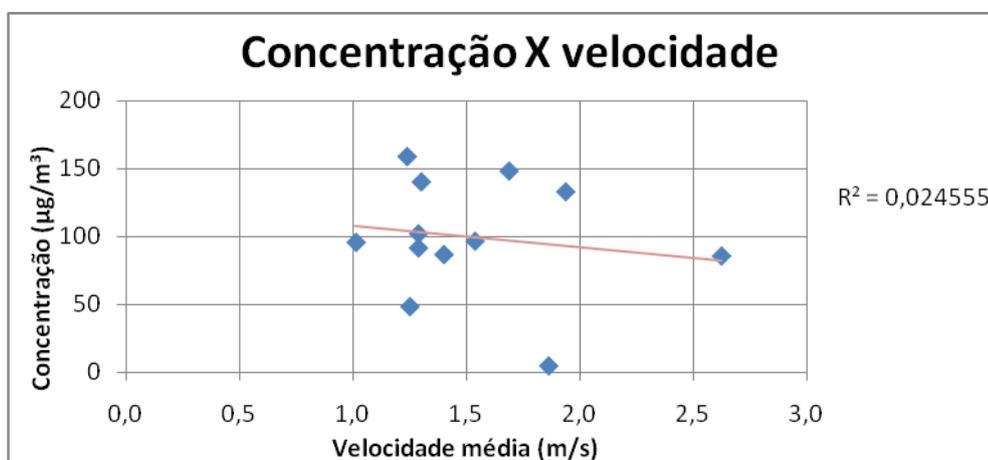


Figura 132 – Gráfico de Correlação da Concentração x Velocidade PTS Saída

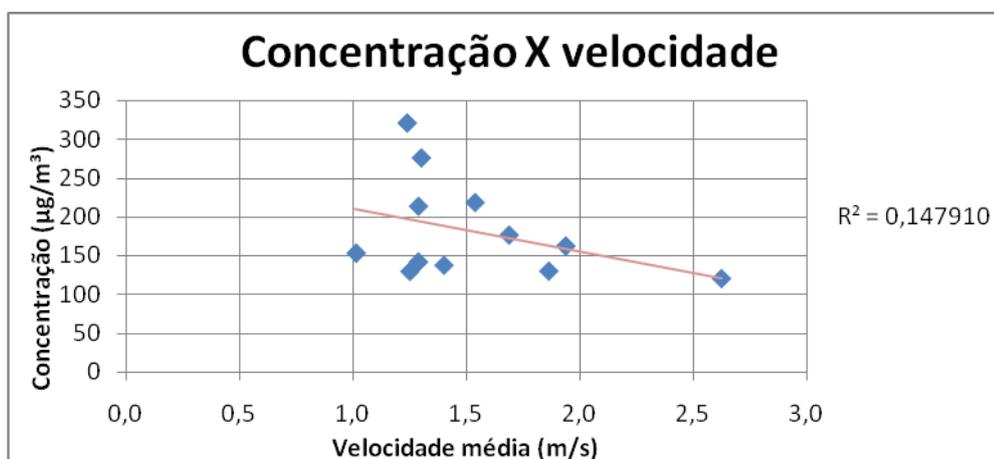


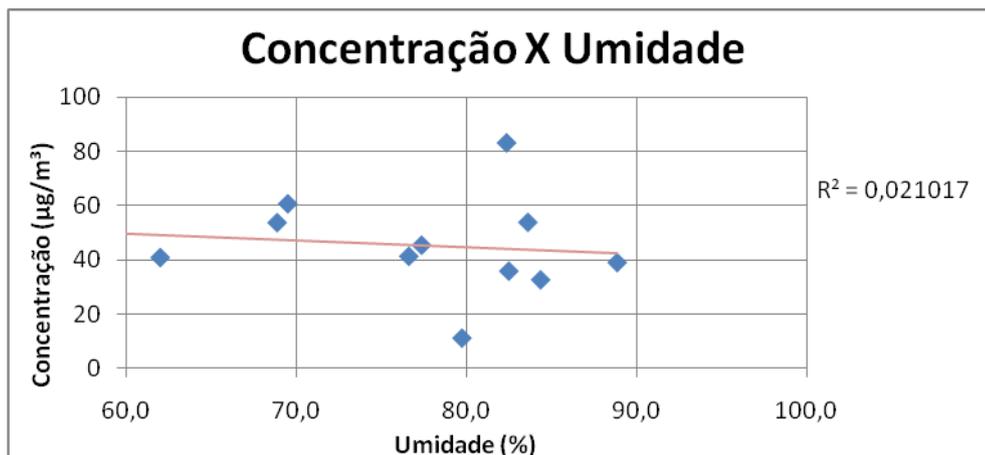
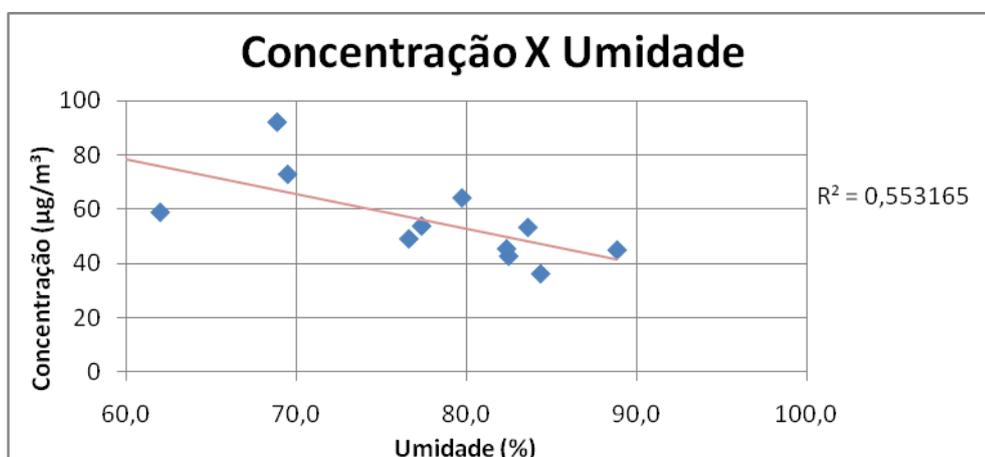
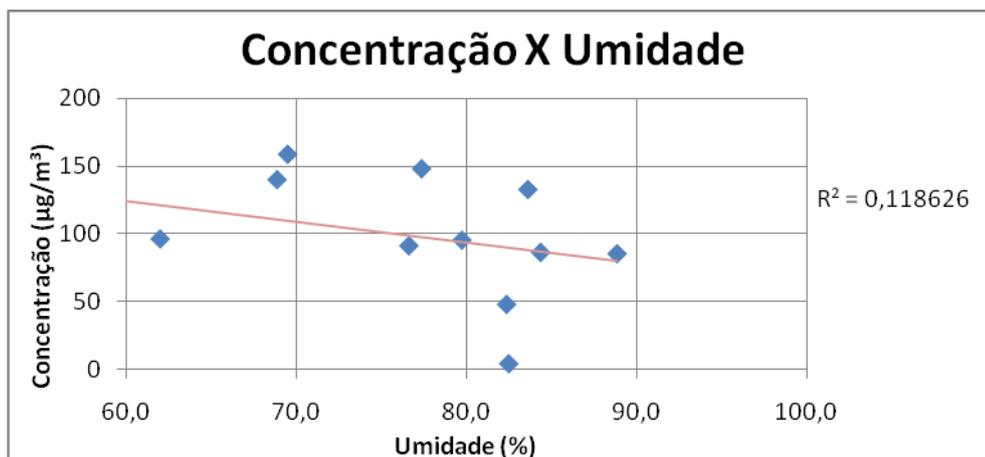
Figura 133– Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 Entrada**Figura 134** – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade MP10 Saída**Figura 135** – Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS Entrada

Figura 136– Gráfico de Correlação da Concentração x Umidade PTS Saída