



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

KARENN SILVEIRA FERNANDES

MATERIAL PARTICULADO FINO (MP_{2,5}) INTERNO DE UM
AMBIENTE ESCOLAR URBANO INFLUENCIADO PELA QUEIMA DE
INDÚSTRIAS OLEICAS

MANAUS

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

KARENN SILVEIRA FERNANDES

**MATERIAL PARTICULADO FINO (MP_{2,5}) INTERNO DE UM
AMBIENTE ESCOLAR URBANO INFLUENCIADO PELA QUEIMA DE
INDÚSTRIAS OLEICAS**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal do Amazonas, como
requisito para obtenção do título de Mestre
em Química.**

**Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cristine de Mello
Dias Machado**

MANAUS

2017

F363m Fernandes, Karenn Silveira
Material particulado fino (MP2,5) interno de um ambiente escolar urbano influenciado pela queima de indústrias oléicas / Karenn Silveira Fernandes. 2017
84 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Cristine de Mello Dias Machado
Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Ambiente interno. 2. Partículas finas (MP2,5). 3. Black Carbon. 4. Composição elementar. I. Machado, Cristine de Mello Dias II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**“MATERIAL PARTICULADO FINO (MP_{2,5}) INTERNO DE
UM AMBIENTE ESCOLAR URBANO INFLUENCIADO
PELA QUEIMA DE INDÚSTRIAS OLEICAS”**

Karenn Silveira Fernandes

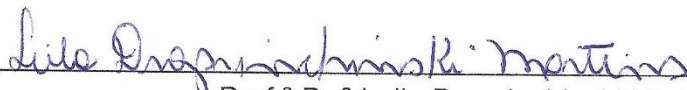
Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Química.

Aprovado, em 31 de março de 2017.

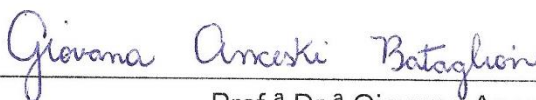
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Cristine de Mello Dias Machado
Universidade Federal do Amazonas
Orientadora



Prof.^a Dr.^a Leila Droprinichinski Martins
Membro Externo - UTFPR



Prof.^a Dr.^a Giovana Anceski Bataglion
Membro UFAM

Universidade Federal do Amazonas
Manaus, 31 de março de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Grande Deus, dono e Senhor de todo o conhecimento. Aquele que me permitiu ter todo o conhecimento necessário para a construção dessa dissertação.

A Prof.^a Dr.^a Cristine Machado por sua dedicada orientação e por me fazer olhar mais além, e aos demais professores do departamento de química pelas palavras de ânimo.

Aos amigos de pesquisa e descobertas: Erickon, José, Emanuelle, Julie e Semira e aos demais amigos de caminhada a qual não ousou nomear para não ser injusta. O apoio e companhia de vocês me fez continuar.

Ao apoio e suporte dos participantes do LAB-Air, na pessoa do Prof.^o Dr.^o Ricardo Godoi. Sem a ajuda de vocês essa dissertação não poderia ter sido escrita.

Ao Dr.^o Paulo Saldiva pelo empréstimo de parte do equipamento de coleta. Obrigada por sua disponibilidade e generosidade.

Aos professores e a gestora Dona Francinete Marinho de Lima da Escola Estadual Isaías Vasconcelos. Agradeço a confiança e ajuda em tudo que precisei durante as coletas.

Aos meus pais e irmã pela compreensão que a distância e as várias viagens de coleta eram necessárias e passageiras.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela provisão da bolsa de mestrado e pelo fomento de passagens e diárias para a realização das missões de estudo na UFPR juntamente com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas.

RESUMO

O material particulado fino (MP_{2,5}) e seus constituintes (*Black Carbon* – BC, metais etc) afetam a saúde humana acarretando em diversas doenças. As crianças e adolescentes são um dos principais grupos de risco à exposição a esse poluentes, com a maior exposição ocorrendo em ambientes internos como nas salas de aula. Em virtude disso, a concentração em massa do MP_{2,5}, do BC e da composição elementar foi avaliada, nas estações chuvosa e seca em 2016, no interior (int) de uma sala de aula e em um ponto externo (ext) de uma escola de educação infantil e médio (Escola Estadual Isaías Vasconcelos – EEIV) do centro de Iranduba. Pertencente à região metropolitana de Manaus, Iranduba é caracterizada pela presença de fontes de emissão por processos de queima, como as indústrias oleicas. A massa do MP_{2,5_int} na seca foi a que obteve a maior concentração (13,8 µg m⁻³). A menor concentração foi para o MP_{2,5_ext} no período chuvoso (4,7 µg m⁻³). Os valores do MP_{2,5_int} demonstra o acúmulo dessas partículas no interior da sala de aula, com a ocorrência de um valor acima de uma norma internacional. A concentração do BC também apresentou os maiores valores no ambiente interno e na seca. Entretanto, a maior contribuição em massa (10,2%) do BC para o MP_{2,5} foi para o ponto externo na seca. A alta correlação entre o MP_{2,5_ext} e o BC_ext, confirma a dependência entre eles e a influência dos processos de queima na região. A concentração de Fe, Ti, Se, S e Ca, para os dois pontos, foram estatisticamente iguais entre as estações. Este comportamento demonstra a presença de fontes contínuas para esses elementos. Uma correlação moderada (0,56), entre o Se e S, foi obtida para o ponto externo durante a seca, indicando fontes comuns de queima (combustíveis fósseis, lixos domésticos etc). O K esteve abaixo do L.D. no período chuvoso mas obteve alta correlação com o Mg na seca, evidenciando a influência da queima de biomassa na região durante esta estação. Dessa forma, o estudo corrobora o pressuposto de Iranduba ser influenciada por processos de queima e, os valores de concentração interna mostram que a ineficiência da ventilação da sala de aula, poderá prejudicar a saúde dos alunos com a exposição continuada.

Palavras chaves: Ambiente interno, MP_{2,5}, *black carbon*, composição elementar.

ABSTRACT

The fine particulate matter (PM_{2.5}) and its constituents (black carbon – BC, metals etc) affect human health leading to several diseases. Children and adolescents are one of the major risk group for exposure to such pollutants, with increased exposure indoors such as in classroom. As a result, the mass concentration of PM_{2.5}, BC and elemental composition was evaluated in the rainy and dry seasons in 2016, inside a classroom and outside a kindergarten and high school (Escola Estadual Isaías Vasconcelos – EEIV) at downtown of Iranduba city. Belonging to the metropolitan region of Manaus, the Iranduba city is characterized by the presence of emission sources by burning process, such as the oleics industries. The highest mass concentration was indoor PM_{2.5} (13.8 µg m⁻³) in the dry season. The lowest mass concentration was outdoor PM_{2.5} in the rainy season (4.7 µg m⁻³). The indoor PM_{2.5} values demonstrated the accumulation these particles inside the classroom, with the occurrence of a value above an international norm. The BC concentration also presented the highest values in the indoor and in the dry season. However, the largest contribution of mass (10.21%) from BC to PM_{2.5} was to outdoor in the dry season. The highest correlation between the outdoor PM_{2.5} and the outdoor BC confirms the dependence between them and the influence of burning process in the region. The concentration of Fe, Ti, Se, S and Ca was statistically the same between the seasons. This behavior demonstrates the presence of continuous sources for these elements. A moderate correlation (0.56) between the Se and S was obtained for the outdoor during the dry season, indicating common burning sources (fossil fuels, household waste etc). The K was below D.L. in the rainy season but it obtained high correlation with the Mg in the dry season, evidencing the influence of biomass burning in the region during this season. Thus, the study corroborate the assumption that Iranduba city is influenced by burning process and the values of indoor concentrations show that the inefficiency of ventilation in the classroom can harm the health of students with continuous exposure.

Keywords: indoor, PM_{2.5}, black carbon, elemental composition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exposição humana em países desenvolvidos e subdesenvolvidos nos diferentes microambientes.....	19
Figura 2: Mecanismos de entrada do MP externo para o interior das construções.	20
Figura 3: Regiões de deposição do MP no sistema respiratório.....	29
Figura 4: Localização e área do município de Iranduba.	32
Figura 5: Normal climatológica do município de Iranduba.	33
Figura 6: a) Número e tipos de veículos motores licenciados em Iranduba. b) Quantidade de escolas públicas e privadas em Iranduba.....	34
Figura 7: a) Fachada da EEIV (Escola Estadual Isaías Vasconcelos), b) e c) ruas que circundam a EEIV, d) muro lateral.	35
Figura 8: Imagens da sala de aula da EEIV: a) detalhes das janelas abertas e entreabertas, b) cortina colocada em uma das laterais, nota-se o ar adentrando a sala e falta de vidro em uma das janelas sob a cortina, c) ar condicionados e ventilador na parede do fundo da sala.	36
Figura 9: Ponto de coleta do ar exterior na EEIV. a) Local de instalação do amostrador, b) amostrador fixado.	37
Figura 10: Equipamento de coleta de material particulado MP _{2,5} , com destaque para impactador inercial (Harvard) e layout de uma das bombas utilizadas.....	37
Figura 11: Partes constituintes do Harvard e corpo impactador.....	38
Figura 12: Triagem dos filtros amostrados: a) validação de um dos lotes de filtros amostrados, b) filtro MPK_13 descartado por apresentar amassados.....	40
Figura 13: Equipamentos utilizados na análise gravimétrica: a) placas de Petri com os respectivos filtros amostrados aclimatando em um dessecador de prateleira, b) microbalança com o compartimento do prato a esquerda e em destaque a caneta antiestática.	41
Figura 14: Equipamento utilizado na análise de BC: a) Transmissômetro ótico (<i>SootScan</i>), b) gaveta com os compartimentos para os filtros.....	42
Figura 15: FRXED utilizado par análise elementar de MP _{2,5} : a) vista frontal do equipamento e com o carrossel de amostras em exposição, b) detalhes do carrossel de amostras e vista próxima dos suportes porta-amostra com um filtro pronto para análise.....	45
Figura 16: Representação dos parâmetros estatísticos descritos em um Box Plot.	49
Figura 17: Distribuição do índice de chuvas e da velocidade do vento durante os dias de coleta nos meses março, abril, agosto e setembro de 2016.	51

Figura 18: Rosa dos ventos indicando a direção predominante dos ventos durante as campanhas amostrais.....	52
Figura 19: <i>Box Plot</i> da concentração de MP _{2,5} interno e externo nas diferentes estações.	54
Figura 20: Variação de concentração do MP _{2,5} interno e externo, nas estações chuvosa e seca.	58
Figura 21: Trajetórias reversas para os dias 20 a 24 de agosto de 2016.	59
Figura 22: <i>Box Plot</i> da concentração de BC no MP _{2,5} interno e externo nas diferentes estações.	60
Figura 23: <i>Box Plot</i> da concentração elementar do MP _{2,5} interno e externo nas diferentes estações.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Pesquisas internacionais e nacionais sobre a determinação da concentração de MP _{2,5} em salas de aula para determinação da qualidade do ar interior escolar (i – coletado no inverno; v – coletado no verão; p – coletado na primavera; o – coletado no outono. (Continua).	22
Quadro 1: Pesquisas internacionais e nacionais sobre a determinação da concentração de MP _{2,5} em salas de aula para determinação da qualidade do ar interior escolar (i – coletado no inverno; v – coletado no verão; p – coletado na primavera; o – coletado no outono. (Conclusão).	23
Quadro 2: Principais fontes de emissão de alguns metais presentes no MP _{2,5}	27
Quadro 3: Níveis regulamentados de material particulado para ambientes interiores e exteriores.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações da reta e seus valores de coeficiente de correlação linear para todos os elementos estudados.....	46
Tabela 2: Estatística descritiva da concentração em massa do $MP_{2,5}$	54
Tabela 3: P-valor do teste U e de Wilcoxon para concentração em massa do $MP_{2,5}$	55
Tabela 4: Estatística descritiva da concentração de BC do $MP_{2,5}$	59
Tabela 5: P-valor do teste U e de Wilcoxon para concentração em massa do BC.	61
Tabela 6: Estatística descritiva da concentração dos elementos presentes no $MP_{2,5}$	63
Tabela 7: P-valor do teste U e de Wilcoxon para composição elementar do $MP_{2,5}$. Valores de $p > 0,05$ estão em vermelho indicando populações iguais.	66
Tabela 8: FE para a composição elementar do $MP_{2,5}$. Valores acima de 5 estão destacados em vermelho.	67
Tabela 9: Comparação entre os valores de concentração elementar determinados em Iranduba e outras regiões.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATN.....	Unidade de atenuação
BC.....	Black Carbon
CPS.....	Contagem por segundo
EEIV.....	Escola Estadual Isaías Vasconcelos
FE.....	Fator de enriquecimento
FRXED.....	Fluorescência de raios X com energia dispersiva
IEMA.....	Instituto Estadual de Meio Ambiente
INCT.....	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
LD.....	Limite de detecção
LQ.....	Limite de quantificação
MP.....	Material particulado atmosférico
MP ₁₀	Partículas grossas
MP _{2,5}	Partículas finas
PTS.....	Partículas totais em suspensão
UFPR.....	Universidade Federal do Paraná
VOCs.....	Compostos Orgânicos Voláteis

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS.....	17
2.1.	Objetivo geral	17
2.2.	Objetivos específicos.....	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1.	Qualidade do ar interior.....	18
3.2.	Qualidade do ar interior em escolas	21
3.3.	Material particulado atmosférico	25
3.3.1.	Fontes e composição.....	26
3.3.2.	Efeitos na saúde e legislação.....	28
4.	METODOLOGIA.....	32
4.1.	Local de estudo	32
4.2.	Ponto de coleta: a escola	34
4.3.	Coleta do MP _{2,5}	37
4.3.1.	Equipamento de amostragem.....	37
4.3.2.	Amostragem.....	39
4.4.	Análises físico-químicas.....	40
4.4.1.	Triagem dos filtros	40
4.4.2.	Concentração em massa do MP _{2,5}	40
4.4.3.	<i>Black carbon</i> (BC) – carbono negro.....	42
4.4.4.	Composição elementar.....	43
4.5.	Elementos meteorológicos	47
4.6.	Tratamento estatístico	48
4.6.1.	Gráfico do tipo <i>Box Plot</i> (gráfico de caixas).....	48
4.7.	Fator de enriquecimento (FE).....	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1.	Elementos meteorológicos	51
5.2.	Caracterização do MP _{2,5}	53
5.2.1.	Distribuição de normalidade	53
5.2.2.	Concentração em massa do MP _{2,5}	54
5.2.2.1.	<i>Estatística descritiva</i>	54
5.2.2.2.	<i>Estatística inferencial</i>	55

5.2.2.3.	<i>Comparação com as normas e análise de evento extremo</i>	57
5.2.3.	BC.....	59
5.2.3.1.	<i>Estatística descritiva</i>	59
5.2.3.2.	<i>Estatística inferencial</i>	61
5.2.4.	Composição elementar.....	63
5.2.4.1.	<i>Estatística descritiva</i>	63
5.2.4.2.	<i>Estatística inferencial</i>	66
5.2.4.3.	<i>Comparação com outros estudos</i>	69
6.	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	APÊNDICE A - FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOLAS	81
	APÊNDICE B - A) MAPA COM DISTÂNCIA EM LINHA RETA ENTRE A ESCOLA ESTADUAL ISAÍAS VASCONCELOS (EEIV) E A ENTRADA DE MANAUS PELA PONTE RIO NEGRO. B) VISTA DE CIMA DA EEIV.	82
	APÊNDICE C – FOLHA DE CAMPO	83
	APÊNDICE D – LQ E LD DOS ELEMENTOS DETERMINADOS POR FRXED	84
	APÊNDICE E – RAZÃO DA CONCENTRAÇÃO INTERNO / EXTERNO (I/E) DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS	85

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um bem comum e de fundamental importância para o bem estar da população e do ambiente como um todo. O aumento das emissões de poluentes atmosféricos nas últimas décadas devido ao crescimento populacional e às mais diversas atividades humanas como tráfego veicular e queimadas vem tornando este tema uma preocupação constante. Entre estes poluentes estão as partículas ou material particulado atmosférico (MP).

O MP é constituído de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera, e têm um papel predominante nos processos atmosféricos (MAGALHÃES *et al.*, 2010). Entre os diferentes tamanhos do MP destacam-se as partículas com diâmetro menor que 2,5 μm , as chamadas partículas finas (MP_{2,5}) (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008), devido aos seus efeitos negativos a saúde (doenças vasculares, alergias e inflamações respiratórias) (HASHMINASSAB *et al.*, 2014), com as crianças e os idosos formando os principais grupos de risco susceptíveis a exposição ao MP.

Dentre todos os microambientes (ambientes internos), é na escola que as crianças/adolescentes dispõem a maior parte do seu tempo. Logo, o interior das salas de aula, torna-se um microambiente propício para estudos da qualidade do ar e seus efeitos, visto que é neste ambiente interior que esses indivíduos estão expostos, mais efetivamente, aos poluentes atmosféricos (CANHA *et al.*, 2014). Nesse contexto, torna-se importante conhecer os níveis e a composição do MP_{2,5} interno, e construir relações com os níveis do MP_{2,5} do ambiente externo para o levantamento de hipóteses sobre a origem do MP_{2,5} e possíveis efeitos da exposição a essas partículas.

No Brasil, estudos com esse enfoque ainda são concentrados na região sudeste do país, geralmente em escolas de grandes cidades próximas à potenciais fontes de MP. Na região metropolitana de Manaus, ou mesmo na região Norte, há poucos estudos relacionados a esse tema.

Neste trabalho pretende-se caracterizar um ambiente escolar no município de Iranduba, um dos municípios constituintes da região metropolitana de Manaus. Na área do município as principais fontes antrópicas de partículas são olarias e a rodovia municipal. Casos de doenças respiratórias em crianças e adolescentes em idade escolar são relatados no município.

Portanto, considerando a localização, as características de Iranduba, e as potenciais fontes internas e externas de poluentes nas escolas da cidade, serão avaliados a concentração e a composição química do material particulado fino em um ambiente interno e em um ambiente externo de uma escola no município de Iranduba.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar o ambiente interno e o ambiente externo de uma escola de ensino infantil e médio do município de Iranduba (AM), em termos de material particulado fino atmosférico (MP_{2,5}), a partir da obtenção de massa, concentração de *black carbon* e composição elementar.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar por gravimetria a massa do MP_{2,5} coletado;
- Quantificar o *black carbon* no MP_{2,5} pela atenuação da radiação no infravermelho;
- Determinar a composição elementar do MP_{2,5} utilizando a técnica de fluorescência de raio X;
- Tratar estatisticamente os dados obtidos e estipular padrões de comportamento entre eles;
- Comparar os valores obtidos de concentração em massa, *black carbon* e composição elementar com valores máximos determinados pelas agências reguladoras.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Qualidade do ar interior

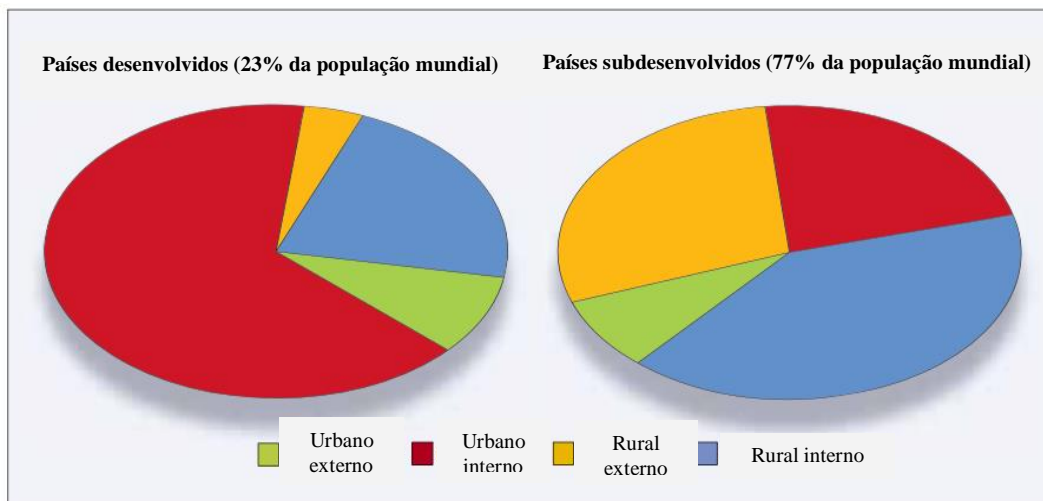
O ar limpo é um requisito básico para a saúde humana e o bem-estar (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010). Entretanto, acredita-se que dois milhões de mortes prematuras por ano ainda são decorrentes dos efeitos da poluição atmosférica de ambientes externos e de ambientes internos (COMIN, 2012; MASSEY et al., 2012).

A preocupação com a qualidade do ar interior iniciou na década de 70, quando pela primeira vez ocupantes de residências e de prédios comerciais relataram problemas de saúde ocasionados, provavelmente, pela baixa qualidade do ar interior dos prédios e casas (MENDELL; HEATH, 2005). Desde então há uma notável busca pelo conhecimento da qualidade do ar interior e seus possíveis efeitos à saúde.

No Brasil, estas pesquisas ainda são bastante escassas e pouco se conhece sobre a qualidade do ar interior que a população está exposta nos microambientes (residências e prédios comerciais ou institucionais) (COMIN, 2012). Importante salientar que o conhecimento sobre a exposição humana, ou seja, o evento quando uma pessoa entra em contato com uma determinada concentração de um poluente durante um certo período de tempo, é parte fundamental e integral da gerência da qualidade do ar (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006a).

Um ser humano adulto passa em média 60-80% do seu tempo em ambientes internos, quer seja em um ambiente urbano ou rural (Figura 1), tornando clara a importância de se mensurar a qualidade do ar e conseqüentemente a exposição humana não só nos ambientes externos, mas também nos microambientes (HASHEMINASSAB et al., 2014; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006a).

Figura 1: Exposição humana em países desenvolvidos e subdesenvolvidos nos diferentes microambientes.



Fonte: (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006a).

Cada microambiente tem características únicas que influenciarão a qualidade do ar interno, como: tipo de construção, móveis e revestimento utilizados etc. Dentre os fatores que influenciam a qualidade do ar interno tem-se (CANHA et al., 2012; SANTOS, 2010):

- * As fontes internas, como: produtos e atividades de limpeza e poeira proveniente do desgaste dos materiais de construção;
- * Os ocupantes e as atividades realizadas no local;
- * A qualidade da ventilação;
- * As fontes do ambiente externo a construção, como: atividades industriais, proximidades com vias de tráfego, saneamento básico etc.

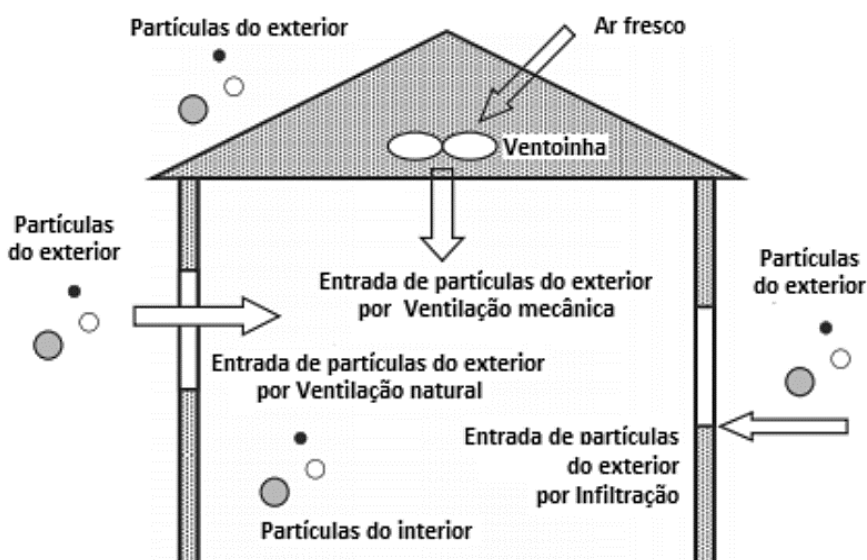
Os poluentes encontrados em um ambiente interno são inúmeros e podem ser divididos em três grandes grupos: químicos, físicos ou biológicos. Entre os poluentes químicos podem ser citados: o material particulado atmosférico (MP); o dióxido de nitrogênio, os compostos orgânicos voláteis (VOCs) etc. Dos poluentes biológicos, podem ser citados: os fungos e as bactérias geralmente oriundas da limpeza ineficiente dos aparelhos de ventilação, os vírus, pólen etc. E os poluentes físicos: temperatura, umidade, poluição sonora, entre outros. (SANTOS, 2010; SILVA, 2015; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006b).

Dentre os poluentes químicos citados, o material particulado atmosférico (MP) é um dos principais vetores dos efeitos deletérios à saúde. Dados de mortalidade diários mostram que em uma escala global, 4-8% da mortalidade prematura podem ocorrer

devido à exposição ao MP total e em especial ao material particulado com diâmetro menor que 2,5 μm (também chamado de material particulado fino ou $\text{MP}_{2,5}$) (MASSEY et al., 2012).

Apesar da possibilidade de fontes internas, a principal contribuição para o ambiente interno de MP é o ar exterior. Logo, uma baixa qualidade do ar no ambiente externo reflete em uma baixa qualidade do ar interno. Este MP externo possui três caminhos ou mecanismos distintos para adentrar no interior das construções e assim afetar a qualidade do ar daquele microambiente, são eles: a ventilação mecânica, a ventilação natural e a infiltração (Figura 2) (CHEN; ZHAO, 2011).

Figura 2: Mecanismos de entrada do MP externo para o interior das construções.



Fonte: (SILVA, 2015).

A ventilação mecânica é aquela originada de algum mecanismo ou equipamento que forçará a troca de ar do meio externo para o interno (ventoinhas, aparelhos de ar condicionado ou ventiladores). Estes aparelhos suprirão o edifício com um “ar fresco” proveniente do lado externo da construção, trazendo para o interior as partículas originalmente externas. Apesar do uso de filtros por alguns desses equipamentos, a remoção dessas partículas não é completa. A ventilação natural é aquela proveniente do fluxo de ar oriundo de janelas e portas abertas. A infiltração refere-se a entrada do MP externo para o interior da construção pelo fluxo de ar por rachaduras ou fendas nas paredes. Em comparação com a ventilação natural a infiltração resulta em uma baixa e lenta troca de ar com o meio externo, tornando a infiltração a primeira porta de entrada

do ar e de partículas externas para o espaço interno da construção (CHEN; ZHAO, 2011; SILVA, 2015).

3.2. Qualidade do ar interior em escolas

As crianças/adolescentes e os idosos são os mais propensos aos efeitos na saúde decorrentes de exposição à poluição do ar dentre os grupos de indivíduos de uma sociedade (JACOBSON et al., 2014; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY et al., 2009). Dessa forma, é importante ter uma boa qualidade do ar interno na escola, visto ser este o ambiente interno com maior regularidade de frequência e permanência diária das crianças e adolescentes (AMATO et al., 2014; FROMME et al., 2008).

Os efeitos mais pronunciados nas crianças e adolescentes deve-se ao fato desses indivíduos respirarem maior quantidade de ar em relação à massa corporal, terem geralmente uma frequência respiratória maior devido a muitas atividades físicas e serem fisiologicamente mais suscetíveis devido aos seus pulmões ainda não completamente desenvolvidos. E ainda, por muitas vezes, pela pressa ou inexperiência, os mais jovens respiram apenas pela boca, evitando o mecanismo de filtração natural do nariz (ALVES et al., 2014; CANHA et al., 2014; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY et al., 2009).

Uma boa qualidade do ar interior escolar reduz os riscos inerentes à exposição a poluentes e favorece o desempenho escolar, trazendo um melhor conforto para alunos professores. As causas que podem reduzir a qualidade do ar interior nas escolas são inúmeras mas podem ser resumidas em alguns pontos principais (CANHA et al., 2012; SANTOS, 2010; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY et al., 2009):

- * Sistema de ventilação ineficiente ou que não possui manutenção regular;
- * Funcionamento e manutenção inadequados do prédio da escola;
- * Baixa qualidade e frequência na limpeza;
- * Muitos estudantes em relação ao volume e área da sala de aula;
- * Presença de variadas fontes internas, como: móveis que emitem VOCs, uso de giz ou pinceis de quadro branco, que podem emitir partículas contendo óxidos de cálcio e zinco, respectivamente, e a ressuspensão de

partículas depositadas nos móveis ou piso devido as muitas atividades internas.

Pesquisas sobre a qualidade do ar interno escolar estão em ampla expansão, principalmente em países europeus onde são encontradas as literaturas mais recente sobre o tema. O Quadro 1 sumariza brevemente, em ordem cronológica, pesquisas internacionais e nacionais, envolvendo a determinação da concentração do MP_{2,5} no interior de salas de aula.

Quadro 1: Pesquisas internacionais e nacionais sobre a determinação da concentração de MP_{2,5} em salas de aula para determinação da qualidade do ar interior escolar (i – coletado no inverno; v – coletado no verão; p – coletado na primavera; o – coletado no outono. (Continua).

Autor/ Ano	Local	Concentração de MP _{2,5} (µg m ⁻³)		Comentários
		Interno	Externo	
PESQUISAS INTERNACIONAIS				
ZWOŹDZIAK et al., 2013	Wrocław, Polónia	107 (11-143) i 25 (12-40) v	55 (20-67) i 11 (3-15) v	Valores em mediana (min.-max.). Local interno: pátio da escola durante as horas de aula.
RIVAS et al., 2014	Barcelona, Espanha	37 (13-84)	29 (10-111)	Valores de média para todas as escolas (min.-max.). Local interno: sala de aula de 39 escolas durante as horas de aula.
TRAN et al., 2014	Região de Nord-Pas-de-Calais, França	59 (35,9-94,2) S1 48,4 (37,5-62,3) S2 29,0 (20,8-35,9) S3	14,4 (7,9-20,4) S1 13,0 (8,6-22,5) S2 11,4 (9,1-13,7) S3	Valores de média (min.-máx.). Local interno: sala de aula em 3 escolas: S1 – zona industrial, S2 – zona urbana/influenciada pelo tráfego, S3 – zona rural.
RAYSONI et al., 2016	Quito, Equador	10,6 (0,4-18,3) Z1 14,7 (4,1-72,1) Z2 10,8 (3,0-44,2) Z3	10,9 (6,1-16,5) Z1 13,2 (6,6-18,9) Z2 13,0 (4,0-34,6) Z3	Valores de média (min.-max.). Local de coleta: sala de aula em 3 escolas com diferentes influências de tráfego: Z1 – média, Z2 – alta, Z3 – baixa.

Quadro 2: Pesquisas internacionais e nacionais sobre a determinação da concentração de MP_{2,5} em salas de aula para determinação da qualidade do ar interior escolar (i – coletado no inverno; v – coletado no verão; p – coletado na primavera; o – coletado no outono. (Conclusão).

PESQUISAS NACIONAIS				
AVIGO JR et al., 2008	Curitiba, PR	-	-	Apesar de ter coletado partículas finas não é disponibilizado o valor da concentração em massa, apenas da concentração elementar (metais) presente nas partículas; sala de aula em 2 escolas
COMIN, 2012	São Carlos, SP	2,12 (0,26-3,95)	74,23	Valores de média com (min.-max.) apenas para o interior. Local de coleta: 2 salas de aula com 4h de amostragem; valor externo para apenas 2 coletas na estação seca (não houve mais coletas de MP _{2,5} externo).
ROSA, 2015	Porto Alegre, RS	331,13 (40,25-479,71) i 448,22 (437,25-464,25) p 437,91 (421,50-451,75) v 34,83 (11,25-61,25) o	332,10 (66,83-490,38) i 460,91 (443,25-487,87) p 448,25 (428,07-475,93) v 58,73 (14,22-155,46) o	Valores de média (mín.-máx.). Local de coleta: 9 escolas em dois pontos da sala de aula e ponto externo na frente da escola e em três rotas principais dos estudantes (casa para a escola) – duas vezes ao dia; medida nas quatro estações.
SANTOS; CARVALHO; SILVA, 2015	Fortaleza, CE	6,29 (5,4-7,35) ¹ 4,58 (3,55-6,26) ²	-	Valores de média (mín.-máx.). Local de coleta: duas salas de aula no Instituto Federal do Ceará; sala 1 – 24h de coleta e sala 2 – 8h de coleta; não houve ponto externo.

Fonte: A autora (2016).

Pode-se notar que na Polônia, Espanha e França (ZWOŹDZIAK et al., 2013; RIVAS et al., 2014; TRAN et al., 2014) a concentração do MP_{2,5} determinada dentro das salas de aula foi maior do que a determinada no lado externo à construção. Portanto, como afirma Zwoździak et al. (2013), a maior exposição dos indivíduos a esse poluente deverá

ocorrer dentro das salas e não ao ar livre, sendo a principal razão para esta maior concentração interna, as atividades de limpeza e os movimentos das pessoas no interior da sala.

Rivas et al. (2014) concluíram que uma significativa fração de massa de $MP_{2,5}$ interno surge das fontes internas e das partículas minerais oriundas do solo. Entretanto, os maiores níveis deste poluente foram determinados nas escolas mais centrais, ou seja, aquelas que possuíam maior influência do tráfego veicular demonstrando que a proximidade com vias de tráfego intenso poderá acarretar em um aporte de massa do $MP_{2,5}$ interior.

Tran et al. (2014) coletou no período da noite (19h – 7h do dia seguinte – “período desocupado”) no interior das salas. Observou-se que a ressuspensão do $MP_{2,5}$ oriunda das atividades internas, durante o período em que as salas estavam ocupadas, influenciavam também na concentração das partículas horas depois das atividades. O estudo mostra que 30% das partículas coletadas durante esse período noturno foram provenientes do período de funcionamento normal da escola. Tal fato demonstra a importância do controle da qualidade do ar no interior de um determinado local, pois os poluentes ali presentes ficarão suspensos por um longo período, podendo entrar em contato com outros indivíduos.

Raysoni et al. (2016) também observou que os maiores níveis de $MP_{2,5}$ ocorreram nas escolas mais centrais ou mais urbanas, e portanto com um possível maior impacto da emissão do tráfego veicular. Contudo, os valores de concentração interna e externa foram bastante similares entre si, levando o autor a concluir que as baixas concentrações de partículas internas são consequência da boa ventilação natural nas escolas, da presença de mínimas fontes internas e de padrões climáticos anuais relativamente uniformes. Portanto, a ventilação nas construções deve ser tratada como ponto importante para evitar o acúmulo dos poluentes internos e assim obter uma boa qualidade do ar interior.

Nos estudos realizados no Brasil não há um padrão em termos de concentração de partículas internas, possivelmente devido as diferenças entre épocas do ano, horas e metodologia de coleta. Algumas discussões importantes desses trabalhos devem ser levadas em consideração e serão discutidas a seguir.

Um estudo foi realizado em pelo menos 5 salas de aulas em duas escolas da cidade de Curitiba – PR para determinar a composição elementar em partículas finas (AVIGO JR et al., 2008). Os resultados demonstraram que o $MP_{2,5}$ interno foi majoritariamente

composto por fuligem (compostos carbonáceos provenientes da combustão incompleta), material biogênico (ex.: pólen) e elementos provenientes do solo.

Comin (2012), relacionou os dados relativos ao $MP_{2,5}$ coletado em uma sala de aula e em um ambiente externo na cidade de São Paulo aos elementos meteorológicos do período da pesquisa, obtendo um coeficiente de correlação de Pearson negativo entre a concentração em massa do $MP_{2,5}$ e a ocorrência de chuvas nos dias de coleta. Tal resultado indicou que os altos valores relativos ao lado externo da construção foi devido à ausência de chuvas levando ao aumento da concentração das partículas e consequente redução da dispersão.

Logo é fundamental a observação dos elementos meteorológicos em um estudo relativo a poluentes atmosféricos para verificar a influência na concentração desses poluentes, e auxiliar no conhecimento de seus comportamentos levando a uma melhor compreensão sobre a dinâmica atmosférica do local estudado.

Rosa (2015) e Santos; Carvalho; Silva (2015) observaram baixos valores internos em comparação com o externo, ou ainda, nenhuma diferença estatística entre interno e externo. Tal resultado foi consequência da boa ventilação no interior da construção, o que ratifica a importância deste parâmetro ao se tratar da qualidade do ar interior.

Santos; Carvalho; Silva (2015) ainda apontam que uma boa qualidade do ambiente interno escolar reflete não só na saúde dos seus ocupantes, mas também na aprendizagem e desempenho escolar dos alunos. Não obstante, o autor ainda pontua a necessidade de novas pesquisas sobre o tema no Brasil para que haja reformas na legislação brasileira e para que este tema possa alcançar uma maior abrangência no cenário nacional.

3.3. Material particulado atmosférico

O material particulado atmosférico (MP) é conhecido como uma mistura complexa de partículas líquidas e sólidas (aerossóis) em suspensão no ar, com diâmetro até cem micrômetros, podendo ser classificado quanto: ao seu tamanho (partículas finas e grossas) e sua formação (partículas primárias e secundárias) (ROSA, 2015; SOUZA et al., 2010).

As partículas grossas (MP_{10}) ou partículas inaláveis, possuem diâmetro entre 2,5 μm e 10 μm , e rapidamente se depositam devido ao seu peso e tamanho. São provenientes

em sua maioria de processos mecânicos, como a ressuspensão do solo pela ação dos ventos, e ficam retidas no trato superior do sistema respiratório (ALVES et al., 2014).

As partículas finas ($MP_{2,5}$) possuem diâmetro menor que 2,5 μm e permanecem no ar por dias ou semanas podendo alcançar grandes distâncias, chegando a outros países e continentes. Essas partículas possuem uma grande superfície por unidade de massa, tornando-as excelentes portadoras de compostos inorgânicos e orgânicos (BAIRD; CANN, 2011; MASSEY et al., 2012; SHALTOUT et al., 2014).

As partículas primárias são aquelas emitidas diretamente para a atmosfera, como fuligem e fragmentos de pneus, pólen, cinzas vulcânicas etc. (BAIRD; CANN, 2011). E as partículas secundárias são as partículas provenientes de reações químicas entre os gases (processos de reação gás-partícula) (PEREIRA et al., 2007).

A permanência do MP na atmosfera é influenciada pelos elementos meteorológicos (radiação, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos etc.) e pelos fenômenos climáticos (El Niño, inversão térmica etc.). Tais fatores podem levar ao aprisionamento do MP em um determinado local, aumentando conseqüentemente sua concentração, ou influenciando na dispersão dessas partículas, levando-as para locais distantes da sua fonte emissora (TORRES; MARTINS, 2005; SANTOS et al., 2016).

3.3.1. Fontes e composição

A composição química do material particulado é primariamente definida em função das suas fontes emissoras. Quer seja da queima de algum combustível, processos químicos ou mesmo emissões naturais, o conhecimento sobre a composição química da partícula pode esclarecer quais são as possíveis fontes de emissão deste material particulado e assim contribuir para um controle de emissão mais efetivo do MP.

No Quadro 2 são apresentados os metais mais comumente encontrados no $MP_{2,5}$ urbano e as suas principais fontes de emissão. Aqueles considerados tóxicos aos organismos e compartimentos ambientais estão demarcados com um asterisco.

Quadro 3: Principais fontes de emissão de alguns metais presentes no MP_{2,5}.

FONTES	METAIS
SOLO / SEDIMENTOS	Cu*, Cd*, Zn, Ca, Mg*, Al, Ca, Fe, K, Na, Ti, Si
EMISSÃO VEICULAR (Abrasão de pneus, freios e chassi e poeira provenientes de rodovias)	Fe, Ba, Cu*, Mn*, Zn, Cd*, Pb*, Sb, S
COMBUSTÃO INCOMPLETA (Processos industriais, resíduos, combustíveis fósseis, diesel e óleo de motor)	Pb*, Cd*, Cu*, Zn, Sb, V, Mn*, Cr, Ni*, Co, S, Cl

Fonte: (AMATO et al., 2014; AVIGO JR et al., 2008; BIRMILI et al., 2006; CANHA et al., 2014; FONTENELE; PEDROTTI; FORNARO, 2009; HASSANVAND et al., 2015; LOYOLA et al., 2012; SHALTOUT et al., 2014; TRAN et al., 2012; VUAI; TOKUYAMA, 2011a).

Legenda: (*) elementos potencialmente tóxicos aos organismos.

Pode-se notar que para muitos destes metais, não há apenas uma fonte pontual que explique a majoritariedade da concentração do elemento na partícula, sendo muitas vezes, um somatório de fontes naturais e antropogênicas.

Contudo, a concentração de metais traço na atmosfera pode ser um bom indicador de poluição ambiental (VUAI; TOKUYAMA, 2011b). Em termos de porcentagem de massa, os metais são oriundos em sua maioria de fontes antropogênicas, e ao se depositarem nos mais diversos compartimentos ambientais, serão potencialmente mais lábeis ou mais disponíveis do que as suas espécies originalmente presentes naquela superfície ou ambiente, impactando o ecossistema como um todo.

Os compostos carbonáceos particulados, por sua vez, compõem uma relevante fração da massa total da partícula em ambientes urbanos e entre as suas várias formas (carbono orgânico, inorgânico, elementar, fuligem etc.), o *black carbon* (BC) ou carbono negro, vem se tornando cada vez mais o foco de pesquisas ambientais.

O aerossol de BC desempenha um papel singular e importante no sistema climático da Terra, alterando as propriedades das nuvens em escalas regionais e globais, afetando a saúde da população e a visibilidade nas grandes cidades. Dessa forma, o BC é utilizado como marcador para a poluição atmosférica oriunda de atividades antrópicas e para o transporte de longo alcance de massas de ar poluídas (BOND et al., 2013; BUSECK et al., 2012; ZHANG et al., 2014).

O BC é um tipo único de material carbonoso que é formado primariamente em chamas e é emitido diretamente para a atmosfera. Suas principais propriedades físicas e que o distingue dos outros compostos ricos em carbono são (BOND et al., 2013):

- * Elevada absorção da luz visível;
- * É altamente refratário com uma temperatura de vaporização próxima de 4000K;
- * Morfologicamente é um agregado de pequenas esferas de carbono;
- * Insolúvel em água e solventes orgânicos, como: metanol e acetona.

Como o BC é oriundo unicamente de processos relacionados à combustão, suas principais fontes são: a queima de diesel pelos motores veiculares e/ou industriais, a queima de combustíveis sólidos (carvão e biomassa) e os incêndios florestais (BOND et al., 2013; LONG; NASCARELLA; VALBERG, 2013).

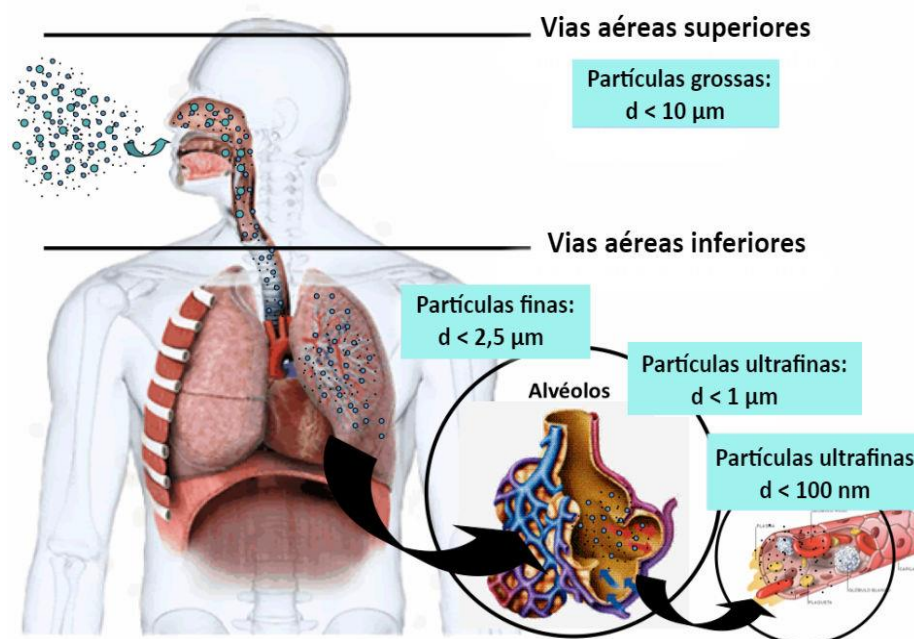
É importante notar que o BC e o MP possuem fontes urbanas em comum, logo, uma grande fração da massa do MP urbano é devido à presença de BC na partícula, acarretando na diminuição da visibilidade e no aquecimento da atmosfera nas grandes cidades, devido à grande interação do BC com a luz visível (BARBOSA, 2014a; BOND et al., 2013; ZHUANG et al., 2014).

3.3.2. Efeitos na saúde e legislação

Estima-se que no ano de 2050, a exposição à poluentes atmosféricos exteriores será uma das grandes causas ambientais de mortes prematuras globais (FAJERSZTAJN et al., 2013). Os maiores efeitos da poluição atmosférica sobre a população ocorre nos países em desenvolvimento como: Brasil, Rússia, Índia e China, onde há grandes cidades com um rápido desenvolvimento urbano e industrial, e crescimento constante da demanda por energia e bens materiais, acarretando na geração contínua e muitas vezes desenfreada de poluentes atmosféricos (FAJERSZTAJN et al., 2013; FERNANDES et al., 2010).

Dentre estes poluentes, o $MP_{2,5}$ é considerado o mais perigoso entre os particulados. Devido ao seu pequeno tamanho, o $MP_{2,5}$ possui maior potencial de penetração pulmonar superando a região extratorácica e o seu sistema natural de filtro (onde se depositarão as partículas de maior diâmetro), chegando a região pulmonar onde finalmente irá se alojar nos alvéolos, podendo ainda adentrar a corrente sanguínea (Figura 3) (AVIGO JR et al., 2008; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014).

Figura 3: Regiões de deposição do MP no sistema respiratório.



Fonte: (GUARIEIRO; GUARIEIRO, 2013).

Além disso, estudos mostram que há uma forte associação causal entre a morbidade e mortalidade cardiovascular e respiratória e a exposição a longo e curto prazo ao $\text{MP}_{2,5}$ e seus constituintes (AMARAL, 2013; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2015). Os metais presentes no $\text{MP}_{2,5}$, por exemplo, podem agravar os problemas de inflamações e infecções do trato respiratório superior e inferior, liberando os radicais livres no fluido do pulmão através da reação de Fenton, com a hipótese de provocar inflamação celular, conduzindo o organismo ao estresse oxidativo (BIRMILI et al., 2006; CANEPARI et al., 2006; HASSANVAND et al., 2015; QUITERIO et al., 2004).

Evidências recentes indicam que os efeitos à exposição ao $\text{MP}_{2,5}$ também englobam as doenças cardiovasculares (AMARAL, 2013). Pesquisas mostram que a presença do $\text{MP}_{2,5}$ na corrente sanguínea poderá causar alteração na coagulação e ativação plaquetária e ainda provocar a liberação de citosinas no sistema circulatório, promovendo a formação de trombozes e possíveis obstruções vasculares (AMARAL, 2013; ANDERSON; THUNDIYIL; STOLBACH, 2012; MANTOVANI et al., 2016).

Logo, os efeitos a exposição ao $\text{MP}_{2,5}$ são consistentes e significativos para a saúde humana, e esses pequenos efeitos individuais resultam em uma grande carga na saúde

pública global, demonstrando a necessidade da regulação da emissão desse e demais poluentes atmosféricos.

Em virtude disto, diversas regulamentações veem sendo elaboradas e revisadas periodicamente ao redor do mundo. No Quadro 3 estão descritos os limites de MP_{2,5} regulamentados para ambientes internos e externos pelas principais agências ambientais mundiais.

Nota-se que, apesar dos estudos crescentes sobre a qualidade do ar em ambientes interiores, não há muitas regulamentações para o MP_{2,5} nesses ambientes, com exceção de Portugal, que estipulou os índices por decreto, em 2013. As demais agências internacionais, possuem apenas guias informativos sobre os principais poluentes internos, as causas da má qualidade do ar interior e meios práticos para melhorá-la. Entretanto, a Organização Mundial da Saúde já indicou na reunião prévia para elaboração do novo guia da qualidade do ar, realizada em 2016, a necessidade da formulação de um índice limite para a concentração de MP_{2,5} interior.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária possui uma orientação técnica sobre a qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo (RE/ANVISA n.º 9), com a descrição do valor máximo de material particulado que deverá estar presente no interior dessas construções. Entretanto, a norma engloba apenas as partículas totais em suspensão (PTS), ou seja, todas aquelas presentes no ambiente sem limitação de tamanho ($0 < \varnothing < 100 \mu\text{m}$).

Em termos de ambiente externo, não há uma regulamentação federal em vigor para o MP_{2,5}. O Conselho Nacional do Meio Ambiente possui norma apenas para o PTS e MP₁₀. Entre os Estados da Federação, o Estado de São Paulo através da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e o Estado do Espírito Santo através do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), possuem normas em vigor para o MP_{2,5} impostas por decretos publicados em 2013. Ambos os Estados possuem metas intermediárias diárias e anual (MI1, MI2 e MI3) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas visando a melhoria da qualidade do ar, e um padrão final diário e anual (PF) determinado como o melhor valor de conhecimento científico, pelo qual a saúde da população será preservada ao máximo. A MI1, para ambas as legislações foram impostas desde o ano da publicação do decreto e estão atualmente em vigor. As metas intermediárias subsequentes e o PF entrarão em vigor após decorrido o tempo descrito em cada decreto (CETESB – a cada 4 anos, IEMA – a cada 3 anos) (ESTADO DE SÃO PAULO, 2013; GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2013).

Quadro 4: Níveis regulamentados de material particulado para ambientes interiores e exteriores.

AMBIENTE INTERNO	
LEGISLAÇÃO	CONCENTRAÇÃO
Ministério do Ambiente (Portugal) (MINISTÉRIO DO AMBIENTE, 2013)	25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (MP _{2,5} – Média em 8 horas)
Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil) (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003)	80 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Partículas totais em suspensão – média anual)
AMBIENTE EXTERNO	
LEGISLAÇÃO	MP_{2,5}
National Ambient Air Quality Standards (Estados Unidos) (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2013)	35 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média diária)
	12 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média anual)
European Commission Air Quality Standards (União Europeia) (PARLAMENTO EUROPEU; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2008)	25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média anual)
World Health Organization Air Quality Guidelines (Organização Mundial da Saúde) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006a)	25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média diária)
	10 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média anual)
French Agency for Food Environmental and Occupation Health & Safety (França) (FRENCH AGENCY FOR FOOD ENVIRONMENTAL AND OCCUPATION HEALTH & SAFETY, 2016)	25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média diária)
	10 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Média anual)
Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo – Brasil) (ESTADO DE SÃO PAULO, 2013)	Valor de meta média diária
	MI1 60 $\mu\text{g m}^{-3}$
	MI2 50 $\mu\text{g m}^{-3}$
	MI3 37 $\mu\text{g m}^{-3}$
	PF 25 $\mu\text{g m}^{-3}$
	Valor de meta média anual
MI1 20 $\mu\text{g m}^{-3}$	
MI2 17 $\mu\text{g m}^{-3}$	
MI3 15 $\mu\text{g m}^{-3}$	
PF 10 $\mu\text{g m}^{-3}$	
Instituto Estadual de Meio Ambiente (Espírito Santo – Brasil) (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2013)	Valor de meta média diária
	MI1 Sem meta
	MI2 50 $\mu\text{g m}^{-3}$
	MI3 37 $\mu\text{g m}^{-3}$
	PF 25 $\mu\text{g m}^{-3}$
	Valor de meta média anual
MI1 Sem meta	
MI2 20 $\mu\text{g m}^{-3}$	
MI3 15 $\mu\text{g m}^{-3}$	
PF 10 $\mu\text{g m}^{-3}$	

Fonte: A autora (2016).

4. METODOLOGIA

4.1. Local de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Iranduba, em uma escola de ensino fundamental e médio, localizada no centro da cidade. O município pertence à região metropolitana de Manaus e está situado ao sul da capital do Estado do Amazonas, na margem esquerda do Rio Solimões, na confluência com o Rio Negro (Figura 4) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

Figura 4: Localização e área do município de Iranduba.



Fonte: (GUIANET, 2017; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

Possuindo uma área de 2.214,251 km² e uma população estimada de 40.781 habitantes, Iranduba é vulgarmente conhecida como a cidade das chaminés devido à presença marcante de olarias de fabricação de tijolos e cerâmicas ao longo da rodovia municipal (Rodovia Manoel Urbano – AM070), que dá acesso à cidade passando por bairros rurais do município.

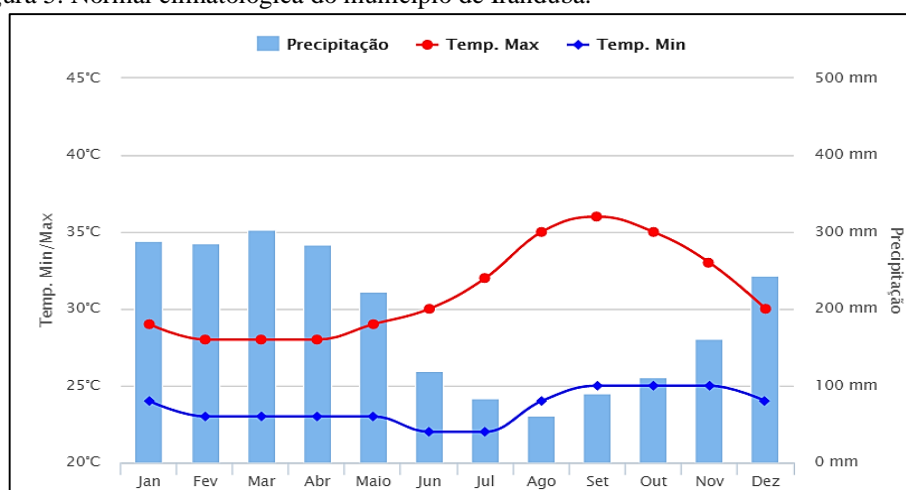
A base da economia é o setor primário seguido do setor secundário. No setor primário, destacam-se a piscicultura, com a criação de tambaquis em açudes, a pecuária de corte e para produção de leite. Há também a agricultura e o extrativismo vegetal, cuja prática de retirada de madeiras é tradicional no município, tendo os subprodutos

aproveitados como lenha para olarias. No setor secundário, destaca-se a massiva presença de olarias como a principal indústria do município, tanto na zona rural quanto na zona urbana do município, com um faturamento mensal médio, no ano de 2013, de aproximadamente 10 milhões de reais, com 50% das 30 indústrias oleicas localizadas em Iranduba (PINHEIRO, 2015). Há ainda a presença de serrarias, frigoríficos, laticínios e panificadores em todos os bairros do município movimentando a economia local. (BIBLIOTECA VIRTUAL DO AMAZONAS, 2014; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014).

Em relação ao clima, a classificação climática de Köppen atribui ao Estado do Amazonas um clima do tipo tropical chuvoso com um subclima tropical de monção, caracterizado por possuir grande precipitação acumulada anual, com a existência de um período curto de seca entre o sétimo e nono mês. Entre esses meses mais secos, pelo menos um possui precipitação acumulada menor que 60mm (CERQUEIRA, 2006; PIDWIRNY, 2011).

A normal climatológica com os dados de trinta anos da variação de chuva e temperatura para o município de Iranduba, evidencia essa grande precipitação acumulada citada e os meses caracterizados como a estação seca para a região (julho a setembro) (Figura 5) (CLIMATEMPO, 2015).

Figura 5: Normal climatológica do município de Iranduba.

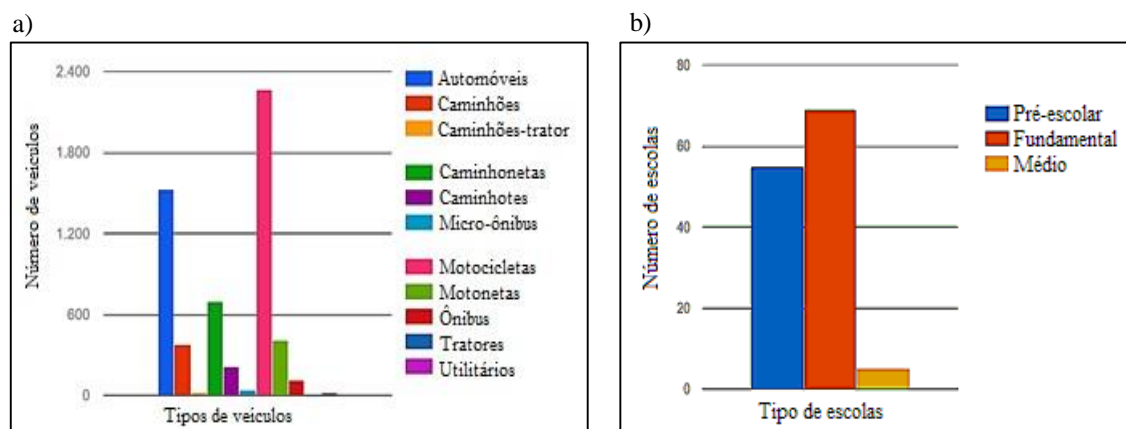


Fonte: (CLIMATEMPO, 2015).

De acordo com o último censo, a cidade de Iranduba possui uma frota de aproximadamente 5.688 veículos sendo as motocicletas as de maior número (2.262 motocicletas) (Figura 6a). Em termos de escolas, o município dispõe de um total de 55

escolas pré-escolar, 69 de ensino fundamental e 5 de ensino médio que atendem um total de 15.604 alunos, sendo: 1.818 alunos na pré-escola, 11.410 no ensino fundamental e 2.376 no ensino médio (Figura 6b) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

Figura 6: a) Número e tipos de veículos motores licenciados em Iranduba. b) Quantidade de escolas públicas e privadas em Iranduba.



Fonte: (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

4.2. Ponto de coleta: a escola

A seleção do ponto de coleta foi baseada em um levantamento das escolas de ensino infantil e/ou fundamental do município de Iranduba onde haviam relatos de doenças respiratórias entre os alunos, ou aquelas com prováveis influências de fontes potenciais de emissão de partículas para a atmosfera.

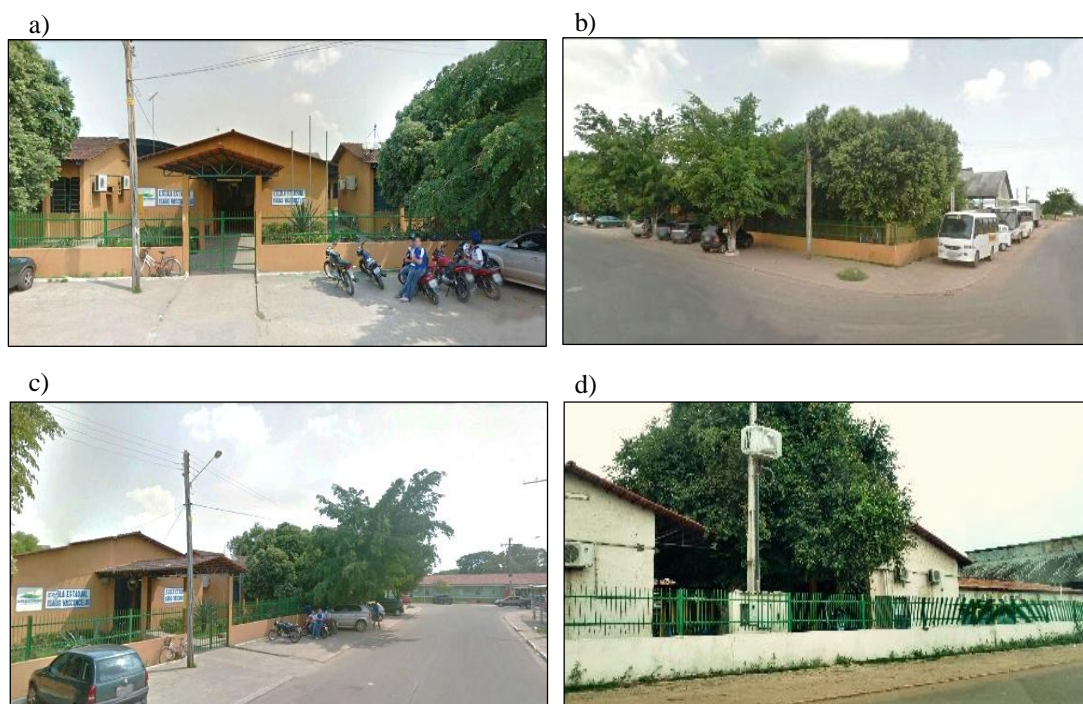
Em seguida, foram realizadas visitas à quatro escolas, para reconhecimento e preenchimento de uma ficha de caracterização, contendo parâmetros importantes que podem influenciar a qualidade do ar interno e também as condições para a instalação e segurança do equipamento de coleta (Apêndice A).

Entre as escolas visitadas, selecionou-se a Escola Estadual Isaías Vasconcelos (EEIV) (Figura 7), que obteve a melhor avaliação em termos de segurança para o equipamento, da proximidade com possíveis fontes de poluição para o ar interior e do relato de casos conhecidos de doenças respiratórias em alunos e nos moradores dos arredores da escola.

A EEIV está situada na Avenida Rio Madeira no Centro de Iranduba (longitude: 60°11'7.24"O, latitude: 3°16'59.79"S) a aproximadamente 23 km de distância em linha

reta de Manaus (APÊNDICE B), com ensino fundamental pela manhã (07:15 às 11:30) e ensino médio à tarde (13:00 às 17:00), tendo cerca de 35 alunos por sala, com idades entre 13 e 18 anos. As salas de aula seguem o padrão de construção das escolas do Estado do Amazonas com revestimento em tinta nas paredes, forro de pvc e piso de concreto polido.

Figura 7: a) Fachada da EEIV (Escola Estadual Isaías Vasconcelos), b) e c) ruas que circundam a EEIV, d) muro lateral.



Fonte: a, b, c) Google Inc. (2016), d) A autora (2016)

Para a coleta do $MP_{2,5}$ interno, selecionou-se uma sala de aula localizada no lado esquerdo do prédio, próximo a uma das ruas de acesso à escola, no intuito de verificar a real influência das partículas externas no ar interior das salas de aula.

Na sala escolhida, havia algumas janelas que não possuíam os vidros e outras que ficavam entreabertas devido à problemas físicos de falta de manutenção periódica do prédio, ou podiam ser completamente abertas durante o horário escolar e/ou intervalos, não havendo uma rotina ou controle para abertura das mesmas. (Figura 8a). Para minimização da claridade e do calor oriundo do lado exterior, uma das paredes da sala foi coberto com uma grande cortina colocada em frente as janelas. Entretanto, estas janelas continuavam entreabertas sob a cortina que não impedia completamente a entrada de ar para sala, comprovado pela movimentação constante do tecido (Figura 8b).

Além dos aparelhos de ar condicionado presentes em todas as salas, ventiladores de parede foram colocados para a diminuição da temperatura e consequente melhoria da

qualidade térmica da sala (Figura 8c). Os condicionadores de ar ficavam ligados durante todo o horário de aula (manhã e tarde), sendo deligados apenas nos intervalos entre os turnos. Para os ventiladores, assim como para as aberturas completas das janelas, não havia uma rotina bem definida, sendo ligados principalmente em dias muito quentes ou caso houvesse algum mal funcionamento no condicionador de ar.

Figura 8: Imagens da sala de aula da EEIV: a) detalhes das janelas abertas e entreabertas, b) cortina colocada em uma das laterais, nota-se o ar adentrando a sala e falta de vidro em uma das janelas sob a cortina, c) ar condicionados e ventilador na parede do fundo da sala.



Fonte: A autora (2016).

Deste modo, a sala onde foi realizada a coleta do ar interior será considerada, para efeitos das discussões posteriores, como uma “sala aberta”, ou seja, uma sala onde há troca livre de corrente de ar entre o meio externo e o meio interno.

A coleta de $MP_{2,5}$ também foi realizada em um ponto externo, localizado na grade do muro lateral da escola (Figura 9), para obtenção dos dados de massa e composição química também do $MP_{2,5}$ exterior. O amostrador externo foi instalado em um local com ampla ventilação a uma distância mínima de 1 metro de qualquer obstáculo, para que não houvesse nenhuma barreira física entre o mesmo e ar corrente de ar.

Figura 9: Ponto de coleta do ar exterior na EEIV. a) Local de instalação do amostrador, b) amostrador fixado.



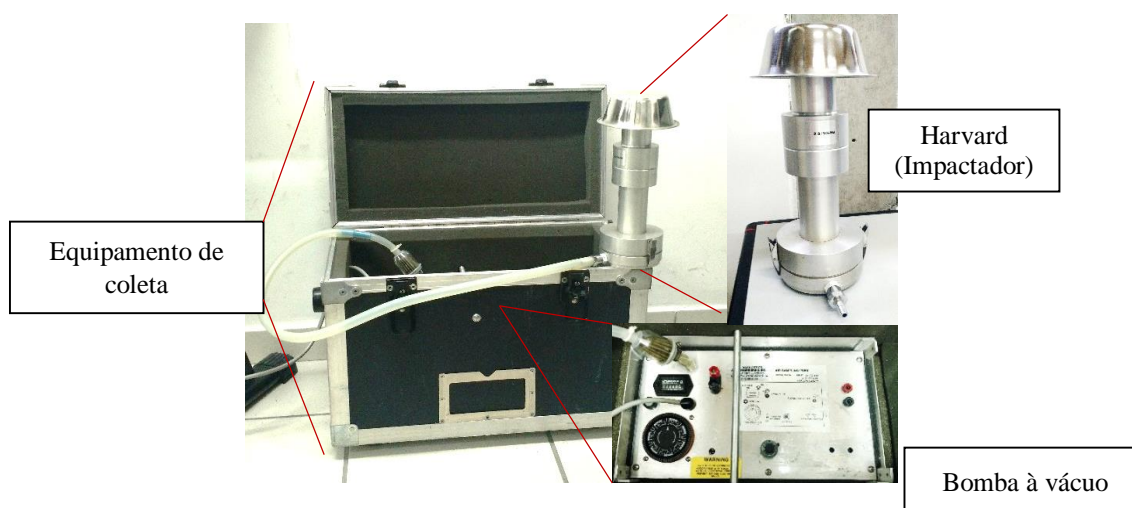
Fonte: A autora (2016).

4.3. Coleta do MP_{2,5}

4.3.1. Equipamento de amostragem

Para a coleta simultânea do material particulado fino interno e externo foram utilizados dois equipamentos. Ambos consistindo em uma bomba de vácuo conectada a um impactador inercial (Figura 10).

Figura 10: Equipamento de coleta de material particulado MP_{2,5}, com destaque para impactador inercial (Harvard) e layout de uma das bombas utilizadas.



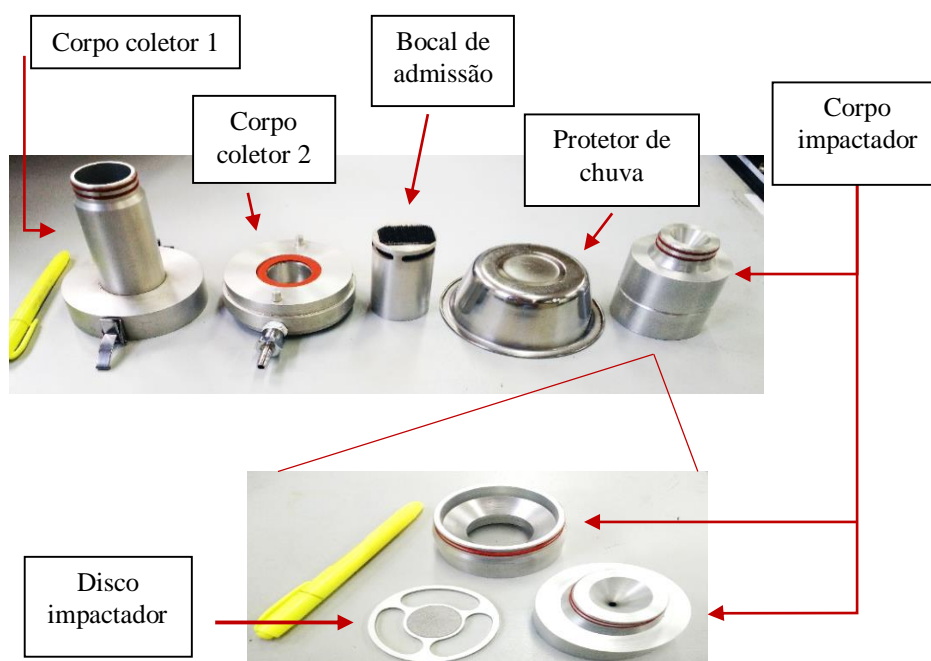
Fonte: A autora (2016).

Este impactador inercial, desenvolvido pela Escola de Saúde Pública da Universidade de Harvard, aqui chamado apenas de Harvard, possui a capacidade de corte de partículas com diâmetro de 2,5 μm em um fluxo de 10 L min^{-1} , ou seja, neste fluxo

específico o impactador coletará apenas o MP_{2,5}. Todas as partículas acima de 2,5 µm de diâmetro ficam retidas na parte superior do equipamento, que será posteriormente lavado (Figura 11). Logo, o Harvard é a parte principal do equipamento de coleta, pois é o responsável em segregar e capturar apenas as partículas finas suspensas (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008). O fluxo específico para o equipamento foi medido com a ajuda de um rotâmetro acoplado na mangueira de entrada de ar no início e fim de cada coleta.

O ar aspirado pela bomba de vácuo adentra o Harvard pelas aberturas laterais localizadas na parte superior (bocal de admissão). Devido a barreira ao fluxo causada pelo corpo do impactador o ar é acelerado chocando-se a um disco poroso chamado de disco impactador. Devido a inércia, as partículas com diâmetro maior que o ponto de corte (2,5 µm) chocam-se contra o disco previamente umedecido com óleo mineral fixando-as. As partículas finas, por serem mais leves, continuam em suspensão no fluxo ar desviando-se do disco impactador. Estas continuam, pelo fluxo de ar forçado pela bomba, pelo corpo coletor 1 sendo, por fim, depositadas em um filtro localizado na parte inferior do Harvard, o corpo coletor 2 (Figura 11).

Figura 11: Partes constituintes do Harvard e corpo impactador.



Fonte: A autora (2016).

4.3.2. Amostragem

A coleta de $MP_{2,5}$ foi realizada diariamente, de segunda a sexta, durante o horário escolar (7:00 às 17:00 horas, incluindo os intervalos) com a finalidade de medir a exposição direta dos estudantes à atmosfera interior da sala de aula. A coleta do ar exterior foi feita simultaneamente à coleta interior, em um local de boa ventilação (Figura 9) dentro do perímetro escolar para posterior estudo de influências internas/externas em termos de massa e composição das partículas.

Para observar a influência da sazonalidade sobre os parâmetros estudados, foram realizadas duas campanhas de amostragem, uma em cada estação climática, de acordo com a normal climatológica do município e a classificação climática da região (Figura 5). O período caracterizado com a abundância de chuvas, recebeu o nome de estação chuvosa, e aquele com baixa precipitação foi denominado de estação seca.

A campanha da estação chuvosa compreendeu os meses de março e abril de 2016, e a campanha da estação seca, os meses de agosto e setembro do mesmo ano. Em ambas as estações, coletou o $MP_{2,5}$ por cinco semanas, tomando o cuidado de abranger a maior distribuição temporal possível e observando o calendário de dias letivos da escola. Dessa forma, realizou-se para cada estação um total de 21 coletas.

As datas e horas de início e término de cada coleta foram anotadas em folha de campo (Apêndice C) para posterior cálculo de tempo total de coleta e volume de ar amostrado. Observações de campo que poderiam influenciar nos dados de concentração e composição do $MP_{2,5}$ em cada coleta, como: movimentação anormal na sala de aula, presença de fumaça nos arredores da escola etc, foram anotadas em livro ata para posterior consulta e elucidação de possíveis questionamentos.

Utilizou-se como superfície para recolhimento do $MP_{2,5}$ filtros de policarbonato de 37 mm (Nuclepore[®]) devidamente pesados e acondicionados em placas de Petri plásticas individuais, fechadas até o momento da coleta.

Um filtro limpo, chamado de branco, foi separado a cada lote (um lote equivale a dez filtros) para análise de possíveis contaminantes contidas no mesmo. Este foi analisado com o mesmo rigor e metodologia daqueles amostrados. Após a coleta, o filtro amostrado foi retirado do Harvard e, com o auxílio de pinça, recolocado na placa de Petri plástica de origem até análise do mesmo.

4.4. Análises físico-químicas

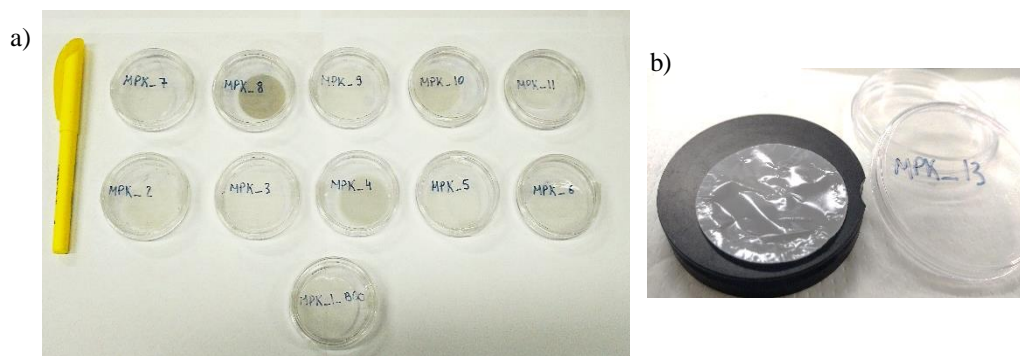
As análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Análise e Qualidade do Ar (LAB-AIR) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba. Toda a metodologia de análise foi realizada obedecendo o protocolo do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Análise Integrada do Risco Ambiental (LPAE; LAPAT, 2009) em vigor no LAB-AIR.

4.4.1. Triagem dos filtros

Inicialmente foi realizada uma triagem nos filtros amostrados, em busca daqueles filtros que possuíam algum defeito oriundo do manuseio durante a coleta: pingos de água, ranhuras oriundas de amassados, rasgos etc (Figura 12).

Os filtros que possuíam algum defeito foram descartados das análises físico-químicas posteriores. Tal separação fez-se necessário para que houvesse uma padronização dos filtros na análise, diminuindo portanto, possíveis erros amostrais e aleatórios.

Figura 12: Triagem dos filtros amostrados: a) validação de um dos lotes de filtros amostrados, b) filtro MPK_13 descartado por apresentar amassados.



Fonte: A autora (2016).

4.4.2. Concentração em massa do $MP_{2,5}$

Após a triagem dos filtros, realizou-se a determinação da concentração em massa do $MP_{2,5}$. Tal análise gravimétrica consistiu na subtração das medidas de massa de um filtro antes e depois da coleta, realizadas em triplicata. Fez-se o mesmo procedimento com o branco de cada lote, obtendo um valor de massa final também para o branco.

Subtraiu-se o valor da variação de massa do filtro amostrado pelo valor de variação de massa do filtro branco, observando o lote específico dos filtros, obtendo um valor de massa corrigido, sem possíveis interferências oriundas do material do filtro. Dividiu-se então, esta massa corrigida pelo volume total amostrado de cada coleta obtendo o valor da concentração em massa de $MP_{2,5}$ no volume de ar amostrado ($\mu\text{g m}^{-3}$) (Equação 1).

$$MP_{2,5} = \left[(m_f - m_0)_{amostra} - (m_f - m_0)_{branco} \right] / V \quad (1)$$

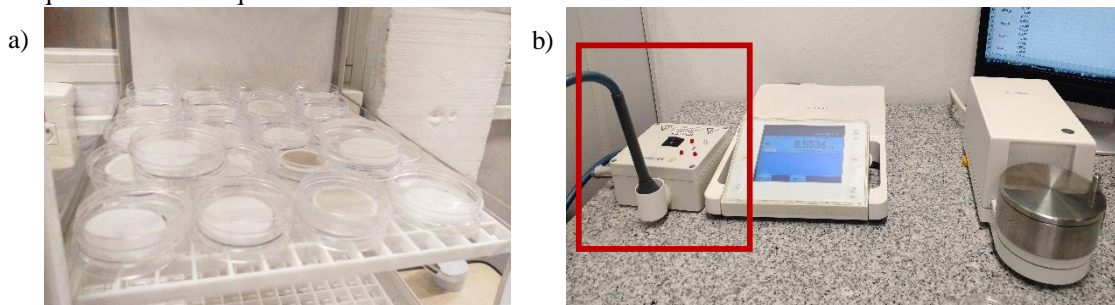
Onde:

- * m_f – valor médio da massa do filtro pós coleta (μg)
- * m_0 – valor médio da massa do filtro pré coleta (μg)
- * V – volume total de ar amostrado (m^3)

O procedimento de análise gravimétrica descrito seguiu a norma NIOSH 0500, onde se determina que o filtro pré e pós amostragem deve ser aclimatado em um dessecador (Figura 13a), por um período de pelo menos 24 horas, em um ambiente com umidade ($50\% \pm 5\%$) e temperatura ($20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$) controlada (NIOSH, 1994).

Antes de cada medida de massa utilizou-se uma caneta antiestática (Sartorius®) para neutralização das cargas estáticas superficiais do filtro e obtenção de valores de massa mais exatos. Para a medida da massa foi utilizada uma microbalança analítica com resolução de $0,1 \mu\text{g}$ (Sartorius – MAS2.7S-000-DF) devidamente calibrada (Figura 13b). Após a determinação da massa do filtro, o mesmo foi recolocado em sua placa de Petri plástica original até a realização das demais análises físico-químicas.

Figura 13: Equipamentos utilizados na análise gravimétrica: a) placas de Petri com os respectivos filtros amostrados aclimatando em um dessecador de prateleira, b) microbalança com o compartimento do prato a esquerda e em destaque a caneta antiestática.



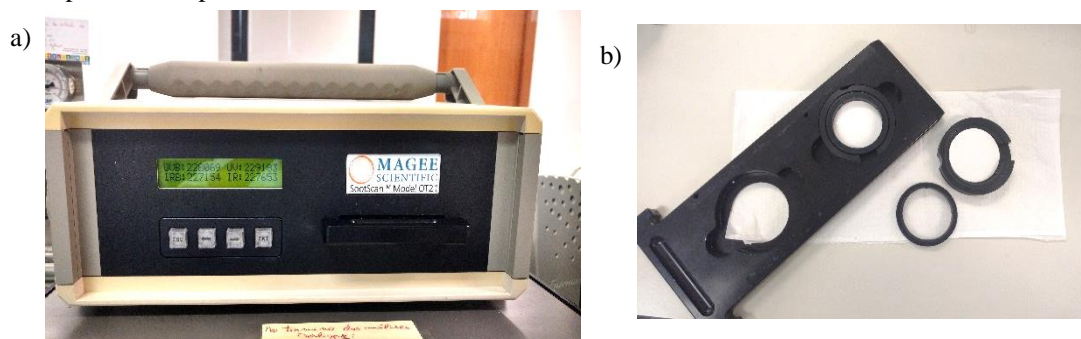
Fonte: A autora (2016).

4.4.3. *Black carbon* (BC) – carbono negro

Para quantificação de BC utilizou-se um transmissômetro ótico (*SootScan*) (Magee Scientific Company – OT 21) (Figura 14a). Este equipamento permite uma análise não destrutiva, onde uma radiação na região do infravermelho ($\lambda=880$ nm) é incidida sobre o filtro. A análise é rápida e eficaz, com duração de aproximadamente trinta segundos para medida da atenuação da radiação transmitida, sendo portanto uma técnica bastante atraente pelo baixo custo e rapidez das análises (FORDER, 2013). As medidas de atenuação da radiação transmitida de cada filtro foram feitas em triplicata e a média dos valores foi utilizada para calcular a concentração de BC no material particulado coletado.

Para a realização da medida, os filtros foram colocados em uma gaveta do equipamento com dois compartimentos (Figura 14b). No compartimento frontal colocou-se o filtro amostrado e no posterior, um filtro limpo (branco), também chamado de filtro de referência, disponibilizado pelo laboratório.

Figura 14: Equipamento utilizado na análise de BC: a) Transmissômetro ótico (*SootScan*), b) gaveta com os compartimentos para os filtros.



Fonte: A autora (2016).

Uma medida nula de absorção foi realizada no início das análises através da leitura da atenuação da radiação pelo filtro de referência. Este filtro não é retirado durante as análises, devido a necessidade da referência da radiação nula pelo equipamento, durante a leitura no filtro amostrado.

O BC presente no filtro, absorverá a radiação ($\lambda=880$ nm) incidida pela lâmpada do equipamento, acarretando em uma atenuação da intensidade da radiação transmitida, frente a intensidade da radiação de referência, transmitida pelo filtro branco.

Após a leitura das 3 medidas e obtenção das médias das leituras para cada filtro, a concentração de BC na atmosfera ($\mu\text{g m}^{-3}$) para cada dia amostrado foi obtido de acordo com a Equação 2:

$$BC = \left(A/V \cdot \sigma_a(\lambda) \right) \cdot ATN \quad (2)$$

Onde:

- * ATN – unidade de atenuação;
- * A – área amostrada do filtro (cm^2);
- * V – volume total amostrado (m^3);
- * $\sigma_a(\lambda)$ – coeficiente de absorção do filtro ($\text{cm}^2 \mu\text{g}^{-1}$)

O valor da unidade de atenuação (ATN) é o valor resposta do equipamento baseado na razão entre a intensidade da radiação de referência transmitida (filtro branco) (I_0) e a intensidade da radiação atenuada (I) (Equação 3). A partir deste valor (ATN), obteve-se a média das medidas utilizada para obtenção da concentração de BC na atmosfera.

$$ATN = 100 * \ln \left(I_0 / I \right) \quad (3)$$

O valor do coeficiente de absorção do filtro ($\sigma_a(\lambda)$) ($\text{cm}^2 \mu\text{g}^{-1}$) é inerente ao material do filtro (índice “a”) e ao comprimento de onda de leitura do método ($\lambda = 880$ nm). Este coeficiente permite corrigir, do cálculo de concentração do BC, interferências provenientes da absorção da radiação pelo material do filtro. Sem esta correção, haveria uma maior atenuação da intensidade da energia transmitida, devido à absorção de parte desta radiação pelo material do filtro (policarbonato), acarretando em uma consequente diminuição da concentração calculada do BC. Para o filtro utilizado (policarbonato), o valor de $\sigma_a(\lambda)$ utilizado foi de $8,3 \text{ cm}^2 \mu\text{g}^{-1}$ obtido através do coeficiente angular da reta de calibração em análise interlaboratorial entre este equipamento e um refletômetro calibrado.

4.4.4. Composição elementar

Para a determinação da composição elementar do $\text{MP}_{2,5}$ coletado, utilizou-se a técnica de fluorescência de raio X com energia dispersiva (FRXED), que possui como

vantagem o fato de ser uma técnica de análise não destrutiva possibilitando a reutilização da amostra para outras análises (BARBOSA, 2014a).

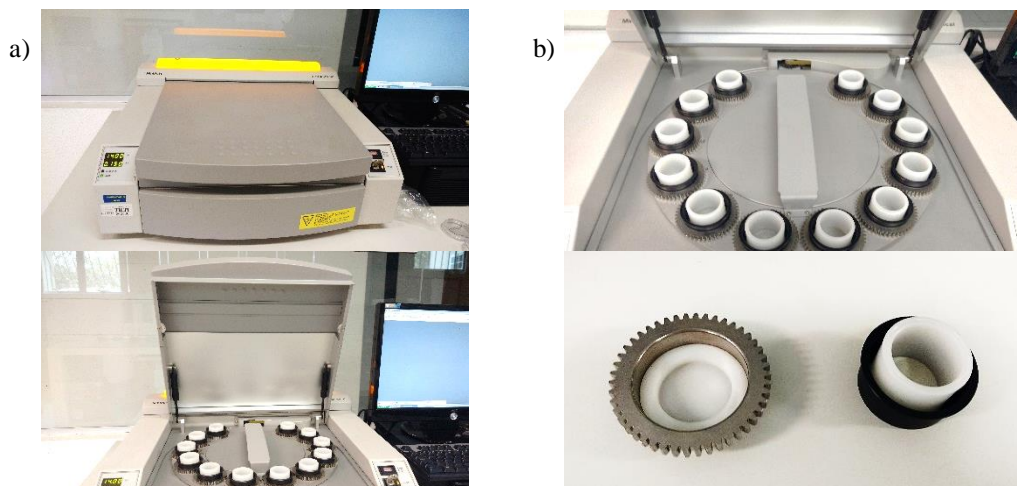
O FRXED é um método qualitativo, quantitativo e simultâneo. Baseia-se na produção e detecção de raios X característicos provenientes do fenômeno fotoelétrico dos elementos da amostra após serem bombardeados com o raio X. A detecção por energia dispersiva é efetuada por um detector de silício que gera o espectro de intensidade em função da energia e permite que a análise seja mais rápida e de baixo custo (SANTOS et al., 2013; SKOOG et al., 2014).

Os raios X provenientes da fonte, em contato com os elétrons das camadas mais internas dos elementos presentes na amostra, os levarão à fotoejeção causando uma vacância neste subnível energético. Para que haja estabilidade, rapidamente um elétron vizinho àquele ejetado libera parte de sua energia preenchendo a vacância. Esta energia liberada, a radiação de fluorescência emitida no comprimento de onda do raio X é ímpar a cada átomo presente na amostra. A radiação de fluorescência emitida permite identificar o elemento, e a intensidade permite o cálculo da concentração através de uma curva de calibração previamente construída (FERRETTI; TIRELLO, 2009; SANTOS et al., 2013).

Um espectrômetro de bancada FRXED Minipal 4 (PANalytical®) (Figura 15) foi utilizado para a análise dos elementos: Al, Si, Cr, Cu, Pb, Fe, Co, Ti, Mn, Se, Pt, Sn, S, Sr, Br, P, Na, Cl, K, Mg, Ca, Zn. Todas as análises, tanto o filtro branco como o filtro amostrado, foram realizadas em triplicata. A voltagem e corrente ótimas para a fonte de raio X foram determinadas com base em padrões de referência (Micromatter, Seattle, WA, EUA) e validadas pela medição de padrão de várias camadas finas para cada elemento e um material de referência (NIST – 2783 partículas de ar em meio filtrante).

Os elementos analisados foram separados em 2 grupos em função da voltagem e corrente otimizadas: (1) voltagem de 30 kV e corrente de 0,3 mA para Al, Si, Cr, Cu, Pb, Fe, Co, Ti, Mn, Se, Pt, Sn, S, Sr, Br, P, e (2) voltagem de 9 kV e corrente de 1 mA para Na, Cl, K, Mg, Ca, Zn. Todas as medidas foram feitas em atmosfera de hélio para diminuição de interferências espectrais com um tempo total de corrida de 600 segundos.

Figura 15: FRXED utilizado par análise elemental de $MP_{2,5}$: a) vista frontal do equipamento e com o carrossel de amostras em exposição, b) detalhes do carrossel de amostras e vista próxima dos suportes porta-amostra com um filtro pronto para análise.



Fonte: A autora (2016).

Para todos os elementos construiu-se uma curva de calibração afim de se determinar a faixa linear de resposta do equipamento, e qual a sua relação com a concentração desse elemento no filtro. Para isso, filtros padrões com valores conhecidos de concentração ($\mu\text{g cm}^{-2}$) dos elementos foram utilizados. Esses filtros eram do mesmo material (policarbonato) do filtro utilizado para a coleta do $MP_{2,5}$ e são padrões rastreados obtidos comercialmente, onde as diferentes concentrações dos elementos de interesse foram uniformemente pulverizadas pelo fabricante sobre os filtros.

Todas as curvas foram submetidas as mesmas características de análises (voltagem, corrente e atmosfera de He) descritas anteriormente em função do elemento estudado. Os valores resposta do equipamento (r – contagem por segundo (cps)) e a concentração dos elementos ($\mu\text{g cm}^{-2}$) foram então plotados em um gráfico linear, afim de se obter a equação da reta da concentração em função do r (BROUWER, 2010) que explicasse a relação linear entre eles e o respectivo coeficiente linear dessa relação. As equações e os seus respectivos coeficientes lineares (R) dos elementos estudados estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1: Equações da reta e seus valores de coeficiente de correlação linear para todos os elementos estudados.

ELEMENTO	EQUAÇÃO DA RETA (x = $\mu\text{g cm}^{-2}$)	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR (R)
Al	x = -0,020 + 0,027r	0,998
Br	x = -0,045 + 0,026r	0,998
Ca	x = -0,031 + 0,004r	1,000
Cl	x = -0,378 + 0,002r	0,999
Co	x = -0,011 + 0,005r	0,998
Cr	x = -0,015 + 0,007r	0,999
Cu	x = -0,119 + 0,005r	0,998
Fe	x = -0,073 + 0,006r	0,998
K	x = 0,035 + 0,023r	0,990
Mg	x = -1,710 + 0,060r	1,000
Mn	x = -0,194 + 0,006r	0,995
Na	x = -8,134 + 0,309r	0,999
P	x = -0,992 + 0,023r	0,990
Pb	x = -0,029 + 0,019r	0,999
Pt	x = -0,048 + 0,015r	0,999
S	x = -0,403 + 0,003r	0,999
Se	x = -0,008 + 0,009r	0,999
Si	x = -0,338 + 0,010r	0,953
Sn	x = -0,016 + 0,048r	0,999
Sr	x = -0,019 + 0,023r	0,993
Ti	x = -0,005 + 0,010r	0,999
Zn	x = -0,021 + 0,004r	1,000

Fonte: A autora (2017).

Após a obtenção da curva e dos respectivos coeficientes de correlação linear de cada elemento, calculou-se os valores do limite de detecção (LD) e de quantificação (LQ) inerente a cada metal de acordo com a Equação 4 e 5 (ARANA et al., 2014). Para ambos os cálculos utilizou-se um valor médio obtidos de 20 filtros brancos. Os valores estipulados estão descritos no Apêndice D.

$$LD = \frac{3}{s} \sqrt{\frac{r_b}{t}} \quad (4)$$

$$LQ = \frac{10}{s} \sqrt{\frac{r_b}{t}} \quad (5)$$

Onde:

- * LD – limite de detecção ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
- * LQ – limite de quantificação ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
- * s – sensibilidade da curva padrão ou coeficiente angular da curva padrão [$\text{cps} (\mu\text{g cm}^{-2})^{-1}$]

- * r_b – média da contagem por segundo de 20 brancos (cps)
- * t – tempo de análise (s)

O valor de s descrito na Equação 4 e 5 pode ser determinado matematicamente através da Equação 6:

$$s = r_p / c_p \quad (6)$$

Onde:

- * s – sensibilidade da curva padrão ou coeficiente angular da curva padrão [$\text{cps} (\mu\text{g cm}^{-2})^{-1}$]
- * r_p – contagem por segundo do padrão (cps)
- * c_p – concentração do padrão ($\mu\text{g cm}^{-2}$)

Para a obtenção da concentração de cada elemento na atmosfera de Iranduba ($\mu\text{g m}^{-3}$), utilizou-se a Equação 7 onde multiplicou-se o valor da concentração do elemento obtido pela equação da reta (Tabela 1) pela área amostrada do filtro e o dividiu pelo volume de ar amostrado (m^3).

$$X = (y \cdot A) / V \quad (7)$$

Onde:

- * X – concentração de um elemento qualquer ($\mu\text{g m}^{-3}$)
- * y – valor de concentração calculado pela equação da reta ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
- * A – área amostrada do filtro (cm^2)
- * V – volume total amostrado (m^3)

4.5. Elementos meteorológicos

Os dados de elementos meteorológicos (direção e velocidade dos ventos, índice de chuvas) foram adquiridos por meio de uma estação automática localizada no Campo Experimental do Caldeirão (longitude: $60^\circ 13.6695'$ O, latitude: $3^\circ 15.1975'$ S) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na Rodovia Manoel Urbano, km 13, Estrada do Caldeirão, Iranduba-AM. Escolheu-se esta estação por ser a de maior proximidade com o local de coleta. Os valores para a direção dos ventos foram plotados e um gráfico do tipo rosa dos ventos foi construído com o auxílio do programa gratuito WRPlot distribuído pela Lake Environment®.

4.6. Tratamento estatístico

A discussão dos resultados foi feita a partir da análise estatística descritiva (média, mediana, distribuição, correlações etc) e da análise estatística inferencial (testes de hipóteses). Dessa forma, buscou-se a criação de uma matriz de dados válidos, onde todos os valores de concentração (massa, BC e concentração elementar) foram subtraídos do valor do branco referente a cada lote e descritos em função do volume amostrado.

Para a composição elementar, um tratamento adicional foi realizado nos dados adquiridos pelo equipamento:

- Os elementos com mais de 40% de valores perdidos (uma das amostras do par interno/externo retirada devido a problemas na amostragem ou manuseio dos filtros, valor igual a 0 após a retirada do valor do branco ou abaixo do LQ) foram desconsiderados das discussões. Para os demais elementos com pelo menos 60% de dados válidos, substituiu-se os valores abaixo do LQ (caso possuíssem) pela metade do limite de quantificação (CARVALHO, 2003; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2009; FROMME et al., 2008; HASHEMINASSAB et al., 2014).

De posse dos dados válidos de todas as variáveis, os mesmos foram submetidos à medidas da distribuição de normalidade, ou seja, identificação dos grupos de dados seguem uma forma de sino (Curva Gaussiana) quando dispostos em uma curva de distribuição (NORMANDO; TJÄDERHANE; QUINTÃO, 2010). Posteriormente, em função da distribuição determinada, testes de hipóteses de igualdade entre médias e variâncias foram realizados com os dados válidos.

Para a realização dos testes estatísticos e construção dos gráficos utilizou-se dois programas: Origin Pro 9.0 32 Bits e o software Action distribuído pelo Portal Action, o qual é utilizado como complemento do Excel, sendo um software de sistema aberto e livre, desenvolvido sobre a plataforma R. Todos os testes foram realizados a um nível de significância (α), ou seja a probabilidade de um resultado estar fora do intervalo de confiança, de 5%.

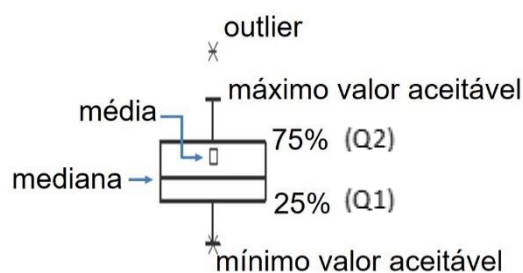
4.6.1. Gráfico do tipo *Box Plot* (gráfico de caixas)

O uso de gráficos para uma melhor visualização e entendimento do conjunto dos dados é uma ferramenta importante na estatística. Os gráficos de linhas e do tipo *Box Plot*,

ou gráfico de caixas são comumente utilizados em trabalhos com grande quantidade de dados e úteis para a visualização de dispersão dos dados.

Em um gráfico do tipo *Box Plot* além da dispersão é possível também visualizar a variabilidade e assimetria nos dados, pois nele são descritos: o primeiro e terceiro quartil (Q1 e Q2 correspondentes a 25% e 75% dos dados, respectivamente), a média, a mediana e os valores máximo, mínimo e discrepantes (*outliers*) (Figura 16).

Figura 16: Representação dos parâmetros estatísticos descritos em um Box Plot.



Fonte: A autora (2016).

Quanto maior a amplitude do gráfico maior a dispersão dos dados onde 50% dos mesmos são descritos pelo retângulo. Caso a mediana esteja no centro do retângulo e coincida com a marcação da média é demonstrada uma distribuição simétrica (também chamada de distribuição normal ou paramétrica) pelo conjunto de valores. Uma linha de mediana próximo a Q1 ou Q2 demonstra uma assimetria na distribuição dos dados. As retas ligadas ao retângulo mostram a variabilidade dos dados representando os valores mínimo e máximo. A presença de asteriscos, inferiores ou superiores, indicam a presença de *outliers* (valores discrepantes) no conjunto de valores. (PETENATE, 2017).

4.7. Fator de enriquecimento (FE)

Com o FE é possível mensurar se a concentração de um dado elemento está enriquecida sob àquela esperada para o solo, logo, o FE permite avaliar as contribuições do solo e de fontes antropogênicas para o MP (BARBOSA, 2014a; CANHA et al., 2014). Com os dados de concentração elementar calculou-se o fator de enriquecimento (FE) para os elementos analisados de acordo com a Equação 5 a seguir:

$$FE_X = \frac{(C_X/C_R)_{particula}}{(C_X/C_R)_{solo}} \quad (5)$$

Onde C_X é a concentração do elemento que se busca conhecer o enriquecimento e C_R é a concentração de um elemento tomado como referência, cujo valor foi obtido de Mason (1971). Os índices “partícula” e “solo” se referem aos valores de C_X e C_R no $MP_{2,5}$ e no solo, respectivamente.

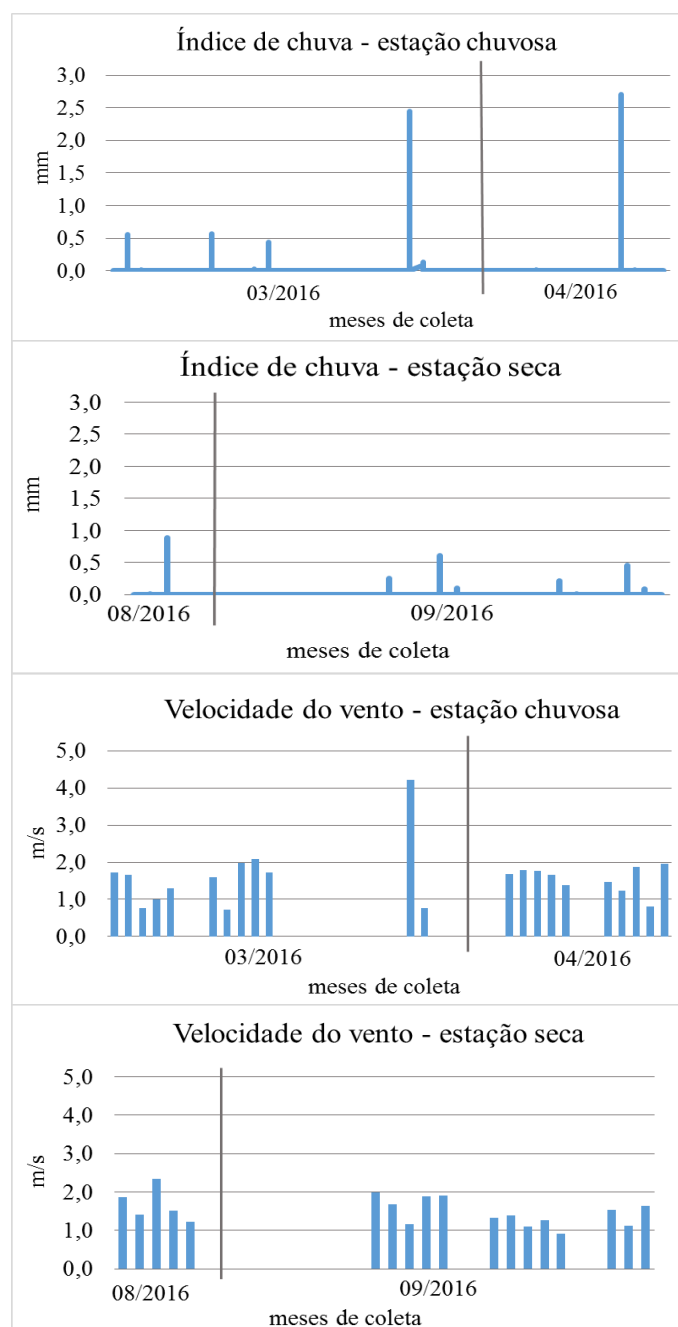
Valores de FE próximos a unidade indicam que o solo foi o principal contribuinte para a composição do MP, valores entre 1 e 5 indicam que o elemento foi proveniente de outras fontes além do solo, e valores acima de 5 sugerem a predominância de fontes antropogênicas sobre a emissão do solo (HASSANVAND et al., 2015).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Elementos meteorológicos

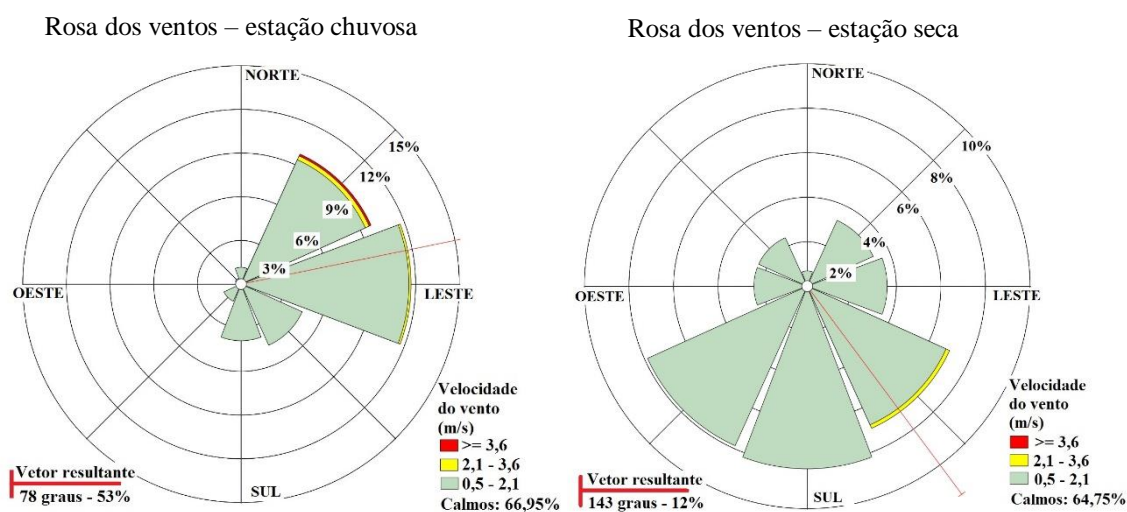
Os dados do índice de chuvas, velocidade e direção do vento coletados da estação automática do Campo Experimental do Caldeirão durante as campanhas amostrais nas duas estações (chuvosa e seca) de 2016 estão apresentados nas Figuras 17 e 18.

Figura 17: Distribuição do índice de chuvas e da velocidade do vento durante os dias de coleta nos meses março, abril, agosto e setembro de 2016.



Fonte: A autora (2016).

Figura 18: Rosa dos ventos indicando a direção predominante dos ventos durante as campanhas amostrais.



Fonte: A autora (2016).

Analisando os índices de chuva é possível notar que os meses correspondentes à cada estação seguiram o comportamento descrito pela normal climatológica (Figura 5), sendo março e abril, na primeira campanha, meses com maior precipitação pluviométrica (11,18 mm) e agosto e setembro, na segunda campanha, meses mais secos (3,28 mm).

Os dados de velocidade do vento apresentados nas Figuras 17 e 18 mostram que, de forma geral, os ventos foram de baixa velocidade durante as campanhas amostrais (0,5 m/s na estação chuvosa e 0,4 m/s na estação seca, em média), com um pico em março durante um evento chuvoso. As direções predominantes dos ventos foram 78 graus (nordeste) e 143 graus (sudeste) durante os dias de coleta nas estações chuvosa e seca, respectivamente.

Os ventos nordeste durante a estação chuvosa passaram em parte pela cidade de Manaus e da região norte do Estado e por cima do rio trazendo consigo a pluma emitida nesses locais. Entretanto, a limpeza contínua da atmosfera pelas chuvas, possivelmente diminuirá a influência dessa pluma sobre a cidade de Iranduba. Na estação seca, os ventos sudestes que alcançaram a cidade foram provenientes da região sudeste do Estado do Amazonas e provavelmente de parte dos Estados do Pará e Mato Grosso, trazendo possivelmente para a cidade de Iranduba as partículas emitidas nesses locais.

Este comportamento diferenciado em termos da direção dos ventos para a região condiz com outros estudos meteorológicos descritos para a região. Onde demonstrou-se que durante a estação chuvosa, para a região da cidade de Manaus, os ventos são predominantemente nordeste, com transporte de longa distância oriundo do Oceano

Atlântico e de parte da África. Entretanto, com a proximidade da estação seca, a direção dos ventos muda tornando-se leste e sudeste até meados do mês de Setembro, onde voltarão lentamente para nordeste, com o máximo no início de Janeiro (ANDREAE et al., 2015; BARBOSA, 2014b).

5.2. Caracterização do MP_{2,5}

O número de coletas (n) em todo o período de estudo foi 21, totalizando para cada local (interno/externo) e estação (chuvosa/seca) 21 amostras. Entretanto, após a aplicação dos procedimentos descritos no item 4.6. o número de amostras foi reduzido para 18, formando a matriz de dados que foi utilizada em todas as análises estatísticas (descritivas e inferencial) descritas a seguir.

5.2.1. Distribuição de normalidade

A distribuição dos dados de concentração em massa, BC e composição elementar do MP_{2,5} foi avaliada aplicando o teste de normalidade Shapiro-Wilk à matriz de dados válidos. Dessa forma, avaliou-se o comportamento dos dados, se esses obedeciam ou não ao modelo normal, para assim estipular quais os testes que se aplicariam melhor à distribuição dos dados. Segundo Razali (2011), entre os testes de normalidade existentes, o teste de Shapiro-Wilk é o mais eficiente para todos os tamanhos e distribuição de valores. A um nível de significância de 5%, aceita-se a hipótese nula de normalidade dos dados para um p-valor maior do que 0,05.

Constatou-se que os dados de todas as variáveis (concentração em massa, BC e composição elementar) não seguiram a distribuição da curva Gaussiana, obtendo um p-valor abaixo de 5%. Logo, os dados foram tratados e discutidos em função desse comportamento não paramétrico. Como por exemplo, não será utilizado o desvio padrão, devido ao fato dos dados não o possuírem, visto que este representa o ponto de inflexão de uma curva de distribuição normal (CAMPOS, 2000; NORMANDO; TJÄDERHANE; QUINTÃO, 2010).

5.2.2. Concentração em massa do MP_{2,5}

5.2.2.1. Estatística descritiva

Os valores de média, mediana, máximo e mínimo dos dados de concentração em massa do MP_{2,5} para as duas estações e nos dois locais de coleta (interno e externo) estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Estatística descritiva da concentração em massa do MP_{2,5}.

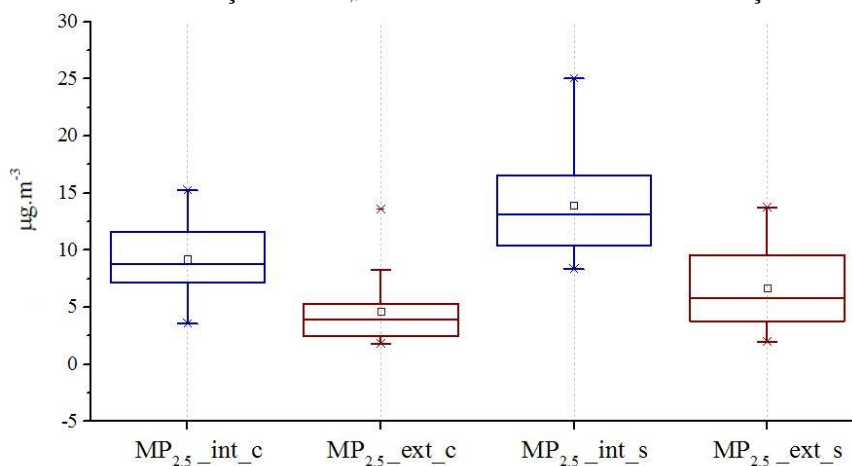
	Interno		Externo	
	MP _{2,5_c}	MP _{2,5_s}	MP _{2,5_c}	MP _{2,5_s}
Média	9,2	14,0	4,7	6,7
Mediana	8,7	13,8	4,4	5,8
Máximo	15,2	25,0	13,6	13,8
Mínimo	3,6	8,3	1,8	2,0

Fonte: A autora (2017).

Legenda: Os subíndices “c” e “s” correspondem a estação chuvosa e seca, respectivamente.

Uma alta variabilidade dos dados pode ser observada ao se avaliar a distância numérica entre os valores máximos e mínimos da concentração de MP_{2,5} (Tabela 2). Visando uma melhor comparação e análise dos dados, elaborou-se gráficos do tipo *Box Plot* com os valores de concentração de MP_{2,5} (Figura 19).

Figura 19: *Box Plot* da concentração de MP_{2,5} interno e externo nas diferentes estações.



Fonte: A autora (2017).

Legenda: Os subíndices “c” e “s” correspondem a estação chuvosa e seca, e “int” e “ext” aos locais interno e externo, respectivamente.

A distribuição não paramétrica dos dados, sugerida pelo resultado do teste Shapiro-Wilk, foi evidenciada pela não coincidência entre a média e a mediana. Os valores da massa do MP_{2,5} foram aparentemente diferentes, tanto espacialmente quanto sazonalmente, sendo os valores internos maiores que os externos (Figura 19). Para uma discussão mais assertiva a respeito dessa diferença, primeiramente faz-se necessário verificar se os dados são estatisticamente diferentes. Para isso utilizou-se a estatística inferencial com os testes de hipóteses de Mann-Whitney (teste U ou teste de Wilcoxon *rank sum*) e o teste de Wilcoxon, ambos testes não paramétricos, descritos a seguir.

5.2.2.2. Estatística inferencial

O teste U é utilizado para comparação de dois grupos, independentes e não pareados, para se verificar se pertencem à mesma população através da comparação entre as medianas. O teste de Wilcoxon também é indicado para comparação entre medianas porém para dados dependentes e pareados (VERA CARMO, 2012). Dessa forma, o teste U foi utilizado para comparação de sazonalidade e o teste de Wilcoxon para comparação espacial, com o par de dados interno-externo. Para o aceite da hipótese nula de igualdade entre as medianas, p-valores acima de 0,05 devem ser obtidos (Tabela 3).

Tabela 3: P-valor do teste U e de Wilcoxon para concentração em massa do MP_{2,5}.

	Teste U (chuvoso / seco)	Teste de Wilcoxon (interno / externo)
Interno	$1,0 \times 10^{-3}$	-
Externo	$3,2 \times 10^{-2}$	-
Chuvoso	-	$1,0 \times 10^{-3}$
Seco	-	$1,0 \times 10^{-4}$

Fonte: A autora (2017).

Os valores de probabilidade (p-valor) para ambos os testes foram abaixo de 5%, demonstrando que os valores de MP_{2,5} são diferentes entre si (Tabela 3). Dessa forma, é possível discutir os resultados em termos de maior e menor concentração.

Os valores de MP_{2,5} sempre foram maiores no período da seca, como mostram a Figura 19 e os dados da Tabela 1. Possivelmente, isso se deve ao baixo índice de chuvas e o decorrente acúmulo de partículas na atmosfera. Para os locais de coleta (sala de aula e lado externo da escola EEIV – Iranduba), a maior concentração foi determinada no

ambiente interno, onde os valores foram aproximadamente duas vezes maiores que aqueles determinados externamente.

Ao se comparar os valores das medianas de concentração em massa do $MP_{2,5}$ externo em Iranduba ($4,4 \mu\text{g m}^{-3}$ e $5,8 \mu\text{g m}^{-3}$ no período chuvoso e seco, respectivamente) com os valores de concentração em massa de $MP_{2,5}$ externo determinados em Manaus ($8,8 \mu\text{g m}^{-3}$ e $11,6 \mu\text{g m}^{-3}$ no período chuvoso e seco, respectivamente) (BARBOSA, 2014a), nota-se que a concentração de $MP_{2,5}$ em Manaus são maiores do que aqueles determinados em Iranduba. Entretanto, estes valores das medianas de concentração em massa do $MP_{2,5}$ externo em Iranduba ($4,4 \mu\text{g m}^{-3}$ e $5,8 \mu\text{g m}^{-3}$ no período chuvoso e seco, respectivamente) são semelhantes aos valores de mediana de concentração em massa do $MP_{2,5}$ interno realizado em Fortaleza ($4,6 \mu\text{g m}^{-3}$ e $6,29 \mu\text{g m}^{-3}$ em 8 horas e 24 horas de coleta, respectivamente) (COMIN, 2012).

Logo é possível observar que a atmosfera da cidade de Iranduba possui baixa concentração de partículas finas, visto a baixa concentração em frente aos valores de $MP_{2,5}$ determinados em Manaus e a semelhança à baixos valores de $MP_{2,5}$ interno determinados em Fortaleza.

Contudo, a concentração do $MP_{2,5}$ interno encontrada neste trabalho não está distante dos valores de concentração de outras regiões. O valor da mediana do $MP_{2,5}$ interno na estação seca ($13,8 \mu\text{g m}^{-3}$) está na mesma faixa de valor de concentração do $MP_{2,5}$ externo determinado em duas cidades, com características distintas, na França em 2014 ($14,4 \mu\text{g m}^{-3}$ – zona industrial, $13 \mu\text{g m}^{-3}$ – zona urbana/tráfego e $11,4 \mu\text{g m}^{-3}$ – zona rural) (TRAN et al., 2014). O valor do $MP_{2,5}$ interno na estação seca também é equivalente ou excede os valores de concentração, determinados em três regiões com diferentes influências de tráfego veicular, em Quito em 2016 (ver Quadro 1) (RAYSONI et al., 2016).

Portanto, o fato da concentração do $MP_{2,5}$ externo em Iranduba ser análogo à concentração de $MP_{2,5}$ de um ponto interno (Fortaleza em 2012) e menor do que aquela determinada em uma cidade vizinha (Manaus), evidencia que a baixa concentração de partículas no exterior da construção não foi a responsável direta pela concentração elevada no interior da sala de aula, e que os maiores níveis de $MP_{2,5}$ interno são provavelmente resultantes das chamadas “fontes internas” (deficiência na ventilação, acarretando no acúmulo de partículas, e efeitos de ressuspensão causados pelos ventiladores e pelos ocupantes da sala) (RAYSONI et al., 2016; RIVAS et al., 2014).

A presença dessas “fontes internas” pode ser comprovada através da razão dos valores de concentração interno/externo (I/E). O valor de I/E representa a relação entre a concentração interna de MP_{2,5} (ou de qualquer outra variável de interesse) e a externa. Valores até a unidade indicam uma influência externa para a variável em questão, enquanto valores acima da unidade, denotam ao enriquecimento por meio da presença de fontes internas (ALVES et al., 2014; HASSANVAND et al., 2015; MASSEY et al., 2012).

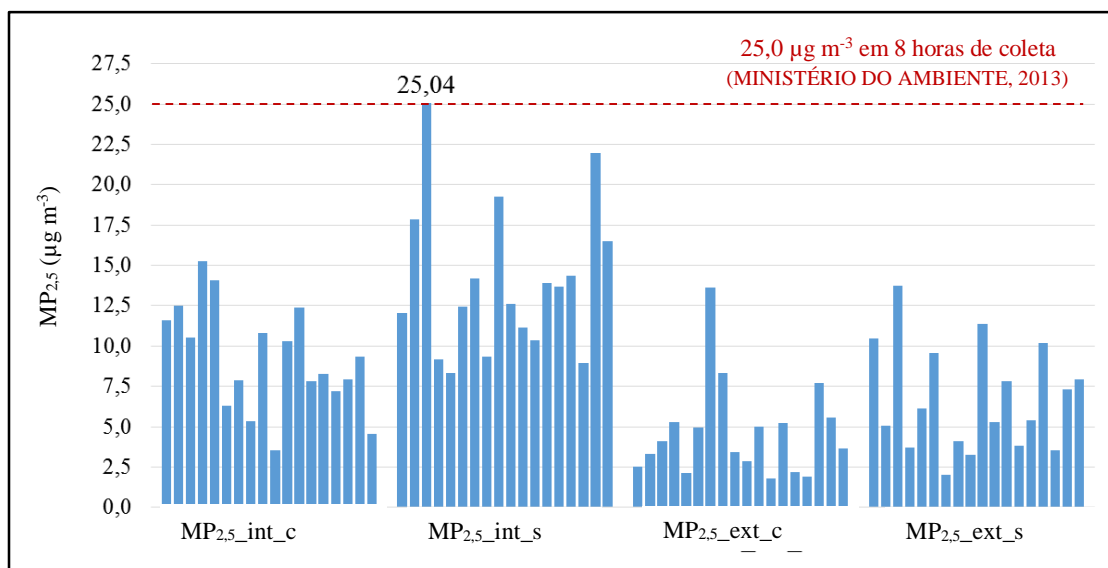
No Apêndice E está demonstrado os valores de I/E, nas estações chuvosa e seca. Para ambas as estações os valores de I/E ultrapassam a unidade com valores de 2,0 e 2,1 respectivamente, confirmando a influência das “fontes internas” para o MP_{2,5}. Para uma evolução na qualidade do ar interior na sala de aula, o aperfeiçoamento da ventilação pode resultar em melhorias concretas, pois segundo Chen e Zhao (2011) em lugares como na EEIV, com altos níveis internos e baixos níveis externos de MP_{2,5}, o aumento na taxa de troca de ar levará à diminuição do valor de I/E.

5.2.2.3. Comparação com as normas e análise de evento extremo

Os valores de concentração do MP_{2,5} nos dois ambientes, em sua ampla maioria estiveram abaixo dos valores limites (para ambientes internos e externos) preconizadas pelas agências reguladoras descritas no Quadro 3. Entretanto, observa-se que no dia 24/08/2016 na estação seca, o valor do MP_{2,5} interno alcançou o valor limítrofe de concentração em massa de MP_{2,5} interno de 25 µg m⁻³ delimitado pela norma do Ministério do Ambiente de Portugal (Figura 20) (MINISTÉRIO DO AMBIENTE, 2013).

Examinando a Figura 20 é possível notar que para o dia em questão (24/08/2016), também foi determinado a maior concentração do MP_{2,5} externo (13,8 µg m⁻³) para a estação seca, evidenciando algum comportamento anormal para esse dia específico. Ao verificar as folhas de campo (Apêndice C), observou-se o registro de uma densa camada de fumaça nas proximidades do local amostrado, na noite anterior (23/08/2016).

Figura 20: Variação de concentração do MP_{2,5} interno e externo, nas estações chuvosa e seca.

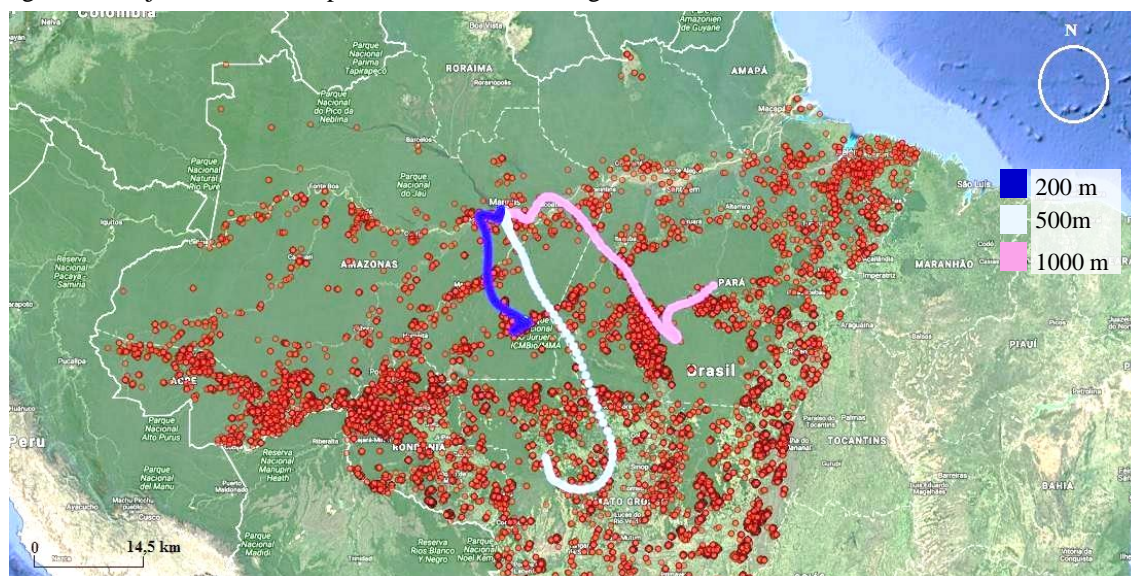


Fonte: A autora (2017).

Prosseguindo a investigação, utilizou-se a trajetória reversa com a qual é possível estimar a origem do ar de um determinado local (ponto final de encontro das trajetórias) em diferentes camadas de alturas verticais e diferentes períodos e os focos de incêndios florestais para os quatro dias anteriores ao dia 24/08/2016 (Figura 21). Para as trajetórias reversas obtidas, o ponto final foi o local de coleta (EEIV) nas camadas de 200, 500 e 1000 metros de altura.

Os dados de satélite foram provenientes do modelo Hysplit do Air Resources Laboratory, administrado pela agência americana National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e do Programa de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para as trajetórias reversas e os dados de queimadas, respectivamente (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017; NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2017). O mapa foi construído com o auxílio do programa gratuito QGIS, licenciado pela General Public License (GNU) (“QGIS - Las Palmas”, 2016).

Figura 21: Trajetórias reversas para os dias 20 a 24 de agosto de 2016.



Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017; NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2017).

Observa-se que nas três alturas investigadas, o ar foi proveniente de locais com inúmeros focos de queimadas ao sul e sudeste de Iranduba, para os dias que antecederam a coleta do dia 24/08/2016. Portanto, a presença da fumaça delatada na folha de campo, possivelmente foi proveniente do transporte de longa distância das partículas, sendo esta a provável causa da maior concentração do $MP_{2,5}$ na estação seca. Tal fato evidencia o impacto que as partículas e a emissão antropogênica podem causar ao ambiente, mesmo em locais distantes do seu lugar de origem.

5.2.3. BC

5.2.3.1. Estatística descritiva

Os valores de média, mediana, máximo e mínimo da concentração de BC no $MP_{2,5}$ estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Estatística descritiva da concentração de BC do $MP_{2,5}$.

	Interno		Externo	
	BC_c	BC_s	BC_c	BC_s
Média	0,8	1,3	0,3	0,7
Mediana	0,7	1,3	0,3	0,6
Máximo	2,3	1,9	1,3	1,4
Mínimo	0,1	0,7	0,0	0,1

Fonte: A autora (2017).

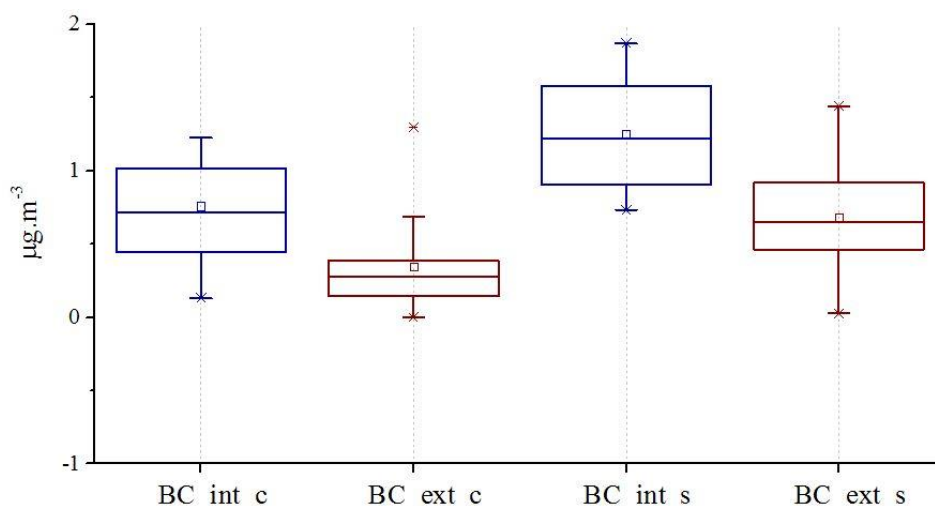
Legenda: Os subíndices “c” e “s” correspondem a estação chuvosa e seca, respectivamente.

Observa-se que os valores da média e mediana para o BC são próximos entre si, indicando uma baixa variabilidade dos dados e a presença contínua e regular de BC na atmosfera estudada.

O valor zero no BC externo na estação seca foi obtido na primeira coleta, em um ponto externo provisório (quadra da escola) onde havia baixa ventilação e pouco contato com a parte mais externa da escola. Este local foi substituído na semana seguinte pelo ponto externo descrito na Figura 9 no item 4.2., logo que obtida a autorização para a instalação do equipamento.

Os gráficos do tipo *Box Plot* para o BC (Figura 22) evidenciam o comportamento observado acima.

Figura 22: *Box Plot* da concentração de BC no MP_{2,5} interno e externo nas diferentes estações.



Fonte: A autora (2017).

Legenda: Os subíndices “c” e “s” correspondem a estação chuvosa e seca, e “int” e “ext” aos locais interno e externo, respectivamente.

As indicações da mediana e da média são muito próximas entre si, confirmando a regularidade na concentração de BC na atmosfera (Figura 22). Entretanto, os dados não obtiveram um p-valor $> 0,05$ no teste de distribuição, sendo portanto tratados como não paramétricos. Para discussões em termos de majoritariedade aplicou-se testes de hipóteses de igualdade entre as medianas.

5.2.3.2. Estatística inferencial

Na Tabela 5 encontram-se os valores de probabilidade (p-valor) para os testes de hipóteses de igualdade entre as medianas, com comparação sazonal (Teste U) e espacial (Teste do Wilcoxon).

Tabela 5: P-valor do teste U e de Wilcoxon para concentração em massa do BC.

	Teste U (chuvoso / seco)	Teste de Wilcoxon (interno / externo)
Interno	$6,0 \times 10^{-4}$	-
Externo	$4,0 \times 10^{-3}$	-
Chuvoso	-	$3,0 \times 10^{-3}$
Seco	-	$1,0 \times 10^{-4}$

Fonte: A autora (2017).

Para todas as comparações, observa-se um p-valor muito abaixo dos 5% necessários para o aceite da hipótese nula de igualdade entre as medianas, demonstrando que os grupos de dados comparados são diferentes entre si.

Observa-se que os maiores valores de concentração foram determinados durante a estação seca e no ambiente interno (Tabela 4 e Figura 22). O valor da razão I/E (Apêndice E) foi de 2,2 e 1,8 para o período chuvoso e período seco, respectivamente, demonstrando a influência de “fontes internas” para o BC. Entretanto, o BC é oriundo de processos de queima e portanto não possui fontes internas. O valor acima da unidade do I/E para o BC demonstra unicamente o processo de acúmulo desse poluente no interior da sala de aula.

A concentração de BC determinada em Iranduba esteve abaixo dos valores determinados em outros estudos no Brasil. Em 2016, no interior de residências de idosos, na região metropolitana de São Paulo determinou-se um valor de BC interno de $2,8 \mu\text{g m}^{-3}$ representando um percentual de contribuição em massa de $\text{MP}_{2,5}$ de 26,2% (em Iranduba: $0,7 \mu\text{g m}^{-3}$ e $1,3 \mu\text{g m}^{-3}$, valores de mediana de concentração de BC interno na estação chuvosa e seca, respectivamente) (SEGALIN; GONÇALVES; FORNARO, 2016). Em Tangará da Serra – MT, em uma área com influências da queima de biomassa, a concentração de BC em um ponto externo foi de $0,998 \mu\text{g m}^{-3}$ (neste trabalho: $0,3 \mu\text{g m}^{-3}$ e $0,6 \mu\text{g m}^{-3}$, valores de mediana de concentração de BC externo na estação chuvosa e seca, respectivamente) e em Manaus o percentual da contribuição em massa do BC

externo para o MP_{2,5}, no ano de 2014 foi de 21% (BARBOSA, 2014a; JACOBSON et al., 2014).

O percentual de contribuição em massa do BC para o MP_{2,5} em Iranduba, no período chuvoso e seco, respectivamente foi de: 8,2% e 9,0% para o interior da escola e de 7,5% e 10,2% para o exterior da construção. Valores de contribuição mais baixos do que os citados anteriormente, Entretanto, faz-se importante notar, que apesar da baixa concentração do BC no ponto externo frente ao interno (Tabela 4), a contribuição em massa do BC externo para o MP_{2,5} foi próxima e superior a contribuição do BC no interior da sala de aula. Tal fato evidencia que discussões baseadas apenas em valores de concentração, não são totalmente eficazes, e que a composição da partícula também deve ser estudada com profundidade (AMATO et al., 2014). Embora os dados de concentração de MP_{2,5} e BC no ambiente externo sejam menores em ambas as estações, em termos de composição o MP_{2,5} externo no período seco foi o que possuiu a maior composição em massa de BC, tornando-o mais persistente na atmosfera, devido à baixa reatividade do BC, e assim mais prejudicial à saúde da população.

Afim de se estimar a dependência entre as variáveis e o seu possível comportamento linear, aplicou-se o teste de correlação de Spearman aos valores de concentração do MP_{2,5} e BC. A correlação de Spearman é o teste não paramétrico análogo ao teste de correlação de Pearson (ANJOS et al., 2009), onde o p-valor corresponde ao grau de significância do coeficiente de correlação. Um p-valor acima de 5% ($\alpha = 0,05$) demonstra que o valor de correlação provém de um mero acaso (ROQUE, 2015).

O BC no ambiente externo obteve alta correlação de Spearman com o MP_{2,5} externo, tanto na estação chuvosa (0,68; p-valor = $2,5 \times 10^{-3}$) quanto na seca (0,86; p-valor = $1,0 \times 10^{-2}$). Os altos coeficientes de correlação confirmam a contribuição do BC para a massa do MP_{2,5} externo, e evidencia a emissão de partículas primárias por processos de queima de combustíveis fósseis e não fósseis na região estudada, possivelmente influenciada pela combustão nos fornos das olarias (BOND et al., 2013; LONG; NASCARELLA; VALBERG, 2013).

A influência dessa emissão primária e da dependência entre essas variáveis é comprovada ao se observar o valor máximo de BC interno na seca ($1,3 \mu\text{g m}^{-3}$). Este valor correspondente a coleta do dia 24/08/2016 correspondente ao pico da concentração em massa do MP_{2,5} interior (item 5.2.2.3.), onde se demonstrou o efeito do transporte de longa distância de partículas provenientes da queima de biomassa em estados vizinhos.

5.2.4. Composição elementar

5.2.4.1. Estatística descritiva

Os valores de média, mediana, máximo e mínimo para os elementos determinados no MP_{2,5}, com valores válidos para os períodos chuvoso e seco, estão descritos na Tabela 6. Os elementos Cr, Cu, Pb, Co, Pt, Sn, Sr, Br, P, Cl, Zn e Mn foram excluídos da discussão por possuírem mais de 40% dos dados abaixo do L.Q. ou iguais a zero.

Tabela 6: Estatística descritiva da concentração dos elementos presentes no MP_{2,5}.

PERÍODO CHUVOSO								
Elementos	Interno (ng m ⁻³)				Externo (ng m ⁻³)			
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Mínimo
Al	488,4	332,5	1382,1	45,9	68,9	33,9	452,4	6,4
Si	716,3	553,9	1781,3	135,5	188,8	139,3	892,7	27,7
Fe	426,6	346,7	967,6	78,9	105,7	85,3	419,8	33,5
Ti	65,4	53,3	155,0	10,6	10,8	7,4	54,3	1,5
Se	10,7	9,5	22,5	0,0	3,7	2,5	13,3	0,0
S	128,9	140,1	278,1	0,0	102,6	90,9	246,5	0,0
Mg	114,7	108,2	352,9	0,0	117,9	112,7	285,1	0,0
Ca	156,6	123,8	439,2	0,0	20,3	18,7	44,6	0,0
PERÍODO SECO								
Elementos	Interno (ng m ⁻³)				Externo (ng m ⁻³)			
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Mínimo
Fe	446,3	378,2	992,3	205,7	93,6	88,9	241,2	34,5
Ti	69,0	57,5	161,4	26,3	10,2	7,3	29,8	1,5
Se	6,0	6,4	15,7	0,0	1,9	1,2	6,0	0,0
S	233,0	202,4	528,4	47,0	108,4	76,2	333,1	8,4
Mg	306,5	221,6	1135,8	115,6	257,1	171,7	988,9	62,6
Ca	201,6	161,5	422,7	62,2	21,2	22,3	45,2	0,0
K	171,9	145,8	434,9	5,7	54,2	34,3	239,7	0,0

Fonte: A autora (2017).

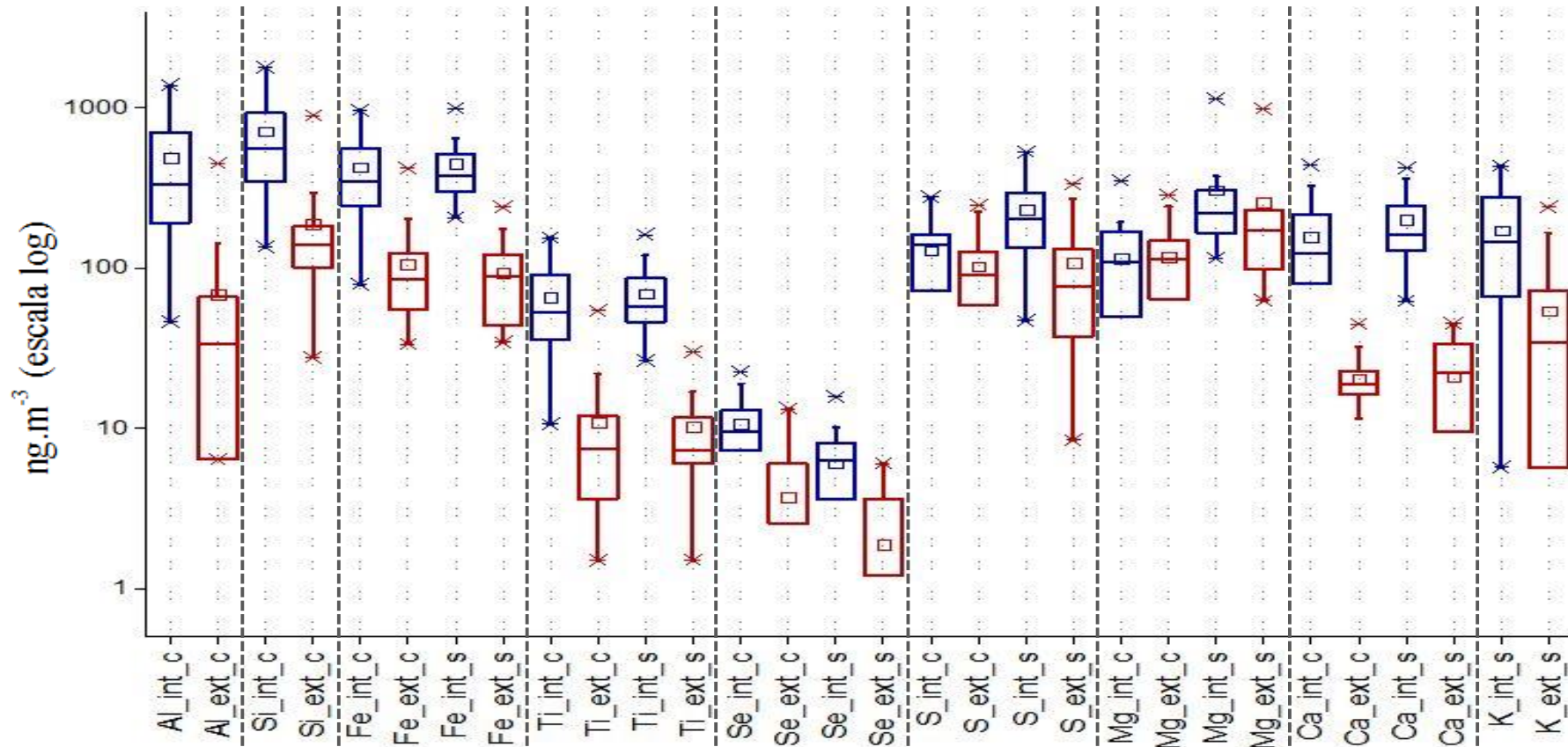
Observa-se que para o interior da sala de aula, no período chuvoso os elementos Al, Si e Fe foram os mais abundantes, enquanto no período seco o Fe foi o elemento de maior concentração seguido do Mg e S. Para o ambiente externo, o Si na estação chuvosa

e o Mg nas duas estações foram o que tiveram a maior concentração. A presença de elementos únicos para o período (Al e Si apenas no período chuvoso e K apenas para o período seco) revela um possível comportamento diferenciado entre as estações.

Na Figura 23 está representado, em gráficos do tipo *Box Plot*, as variações dos valores dos elementos determinados no MP_{2,5} (Tabela 6). O eixo y está descrito em escala logarítmica de base 10 para uma melhor comparação entre as variáveis, não descrevendo, os valores numéricos de concentração. Os elementos foram agrupados no eixo x afim de uma melhor visualização.

A linha da mediana distante da marcação do valor da média evidencia o comportamento não paramétrico dos dados de composição elementar e a existência de valores discrepantes em todos os grupos de dados, e revela ainda como a concentração dos elementos é flutuante e sensível a possíveis fatores externos (Figura 23). Os valores internos (*box plot* azuis) demonstram estar superiores aos valores externos, em uma comparação espacial. Entretanto, nota-se que alguns elementos não sofreram variação sazonal, como o S e Mg. Para discussões mais aprofundadas e assertivas sobre os grupos de dados, fez-se necessário o uso da estatística inferencial com os testes de hipóteses citados anteriormente.

Figura 23: *Box Plot* da concentração elementar do $MP_{2,5}$ interno e externo nas diferentes estações.



Fonte: A autora (2017).

Legenda: Os subíndices “c” e “s” correspondem a estação chuvosa e seca, e “int” e “ext” aos locais interno e externo, respectiva

5.2.4.2. Estatística inferencial

Os valores de concentração da composição elementar do MP_{2,5} (Tabela 6) foram submetidos ao teste de Wilcoxon (comparação espacial) e ao teste U (comparação sazonal) (Tabela 7). Os valores do teste de Wilcoxon representados por um traço são relativos aos elementos que não foram determinados naquela estação. Para o teste U foi necessário a retirada dos elementos: Al, Si e K do conjunto de dados, pois os mesmos não foram determinados nas duas estações (Tabela 6).

Tabela 7: P-valor do teste U e de Wilcoxon para composição elementar do MP_{2,5}. Valores de $p > 0,05$ estão em vermelho indicando populações iguais.

Teste de Wilcoxon (interno / externo)			Teste U (chuvoso / seco)		
Elementos	Chuvoso	Seco	Elementos	Interno	Externo
Al	$7,0 \times 10^{-4}$	-			
Si	$8,0 \times 10^{-4}$	-	Fe	0,5	0,9
Fe	$3,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	Ti	0,5	0,6
Ti	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-3}$	Se	$5,0 \times 10^{-4}$	0,1
Se	$1,0 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-4}$	S	$1,0 \times 10^{-2}$	0,6
S	0,2	$2,0 \times 10^{-2}$	Mg	$2,0 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-2}$
Mg	1,0	0,06	Ca	0,2	0,5
Ca	$1,0 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-2}$			
K	-	$1,0 \times 10^{-3}$			

Fonte: A autora (2017).

Na comparação sazonal (Teste U), observa-se que para o ponto interno apenas os elementos Se, S e Mg foram diferentes estatisticamente, com o Mg e o S em maior concentração no período seco e o Se no período chuvoso. Para o ponto externo, apenas o Mg teve um valor de mediana diferente entre as estações, com um aporte de massa para o período seco. Esta diferença demonstra, possivelmente, a presença de uma nova fonte para esse elemento no período seco.

Para o teste de Wilcoxon, pode-se notar que o S, durante a estação chuvosa, e o Mg, nas duas estações, obtiveram um p-valor maior do que 0,05, indicando que nessas ocasiões houve semelhança no valor de mediana nos pontos interno e externo. Logo, não houve variação espacial para esses elementos nas estações, sugerindo a ação de um mecanismo eficiente de entrada desses elementos para o interior da sala de aula. O comportamento singular e o porquê da eficiência de penetração desses elementos

específicos para o interior da sala de aula, não pode ser completamente esclarecido. Contudo, estudos mais aprofundados poderiam fornecer mais indícios para a construção de hipóteses que explicassem tal comportamento.

Os demais elementos demonstraram ter valores de mediana diferentes, onde a concentração interna foi superior a externa. A ocorrência de K apenas no período seco é um forte indicador da influência da queima de biomassa durante este período (SOUZA et al., 2010), que se sobrepôs à influência da emissão de poluentes por processos contínuos de queima na cidade, como a atividade das indústrias oleicas. A razão I/E >1 (Apêndice E) para todos os elementos, com exceção para o Mg no período chuvoso, indica que houve a presença de “fontes internas” para esses elementos, evidenciando novamente os efeitos da ventilação ineficiente da sala e o acúmulo das partículas internamente.

O fator de enriquecimento (FE) (Tabela 8) possibilita esclarecer qual a influência do solo sobre a origem dos elementos da composição elementar (ver tópico 4.7.). O ferro foi utilizado como elemento de referência por ser o elemento terríneo presente em todas as amostras, logo o seu valor de FE é igual a unidade e portanto, não foi demonstrado.

Tabela 8: FE para a composição elementar do MP_{2,5}. Valores acima de 5 estão destacados em vermelho.

Elementos	CHUVOSO		SECO	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Al	0,6	0,3	-	-
Si	0,3	0,3	-	-
Ti	1,7	1,1	1,7	1,5
Se	29.887,0	40.298,4	13.956,9	19.823,4
S	69,3	332,0	107,8	220,9
Mg	0,8	4,5	1,8	7,0
Ca	0,5	0,4	1,6	0,3
K	-	-	0,8	1,0

Fonte: A autora (2017).

Observa-se que no período chuvoso, o FE para o Al e o Si, tanto interno quanto externo foram menor que a unidade, demonstrando a predominância da fonte do solo para esses elementos. O mesmo ocorre para o Mg interno e para o Ca nos dois locais.

No período seco, o K obteve um FE abaixo da unidade no interior da sala de aula e de valor 1 para o exterior da construção. Contrariamente à afirmação supracitada do K ser uma evidência da queima de biomassa, esse valor de FE remete a influência apenas do solo para este elemento.

Todavia, o K obteve uma alta correlação de Spearman com o Mg nos dois locais (0,86 para o interior e 0,75 para o exterior, com p-valor de: $1,0 \times 10^{-3}$ e $3,2 \times 10^{-4}$, respectivamente). O Mg, por sua vez, obteve um FE acima do valor limite de 5 para o ponto externo (enriquecimento antropogênico) e obteve um p-valor $< 0,05$ para o teste U indicando um aporte de massa no período seco. Tanto K quanto o Mg no exterior também obtiveram alta correlação com o BC_ext (0,86 com p-valor = $1,7 \times 10^{-4}$ e 0,74 com p-valor = $1,2 \times 10^{-4}$, respectivamente) corroborando a emissão destes por processos de queima.

Importante salientar que o Mg é o metal de coordenação entre os anéis aromáticos da clorofila (LANFER-MARQUEZ, 2003) e o K é o macronutriente mais abundante e essencial para a manutenção da vida das plantas (LABORSOLO LABORATÓRIOS, 2013). O p-valor $< 0,05$ no teste U para o Mg, com a concentração na estação seca maior que na estação chuvosa, e a presença de alta correlação entre o K e Mg e BC, manifestam a dependência entre essas variáveis (apontada pela fonte comum para esses elementos). Dessa forma, a presença do K e o aporte de Mg no período seco é provavelmente proveniente da queima de biomassa durante esse período, principalmente pelas indústrias oleicas abundantes na região.

O Se e o S demonstraram estar altamente enriquecidos para os dois locais e nos dois períodos (Tabela 8), indicando possivelmente a presença de uma fonte contínua e robusta para esses elementos. O S é reconhecidamente um marcador da queima de combustíveis fósseis (ARANA; ARTAXO, 2014; TAYLOR et al., 2015), com emissão primária na forma de seu óxido (SO_2) ou do seu ânion (SO_4^{2-}). O sulfato também pode ter origem secundária com a oxidação do dióxido de enxofre, formando ácido sulfúrico através da oxidação com a água, ou o sal de amônio em regiões com elevada emissão de amônia (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006a). O Se, por sua vez, é emitido primariamente pela combustão de diesel (aditivo), óleos lubrificantes para motores, carvão e pela incineração de pneus e de lixo domiciliar. Ao ser inalado pode causar males aos pulmões e aos sistemas cardiovascular, neural e hepático, causando dores de cabeça e de estômago (RISHER et al., 2003).

O Se obteve um coeficiente de correlação moderado com o S (0,56, p-valor = $1,6 \times 10^{-2}$) e com o Mg (0,54, p-valor = $2,2 \times 10^{-4}$), para o ponto externo no período seco. No entanto, obteve-se um valor de coeficiente de correlação significativo (0,90, p-valor = $1,2 \times 10^{-2}$) entre o S e o Mg no ponto externo, para os dois períodos. A ocorrência de

correlações entre as variáveis enriquecidas (Se, S e Mg) do período seco, indica uma certa dependência entre esses elementos e possivelmente fontes conjuntas atuantes na região

Além da fonte citada anteriormente, o Mg também pode ser oriundo do escape de automóveis, da poeira de rodovias e é um importante aditivo em combustíveis e em óleos lubrificantes de motores à diesel, prevenindo a corrosão e o desgaste do motor (AMATO et al., 2014; LIM et al., 2007; LOYOLA et al., 2012).

A elevada dependência entre o S e o Mg no ponto externo confirma a emissão conjunta desses elementos pela queima de combustíveis fósseis, em especial o óleo diesel. O FE = 4,5 do Mg no MP_{2,5} externo para o período chuvoso, provavelmente é devido ao processo de limpeza da atmosfera pelos eventos chuvosos. Contudo, nota-se que o valor citado está muito próximo do valor limite estipulado pela literatura (FE = 5), indicando que há um aporte, entretanto não significativo, de outras fontes além do solo para esse elemento durante esta estação.

Os valores elevados de FE para o Se são um forte indicativo da emissão antropogênica deste elemento. Todavia, a ausência de correlação entre o Se e o S e entre o Se e o Mg durante o período chuvoso, demonstra a atuação majoritária de fontes de emissão ímpar para esse elemento para essa estação. A queima do lixo residencial é uma prática comum entre os moradores da região de Manaus e vizinhança (SANTOS, 2015) e pode ser a principal fonte de emissão do Se durante o período chuvoso. Para o período seco, a correlação moderada entre o Se e o S e Mg indica que durante esse período também houve a emissão do Se pela queima de diesel, óleos lubrificantes e pneus. Assim a ausência de diferença entre as estações (Teste U) para o Se, demonstra que quaisquer que sejam as fontes atuantes, estas são contínuas e presentes ao longo das estações, impactando a atmosfera da região.

5.2.4.3. *Comparação com outros estudos*

Uma breve comparação entre a composição elementar determinada em Iranduba e a de outras regiões está descrita na Tabela 9. Não foram encontradas pesquisas realizadas em ambientes internos em Manaus e arredores. Dessa forma, apenas os valores para o ponto externo de Iranduba foram comparados com os dados de concentração elementar obtidos para a região de Manaus.

Observa-se que os valores de concentração interna de S, Al e Si determinada em Iranduba foram menores do que aqueles determinados em um pátio fechado de uma escola

na Polônia, e no interior de um dormitório escolar no Irã. A concentração do Se, tanto interno quanto externo em Iranduba esteve pelo menos, 20 vezes maior do que o determinado em Tehran no Irã, em uma região próxima a uma avenida de intenso tráfego veicular diário (HASSANVAND et al., 2014; ZWOŹDZIAK et al., 2013).

Embora não tenha sido destacadas as possíveis fontes do Se em Tehran, a diferença significativa de concentração entre o Se determinado em Iranduba e o valor estipulado em Tehran, demonstra o possível impacto desse elemento em Iranduba e que seus possíveis efeitos no ambiente e na saúde da população devem ser melhor investigadas.

Para os valores de concentração externa, o Al esteve abaixo de todas as demais regiões, entretanto a concentração do Si em Iranduba foi superior do que a determinada em Manaus e similar àquela determinada no Rebio Cuieras, uma área remota, com baixo impacto antropogênico e coberta por uma floresta tropical úmida (ARANA; ARTAXO, 2014; BARBOSA, 2014a). Considerando que ambos os elementos, Al e Si, são oriundos principalmente da ressuspensão do solo, a maior pavimentação das ruas e calçadas na cidade de Manaus possivelmente é a causa da diminuição da ressuspensão do Si na capital.

A concentração do S em Iranduba foi abaixo das demais regiões, contudo o valor de Mg foi superior do que a concentração determinada em Manaus e principalmente àquela obtida no Rebio Cuieras. Deste modo, observa-se que apesar da similaridade entre as fontes de S e Mg, e os significantes coeficientes de correlação entre esses elementos para Iranduba, os valores de concentração desses elementos sugerem que a atmosfera de Iranduba está mais impactada em termos de Mg do que de S, principalmente no período seco.

Tabela 9: Comparação entre os valores de concentração elementar determinados em Iranduba e outras regiões.

Elementos	INTERNO (ng m ⁻³)					EXTERNO (ng m ⁻³)								
	Este trabalho		Wroclaw, Polônia ¹		Tehran, Irã ²	Este trabalho		Wroclaw, Polônia ¹		Tehran, Irã ²	Manaus ³		Rebio Cuieras ⁴	
	Chuvoso	Seco	Inverno	Verão	Verão	Chuvoso	Seco	Inverno	Verão	Verão	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
Al	332,5	-	561,0	68,0	39,7	33,9	-	48,0	32,0	90,1	80,0	35,0	80,0	28,0
Si	553,9	-	1963,0	292,0	165,8	139,3	-	259,0	193,0	442,0	73,0	59,0	158,0	34,0
Fe	346,7	378,2	525,0	126,0	102,1	85,3	88,9	215,0	78,0	280,3	53,0	52,0	33,0	19,0
Ti	53,5	57,5	122,0	14,0	14,3	7,4	7,3	11,0	7,0	25,8	6,6	7,3	-	-
Se	9,5	6,4	-	-	0,3	2,5	1,2	-	-	0,3	-	-	-	-
S	140,1	202,4	1720,0	768,0	-	90,9	76,2	1946,0	727,0	-	218,0	186,0	91,0	228,0
Mg	108,2	221,6	-	-	-	112,7	171,7	-	-	-	-	132,0	10,0	-
Ca	123,8	161,5	2227,0	259,0	-	18,7	22,3	159,0	89,0	-	113,0	149,0	10,0	5,0
K	-	145,8	830,0	144,0	-	-	34,3	528,0	110,0	-	1496,0	-	25,0	92,0

Fonte: A autora (2017).

Legenda:

¹. ZWOŹDZIAK et al., 2013 – pátio da escola

². HASSANVAND et al., 2015 – dormitório escolar

³. BARBOSA, 2014 – proximidade com área com intenso tráfego veicular

⁴. ARANA; ARTAXO, 2014 – região com pouco impacto antropogênico

6. CONCLUSÃO

O MP_{2,5} coletado simultaneamente no exterior e interior de uma sala de aula em Iranduba (AM) foi caracterizado quanto a concentração em massa, de BC e da composição elementar. O estudo foi realizado nas estações chuvosa e seca com ventos de baixa velocidade (< 2 m/s) e com direção distinta entre as estações: ventos nordeste na estação chuvosa e sudeste durante a estação seca.

A maior concentração em massa do MP_{2,5} foi determinada no período seco e no interior da sala de aula, onde a concentração interna do MP_{2,5} foi, pelo menos, duas vezes maior do que àquela determinada externamente para a mesma estação. Estes valores de MP_{2,5} interno tiveram concentração similar aos determinados em pontos externos de grandes cidades na França e Equador (RAYSONI et al., 2016; TRAN et al., 2014), demonstrando a dimensão dos níveis internos de MP_{2,5} na EEIV.

O valor da razão da concentração do MP_{2,5} interno e externo (I/E) maior do que a unidade indicou que os valores interno expressivos são resultantes da presença de “fontes internas” na sala de aula, como uma ventilação ineficiente, que causou o acúmulo das partículas no interior da sala, e a ressuspensão das partículas depositadas no solo ou em outras superfícies, pelas atividades internas dos ocupantes ou por processos de limpeza, como o uso de vassouras (ALMEIDA et al., 2011; RAYSONI et al., 2016; TAYLOR et al., 2015).

A concentração de BC, de forma geral, demonstrou baixa variação, manifestando uma provável atuação de fontes permanentes e contínuas de queima na região como as indústrias oleicas. O comportamento do BC e da concentração em massa do MP_{2,5} foram semelhantes, sendo a maior concentração obtida na estação seca e no interior da sala de aula, onde houve a predominância do processo de acúmulo desse poluente na sala.

A maior contribuição em porcentagem de massa para o MP_{2,5} foi oriundo do BC externo, demonstrando que o seu valor de massa é diretamente influenciado pelos processos de queima de combustíveis não fósseis pelas atividades industriais e agropecuárias além da queima de combustíveis fósseis pelos automóveis.

Os valores da concentração dos elementos estudados (Al, Si, Fe, Ti, Se, Mg, Ca e K) no MP_{2,5} apresentaram alta variabilidade e valores discrepantes no conjunto de dados, com a concentração interna maior que a externa. A determinação do K apenas durante a estação seca e a correlação significativa entre o K e o BC e Mg apontou a influência da

queima de biomassa para a composição química do $MP_{2,5}$, sendo oriundo possivelmente dos fornos das olarias e incêndios florestas.

O Se e S demonstraram estar altamente enriquecidos em ambos os locais e estações. As correlações moderadas entre o Se e Mg (estação chuvosa) e forte entre o S e o Mg (em ambas as estações) indicaram a emissão conjunta desses três elementos, durante a estação seca. Na estação chuvosa o Se possivelmente foi oriundo da emissão pela queima de lixo doméstico e/ou incineração de pneus.

Um olhar mais atencioso deve ser posto sobre as possíveis fontes do Se e Mg em Iranduba, visto os seus altos valores de concentração e os malefícios significativos que a exposição a esse elemento pode causar na população, em especial nas crianças e adolescentes frequentadores da EEIV.

Portanto, através da determinação dos valores de concentração da massa, BC e composição elementar do $MP_{2,5}$, conclui-se que o interior da sala de aula possui concentrações mais elevadas que o exterior com valores de massa de $MP_{2,5}$ próximos as normas de qualidade do ar interior vigentes. Um sistema de ventilação mais eficaz deve ser implementado na escola para prevenção de possíveis doenças nos ocupantes da sala e para melhoria do desempenho dos alunos e professores a longo prazo.

Para o ambiente externo foi possível concluir que a cidade de Iranduba não possui elevadas concentrações em massa de $MP_{2,5}$. Todavia, a composição química dessas partículas deve ser melhor estudada e acompanhada, visto a maior contribuição em massa do BC para o $MP_{2,5}$ externo e ao elevado valor de FE para elementos perigosos a saúde quando inalados em altas concentrações, como o Se e Mg, ambos oriundos de processos de queima, demonstrando a influência da combustão industrial sobre a concentração desses elementos na cidade de Iranduba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RE/ANVISA nº 9: Qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo**. Brasília: [s.n.].

ALMEIDA, S. M. et al. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 40, p. 7594–7599, 2011.

ALVES, C. A. et al. Indoor / outdoor relationships between PM 10 and associated organic compounds in a primary school. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 14, p. 86–98, 2014.

AMARAL, C. A. S. DO. **Avaliação da função respiratória de crianças dos municípios de Anchieta e Guarapari (ES) através da espirometria e sua correlação com a qualidade do ar**. [s.l.] Faculdade de Medicina de São Paulo, 2013.

AMATO, F. et al. Sources of indoor and outdoor PM_{2.5} concentrations in primary schools. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 757–765, 2014.

ANDERSON, J. O.; THUNDIYIL, J. G.; STOLBACH, A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, n. 2, p. 166–175, 2012.

ANDREAE, M. O. et al. The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO): Overview of pilot measurements on ecosystem ecology, meteorology, trace gases, and aerosols. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 15, n. 18, p. 10723–10776, 2015.

ANJOS, A. DOS et al. **Estatística**. Curitiba: [s.n.].

ARANA, A. et al. Optimized energy dispersive X-ray fluorescence analysis of atmospheric aerosols collected at pristine and perturbed Amazon Basin sites. **X-Ray Spectrometry**, v. 43, n. 4, p. 228–237, 2014.

ARANA, A.; ARTAXO, P. Composição elementar do aerossol atmosférico na região central da bacia amazônica. **Química Nova**, v. 37, n. 2, p. 268–276, 2014.

AVIGO JR, D. et al. Particulate matter analysis at elementary schools in Curitiba, Brazil. **Anal Bioanal Chem**, v. 391, p. 1459–1468, 2008.

BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry**. [s.l.] W. H. Freeman, 2011.

BARBOSA, C. G. G. **Monitoramento de material particulado fino na cidade de Manaus para avaliação de potenciais de riscos à saúde da população e caracterização de material particulado em ambiente de floresta (Atto - Amazonian Tall Tower Observatory) - Amazonas, Brasil**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2014a.

BARBOSA, R. G. **Caracterização da distribuição espacial do vento e da precipitação em Manaus Rafael Gomes Barbosa Caracterização da distribuição espacial do vento e da precipitação em Manaus**. [s.l.] Universidade do Estado do Amazonas, 2014b.

BIBLIOTECA VIRTUAL DO AMAZONAS. **Municípios do Amazonas - Iranduba**. Disponível em: <<http://www.bv.am.gov.br/portal/conteudo/municipios/iranduba.php#>>.

BIRMILI, W. et al. Trace metal concentrations and water solubility in size-fractionated atmospheric particles and influence of road traffic. **Environmental science & technology**, v. 40, n. 4, p. 1144–53, 15 mar. 2006.

- BOND, T. C. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 11, p. 5380–5552, 2013.
- BROUWER, P. **Theory of XRF**. 3. ed. Almelo: The Netherlands, 2010.
- BUSECK, P. R. et al. Are black carbon and soot the same? **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 12, n. 9, p. 24821–24846, 2012.
- CAMPOS, G. M. A escolha do teste mais adequado. In: **Estatística Prática para Docentes e Pós-Graduandos**. São Paulo: USP, 2000. v. cap. 14.
- CANEPARI, S. et al. Determination of metals, metalloids and non-volatile ions in airborne particulate matter by a new two-step sequential leaching procedure Part A: Experimental design and optimisation. **Talanta**, v. 69, n. 3, p. 581–7, 15 maio 2006.
- CANHA, N. et al. Indoor air quality in primary schools. **Int. J. Environment and Pollution**, v. 50, 2012.
- CANHA, N. et al. Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology. **Atmospheric Environment**, v. 83, p. 21–34, 2014.
- CARVALHO, M. A. G. DE. **Métodos estatísticos para análise de dados de monitoração ambiental**. [s.l.] Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, 2003.
- CERQUEIRA, J. L. R. P. DE. **Caracterização climática da região Amazônica**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, 2006.
- CHEN, C.; ZHAO, B. Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 2, p. 275–288, 2011.
- CLIMATEMPO. **Normal climatológica de Iranduba**. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/6400/iranduba-am>>. Acesso em: 14 nov. 2015.
- COMIN, T. T. **Monitoramento Ambiental em uma escola da cidade de São Carlos - SP**. [s.l.] UFSCar, 2012.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 420/2009**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>.
- ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto Nº 59.113, de 23 de abril de 2013**. São Paulo: [s.n.].
- FAJERSZTAJN, L. et al. Air pollution: a potentially modifiable risk factor for lung cancer. **Nature reviews. Cancer**, v. 13, n. 9, p. 674–8, 2013.
- FERNANDES, J. S. et al. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. **Rev Med Minas Gerais**, v. 20, n. 1, p. 92–101, 2010.
- FERRETTI, M.; TIRELLO, R. A. Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais. **Revista CPC**, n. 7, p. 74–98, 2009.
- FONTENELE, A. P. G.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A. Avaliação de metais traços e íons majoritários em águas de chuva na cidade de São Paulo. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 839–844, 2009.

FORDER, J. **Non destructive techniques for analysis of Diesel engine exhaust emissions (DEEE) on filters RR994 Non destructive techniques for analysis of Diesel engine exhaust emissions (DEEE) on filters.** [s.l: s.n.].

FRENCH AGENCY FOR FOOD ENVIRONMENTAL AND OCCUPATION HEALTH & SAFETY. **Indoor Air Quality Guidelines (IAQGs).**

FROMME, H. et al. Chemical and morphological properties of particulate matter (PM 10 , PM 2 . 5) in school classrooms and outdoor air. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 6597–6605, 2008.

GOOGLE INC. **Google Earth** Google Inc., , 2016. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/ge/agree.html>>

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Decreto n.3463-R, de 16 de Dezembro de 2013.** Espírito Santo: [s.n.].

GUARIEIRO, L. L. N.; GUARIEIRO, A. L. N. Vehicle Emissions: What Will Change with Use of Biofuel? In: ZHEN FANG (Ed.). **Biofuels - Economy, Environment and Sustainability.** [s.l.] InTech, 2013.

GUIANET. **Guia Cidades.** Disponível em: <<http://www.guianet.com.br/am/mapaam.htm>>.

HASHEMINASSAB, S. et al. Chemical characterization and source apportionment of indoor and outdoor fine particulate matter (PM 2 . 5) in retirement communities of the Los Angeles Basin. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 528–537, 2014.

HASSANVAND, M. S. et al. Indoor / outdoor relationships of PM 10 , PM 2 . 5 , and PM 1 mass concentrations and their water-soluble ions in a retirement home and a school dormitory. **Atmospheric Environment**, v. 82, 2014.

HASSANVAND, M. S. et al. Characterization of PAHs and metals in indoor / outdoor PM 10 / PM 2 . 5 / PM 1 in a retirement home and a school dormitory. **Science of the Total Environment**, v. 528, p. 100–110, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades - IBGE.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=130185&search=%7C%7Cinfograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 14 nov. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE CIDADES.** Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/7N8>>. Acesso em: 9 dez. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **INPE - Programa queimadas.** Disponível em: <<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

JACOBSON, L. D. S. V. et al. Acute effects of particulate matter and black carbon from seasonal fires on peak expiratory flow of schoolchildren in the brazilian Amazon. **PloS ONE**, v. 9, n. 8, p. e104177, 2014.

LABORSOLO LABORATÓRIOS. **Macronutrientes: conhecendo o potássio.** Disponível em: <<http://www.laborsolo.com.br/site/dris/macronutrientes-conhecendo-o-potassio/>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, p. 227–242, 2003.

- LIM, M. C. H. et al. The effects of fuel characteristics and engine operating conditions on the elemental composition of emissions from heavy duty diesel buses. **Fuel**, v. 86, n. 12–13, p. 1831–1839, 2007.
- LONG, C. M.; NASCARELLA, M. A.; VALBERG, P. A. Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: Physical and chemical distinctions. **Environmental Pollution**, v. 181, p. 271–286, 2013.
- LOYOLA, J. et al. Trace metals in the urban aerosols of Rio De Janeiro city. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 4, p. 628–638, 2012.
- LPAE, L. DE P. A. E.; LAPAT, L. DE A. DE P. A. **Avaliação dos aspectos ambientais, de saúde e sócio-econômicos envolvidos com a implementação do PROCONVE em seis Regiões Metropolitanas**. São Paulo: [s.n.].
- MAGALHÃES, L. et al. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 519–523, 2010.
- MANTOVANI, K. C. C. et al. Poluentes do ar e internações devido a doenças cardiovasculares em São José do Rio Preto, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 2, p. 509–516, 2016.
- MASON, B. **Princípios de geoquímica**. São Paulo: USP/Polígono, 1971.
- MASSEY, D. et al. Seasonal trends of PM₁₀, PM_{5,0}, PM_{2,5} and PM_{1,0} in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. **Building and Environment**, v. 47, p. 223–231, 2012.
- MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance ? A critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15, p. 27–52, 2005.
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE. **Portaria n.º 353-A/2013Diário da República**. Portugal: [s.n.].
- NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Hysplit model - Air Resources Laboratory**. Disponível em: <<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- NIOSH, M. OF A. M. **Particulates not otherwise regulated, total 0500**. [s.l: s.n.].
- NORMANDO, D.; TJÄDERHANE, L.; QUINTÃO, C. C. A. A escolha do teste estatístico - um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint. **Dental Press Journal of Orthodontics**, v. 15, n. 1, p. 101–106, 2010.
- PARLAMENTO EUROPEU; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa**. [s.l: s.n.].
- PEREIRA, P. A. DE P. et al. Atmospheric concentrations and dry deposition fluxes of particulate trace metals in Salvador, Bahia, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 36, p. 7837–7850, nov. 2007.
- PETENATE, M. **Box Plot: como analisar e interpretar esse gráfico?** Disponível em: <<http://www.escolaedti.com.br/o-que-e-um-box-plot/>>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- PIDWIRNY, M. **Köppen climate classification system**. Disponível em: <<http://www.eoearth.org/view/article/162263>>.
- PINHEIRO, H. A. **OLEIROS DA VIDA. Trabalho. ambiente e o futuro dos**

trabalhadores do barro em Iranduba (AM). [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2015.

QGIS - Las Palmas. , 2016. Disponível em: <http://qgis.org/pt_BR/site/index.html>

QUITERIO, S. L. et al. Metals in airborne particulate matter in the industrial district of Santa Cruz, Rio de Janeiro, in an annual period. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 2, p. 321–331, jan. 2004.

RAYSONI, A. U. et al. Assessment of indoor and outdoor PM species at schools and residences in a high-altitude Ecuadorian urban center. **Environmental Pollution**, v. 214, p. 668–679, 2016.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk , Kolmogorov-Smirnov , Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, n. 1, p. 21–33, 2011.

RISHER, J. et al. **Toxicological Profile for Selenium** Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta: [s.n.].

RIVAS, I. et al. Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona , Spain. **Environment International**, v. 69, p. 200–212, 2014.

ROQUE, A. **Aula 15 - Significância do Coeficiente de Correlação.** Disponível em: <<http://sisne.org/Disciplinas/Grad/ProbEstat2/aula15.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

ROSA, M. DOS S. G. DA. **Avaliação dos níveis de MP2,5 em microambientes: um alerta para a cidade de Porto Alegre, RS.** [s.l.] Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2015.

SANTOS, A. C. A. et al. Análise da concentração e composição de aerossóis de queimadas no Pantanal Mato-Grosso. v. 39, n. 8, p. 919–924, 2016.

SANTOS, E. S. et al. Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na Determinação de Espécies Químicas. **Enciclopédia Biofera**, v. 9, n. 17, p. 3413–3432, 2013.

SANTOS, I. **Problema da Amazônia começa nas pequenas queimadas, avalia especialista.** Disponível em: <<http://portalamazonia.com/noticias/problema-da-amazonia-comeca-nas-pequenas-queimadas-avalia-especialista>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

SANTOS, P. G. DE L.; CARVALHO, R. L. T. DE; SILVA, A. C. DA. Avaliação da qualidade do ar: Concentrações de material particulado MP10 e MP2.5 no interior de uma instituição de ensino de Fortaleza (Ce, Brasil). **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, 2015.

SANTOS, J. C. DOS. **Avaliação da qualidade do ar interior em jardins de infância.** [s.l.] Faculdade de Engenharia do Porto, 2010.

SEGALIN, B.; GONÇALVES, F. L. T.; FORNARO, A. Black carbon em material particulado nas residências de idosos na região metropolitana de São Paulo , Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 311–318, 2016.

SHALTOU, A. A. et al. Method development for the determination of Cd, Cu, Ni and Pb in PM2.5 particles sampled in industrial and urban areas of Greater Cairo, Egypt, using high-resolution continuum source graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Microchemical Journal**, v. 113, p. 4–9, mar. 2014.

SILVA, C. F. L. DA. **Partículas em suspensão no ar interior do Metro do Porto.** [s.l.] Universidade de Aveiro, 2015.

- SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**. 9. ed. São Paulo: Thomson Learnig, 2014.
- SOUZA, P. A. et al. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1247–1253, 2010.
- TAYLOR, P. et al. Analysis of trace elements and ions in ambient fine particulate matter at three elementary schools in Ohio. **Journal of the air and waste management association**, v. 57, p. 394–406, 2015.
- TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 16, p. 23–39, 2005.
- TRAN, D. T. et al. Elemental characterization and source identification of size resolved atmospheric particles in French classrooms. **Atmospheric Environment**, v. 54, p. 250–259, 2012.
- TRAN, D. T. et al. Indoor-outdoor behavior and sources of size-resolved airborne particles in French classrooms. **Building and Environment**, v. 81, p. 183–191, 2014.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Particulate matter sampling. In: **APTI 435: Atmospheric Sampling Course**. [s.l: s.n.]. p. 1–62.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY et al. **Indoor air quality tools for schools. Reference guide**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2009.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National ambient air quality standards for particulate matter; final rule**. U.S. Environmental Protection Agency. [s.l: s.n.].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Particulate Matter (PM) and Health Effects**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>>.
- VERA CARMO. **Teste de Mann-Whitney**. Santa Catarina: [s.n.]. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Testes_de_Hipoteses/Testes_ao_parametricos_Mann-Whitney.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2016.
- VUAI, S. A. H.; TOKUYAMA, A. Trend of trace metals in precipitation around Okinawa Island, Japan. **Atmospheric Research**, v. 99, n. 1, p. 80–84, jan. 2011a.
- VUAI, S. A. H.; TOKUYAMA, A. Trend of trace metals in precipitation around Okinawa Island, Japan. **Atmospheric Research**, v. 99, n. 1, p. 80–84, jan. 2011b.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006a.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality**. Copenhagen: [s.n.].
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2010.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient Outdoor air quality and health**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em: 15

nov. 2016.

ZHANG, X. et al. Black carbon aerosols in urban central China. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 150, p. 1–9, 2014.

ZHUANG, B. L. et al. Continuous measurement of black carbon aerosol in urban Nanjing of Yangtze River Delta, China. **Atmospheric Environment**, v. 89, p. 415–424, 2014.

ZWOŹDZIAK, A. et al. Infiltration or indoor sources as determinants of the elemental composition of particulate matter inside a school in Wrocław, Poland? **Building and Environment**, v. 66, p. 173–180, 2013.

APÊNDICE A - FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOLAS

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOLAS VISITADAS		DATA: __/__/__	
Escola: _____			
Endereço: _____			
Turma: _____		Área: _____	
Tipos de atividades: _____			
Faixa etária: _____		Nº de alunos: _____	Horário: _____
CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO			
Tipo de revestimento	Parede: _____		
	Teto: _____		
	Piso: _____		
Localização da sala: _____			
		ILUMINAÇÃO	
Estado de conservação		Tipo: _____	
Estado de limpeza		Nº e local das janelas	
Energia/nº de tomadas		Abertura de janelas	
Segurança			
VENTILAÇÃO			
Natural:		Ar condicionado:	
		Ventilador:	
Observ.			
LIMPEZA			
Frequência: _____			
Horário: _____			
Produtos de limpeza: _____			
Fontes possíveis (INDOOR)		Fontes possíveis (OUTDOOR)	

APÊNDICE B - A) MAPA COM DISTÂNCIA EM LINHA RETA ENTRE A ESCOLA ESTADUAL ISAIÁS VASCONCELOS (EEIV) E A ENTRADA DE MANAUS PELA PONTE RIO NEGRO. B) VISTA DE CIMA DA EEIV.



APÊNDICE D – LQ E LD DOS ELEMENTOS DETERMINADOS POR FRXED

Elementos	LD ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)	LQ ($\mu\text{g.cm}^{-2}$)
Al	36,691	0,0128
Si	100,164	0,0248
Cr	148,464	0,0046
Cu	1,007	0,1688
Pb	51,185	0,0112
Fe	177,914	0,0093
Co	217,317	0,0045
Ti	95,995	0,0029
Mn	181,594	0,0163
Se	107,047	0,0047
Pt	68,751	0,0152
Sn	20,915	0,0127
S	324,883	0,0156
Sr	42,838	0,0125
Br	39,226	0,0162
P	45,721	0,0605
Na	7,687	0,2829
Cl	507,469	0,0584
K	44,445	0,0115
Mg	21,215	0,1182
Ca	280,057	0,0091
Zn	281,280	0,0036

APÊNDICE E – RAZÃO DA CONCENTRAÇÃO INTERNO / EXTERNO (I/E) DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS