



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

DÉBORA REJANE FERNANDES DOS SANTOS

**QUALIDADE DO AR EM AMBIENTE INTERNO E EXTERNO  
EM RELAÇÃO AO MATERIAL PARTICULADO GROSSO E  
FINO EM ESCOLA PÚBLICA**

---

Londrina  
2016

DÉBORA REJANE FERNANDES DOS SANTOS

**QUALIDADE DO AR EM AMBIENTE INTERNO E EXTERNO  
EM RELAÇÃO AO MATERIAL PARTICULADO GROSSO E  
FINO EM ESCOLA PÚBLICA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina – UEL, Centro de Ciências Exatas – Departamento de Química, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Cristina Solci.

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Santos, Débora Rejane Fernandes.

Qualidade do ar em ambiente interno e externo em relação ao material particulado grosso e fino em escola pública / Débora Rejane Fernandes Santos. - Londrina, 2016. 81 f. : il.

Orientador: Maria Cristina Solci.

Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Química, 2016.

Inclui bibliografia.

1. material particulado, concentração de íons inorgânicos, saúde, interior e exterior - Teses. I. Solci, Maria Cristina . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Química. III. Título.

DÉBORA REJANE FERNANDES DOS SANTOS

**QUALIDADE DO AR EM AMBIENTE INTERNO E EXTERNO EM  
RELAÇÃO AO MATERIAL PARTICULADO GROSSO E FINO EM  
ESCOLA PÚBLICA**

Dissertação de mestrado, apresentado a Universidade Estadual de Londrina – UEL, Centro de Ciências Exatas – Departamento de Química, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Química.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Solci  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Leila Droprinchinski Martins  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -  
UTFPR

---

Prof. Dr. Mario Henrique Montazzolli Killner  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 20 de abril de 2016.

## **DEDICO**

**Ao meu esposo, minha filha, pela  
alegria de podermos compartilhar  
este momento.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que continuamente nos dá força e faz com que surjam momentos únicos em nossas vidas, tenho muitas pessoas a agradecer em razão de ajuda, da acolhida, do incentivo, das críticas e das sugestões recebidas. Algumas em especial.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Solci pelos apontamentos preciosos e competentes, cuja relevância foi ímpar para a conclusão deste trabalho. Agradeço pela confiança, pela disponibilidade e postura colaborativa que permearam este longo processo, pelas considerações competentes e sinalizações de possíveis descobertas pelas palavras motivadoras em momentos críticos.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação (mestrado) da Universidade Estadual de Londrina.

Ao Instituto Federal do Paraná - IFPR, em especial ao campus Jacarezinho pelo incentivo e colaboração na realização deste trabalho liberando-me das atividades institucionais.

Aos meus amigos que foram peças fundamentais ao longo dessa caminhada: Janaina Souza, Ismael Amador, Carla Estefani, Priscila Brugin, Andréia Montani.

Aos meus pais, Ciro e Glória pela estrutura concebida, amor e união. Vocês representam a base de minha formação e meu agradecimento é eterno.

Aos meus irmãos Eduardo, Grazielle e Guilherme.

Ao meu esposo Welk e minha filha Isabelle que sempre estiveram do meu lado nos momentos mais difíceis, pelo carinho em meio a tantos livros, compreensão e apoio.

Ao pessoal do LACA – Laboratório de Análise dos Componentes do ar, pela ajuda com as amostras e as análises.

A minha amiga Geovana Carvalho por receber de abraços abertos em sua casa nos momentos chaves para construção do meu conhecimento.

A Instituição de Ensino complexo Gastão de Mesquita Filho, em especial a diretora Renata, que gentilmente cedeu o espaço para realização deste trabalho, aos alunos, professores e demais servidores pela compreensão e colaboração.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram indiretamente para a realização deste trabalho.

“O mundo tornou-se perigoso porque os  
homens aprenderam a dominar a natureza  
antes de dominarem a si mesmos”

Albert Schweitzer

SANTOS, Débora Rejane Fernandes. **Qualidade do ar em ambiente interno e externo em relação ao material particulado grosso e fino em escola pública.** 2016. 81f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

A qualidade do ar de interiores (QAI) pode ser afetada por diversos fatores químicos e físicos como a presença de substâncias indesejáveis em suspensão no ar. As salas de aulas constituem um ambiente interior particular, pois os jovens estudantes, principalmente as crianças, são mais suscetíveis a problemas de saúde vinculados à má qualidade do ar de interior. Diante do exposto, a preocupação em estudar a poluição gerada ou acumulada em salas de aula faz-se necessário para conhecer a concentração desses poluentes, bem como sua composição inorgânica. Este estudo teve como objetivo geral avaliar a qualidade do ar interno em sala de aula de escola pública comparando com a do ambiente externo por meio da investigação sobre a composição química do material particulado grosso e fino e sua distribuição por tamanho em escala micrométrica. A amostragem foi realizada no período de 20 de agosto a 04 de setembro de 2015 no município de Jacarezinho, Paraná no interior de uma sala de aula de escola pública (Complexo Educacional Gastão de Mesquita Filho), sendo sua localização em área suburbana prevalecendo em seu entorno área industrial, agrícola e desprovido de estrutura urbana como pavimentação. Foram analisadas as concentrações de material particulado grosso e fino utilizando como substrato filtros de fibra de vidro e calculando sua massa por gravimetria e a composição inorgânica efetuada por cromatografia de íons. Os dados obtidos indicam forte presença de material particulado grosso e fino, com concentração média de  $13,3 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ) particulado fino e  $47,1 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) particulado grosso encontrados no interior da sala de aula enquanto que no ambiente externo a concentração para o  $\text{MP}_{10}$  foi de  $29,5 \mu\text{g m}^{-3}$ . As concentrações de material particulado podem ser oriundas de fontes antrópicas e ressuspensão de partículas do solo causadas por diversas atividades desenvolvidas durante o período de ocupação, mostrando que a região tem proporcionado influência negativa na qualidade do ar interior e exterior da escola. As concentrações em massa de íons inorgânicos solúveis em água predominantes foram sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) para todas as distribuições de tamanho amostradas. Os dados obtidos nos estágios de impactação mostraram distribuição nas modas de nucleação, acumulação e moda grosseira. O diagnóstico que se obtém desses dados comparando com os dias úteis com o fim de semana, mostraram elevada concentração nos dias úteis com média de  $53,7 \mu\text{g m}^{-3}$  em comparação com o fim de semana que apresentou concentração de  $29,3 \mu\text{g m}^{-3}$ .

**Palavras chave:** Material particulado. Saúde. Ambiente interno e externo.

SANTOS, Deborah Rejane Fernandes. **Air quality in internal and external environment in relation to the coarse and fine particulate matter in public school**. 2016. 81p. Master's Thesis (Master in Chemistry). State University of Londrina, Londrina, 2016.

## ABSTRACT

The quality of indoor air (IAQ) can be affected by various chemical and physical factors such as the presence of undesirable substances suspended in the air. Classrooms are a particular indoor environment for young students, especially children, are more susceptible to health problems related to poor quality of indoor air. Given the above, the concern in studying the pollution generated or accumulated in classrooms it is necessary to know the concentration of these pollutants and their inorganic composition. This study aimed to evaluate the quality of indoor air in public school classroom compared to the external environment through research on the chemical composition of the coarse and fine particulate matter and its distribution by size in the micrometer range. Sampling was carried out from 20 August to 4 September 2015 in the city of Jacarezinho, Paraná inside a public school classroom (Gastao Educational Complex de Mesquita Filho), and its location in suburban area prevailing in their surrounding industrial area, agricultural and dismissal of urban structure as paving. concentrations coarse and fine particulate matter using as glass fiber filter substrate and calculating its mass by gravimetry and inorganic composition made by ion chromatography were analyzed. The data indicate a strong presence of coarse and fine particulate material, with an average concentration of  $13.3 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) and fine particulate  $47,1 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) particulate thick found inside the classroom while the external environment the concentration for  $\text{PM}_{10}$  was  $29,5 \mu\text{g m}^{-3}$ . The particulate matter concentrations may be derived from anthropogenic sources and resuspension of soil particles caused by many activities during the period of occupation, showing that the region has provided a negative influence on the quality of indoor air and outside of school. The mass concentrations of the soluble inorganic ions in water were predominant sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), chloride ( $\text{Cl}^-$ ) and phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) for all sampled size distributions. The data obtained in the stages of impaction showed distribution in nucleation fashions, accumulation and coarse fashion. The diagnosis obtained comparing these data with the weekdays on the weekend, showed high concentration weekday with an average of  $53,7 \text{ ug m}^{-3}$  compared with the weekend that showed a concentration of  $29,3 \text{ ug m}^{-3}$ .

**Keywords:** Particulate matter. Health. Indoor and outdoor.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b>	Distribuição do MP em função do diâmetro de partícula e identificação das modas.....	21
<b>Figura 2 -</b>	Sistema respiratório representando as regiões de deposição das partículas de acordo com o diâmetro .....	27
<b>Figura 3 -</b>	Mapa do Norte do Paraná com destaque para o município de Jacarezinho.....	33
<b>Figura 4 –</b>	Visão panorâmica do município de Jacarezinho no Paraná.....	34
<b>Figura 5 -</b>	Sítio de amostragem Complexo Educacional Gastão de Mesquita Filho .....	34
<b>Figura 6 -</b>	Impactador low vol de baixo volume para coleta de MP <sub>10</sub> .....	35
<b>Figura 7 -</b>	Amostrador em 4 estágios de Impactação Sioutas .....	36
<b>Figura 8 -</b>	Esquema de um impactador de cascata utilizado para coleta de material particulado - <i>Sioutas</i> .....	37
<b>Figura 9 -</b>	Esquema do caminho de fluxo de material particulado.....	37
<b>Figura 10 -</b>	Princípio de funcionamento de um ciclone para coleta de material particulado MP <sub>2,5</sub> .....	38
<b>Figura 11 -</b>	Amostradores posicionados no interior da sala de aula.....	39
<b>Figura 12 -</b>	Amostradores posicionados no ambiente externo .....	39
<b>Figura 13 -</b>	Filtros amostrados no interior da sala de aula e exterior.....	42
<b>Figura 14 -</b>	Concentração diária de material particulado MP <sub>2,5</sub> amostrado durante a campanha juntamente com média diária de temperatura e umidade relativa do ar monitoradas no interior da sala de aula.....	50
<b>Figura 15 -</b>	Concentração diária de material particulado MP <sub>10</sub> amostrado durante a campanha juntamente com média diária de temperatura e umidade relativa do ar monitoradas no interior da sala de aula.....	51
<b>Figura 16 -</b>	Concentração em massa ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de MP <sub>2,5</sub> e MP <sub>10</sub> obtidas no interior da sala de aula.....	52

<b>Figura 17</b> - Concentração em massa ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de material particulado na fração $\text{MP}_{10}$ amostrados para o ambiente interno e externo durante o período de 20/08 a 04/09/2015. ....	55
<b>Figura 18</b> - Concentração percentual de material particulado distribuído nos estágios de impactação ( <i>Sioutas</i> ) realizadas no interior da sala de aula e no exterior. ....	58
<b>Figura 19</b> - Percentual de ânions presentes no material particulado para as frações $\text{MP}_{2,5}$ interno e $\text{MP}_{10}$ interno e externo. ....	60
<b>Figura 20</b> - Correlação entre cloreto ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos $\text{MP}_{10}$ e $\text{MP}_{2,5}$ no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015) .....	63
<b>Figura 21</b> - Correlação entre nitrato ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos $\text{MP}_{10}$ e $\text{MP}_{2,5}$ no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015) .....	64
<b>Figura 22</b> - Correlação entre sulfato ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos $\text{MP}_{10}$ e $\text{MP}_{2,5}$ no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015) .....	65
<b>Figura 23</b> - Correlação entre fosfato ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos $\text{MP}_{10}$ e $\text{MP}_{2,5}$ no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015) .....	66
<b>Figura 24</b> - Soma das concentrações de MP nos estágios de impactação realizadas no interior da sala de aula.....	67
<b>Figura 25</b> - Soma das concentrações de MP nos estágios de impactação realizadas no exterior a sala de aula.....	68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resumo das características das partículas de acordo com a distribuição de nucleação e Aitken.....	23
<b>Tabela 2</b> - Padrões de qualidade do ar para materiais particulados segundo a EEA, USEPA, CONAMA e OMS .....	29
<b>Tabela 3</b> - Limites de concentração de MP legislado no Brasil pela ABRAVA e ANVISA para ambientes interiores .....	30
<b>Tabela 4</b> - Parâmetros cromatográficos para análise dos ânions em MP .....	44
<b>Tabela 5</b> - Coeficiente de correlação ( $R^2$ ), limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para íons cloreto, nitrato, sulfato, fosfato, brometo, fluoreto e nitrito determinados por cromatografia de íons .....	46
<b>Tabela 6</b> - Percentual recuperada dos ânions majoritários .....	46
<b>Tabela 7</b> - Características estruturais do prédio e da sala de aula.....	47
<b>Tabela 8</b> - Intervalo e concentração média (24 h) em $\mu\text{g m}^{-3}$ do material particulado atmosférico $\text{MP}_{10}$ e $\text{MP}_{2,5}$ e concentração obtida no impactador (210h). Período de amostragem de 20 de agosto a 04 de setembro de 2015 realizadas no interior e exterior da sala de aula em Jacarezinho, Paraná .....	49
<b>Tabela 9</b> - Concentração média e respectivo desvio padrão de $\text{MP}_{10}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos dias úteis e final de semana em ambiente interno e externo. ....	56
<b>Tabela 10</b> - Distribuição dos íons no $\text{MP}_{2,5}$ e $\text{MP}_{10}$ .....	60
<b>Tabela 11</b> - Concentração média e respectivo desvio padrão de $\text{MP}_{10}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos dias úteis e final de semana em ambiente interno e externo. ....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPA	Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – United States)
MP	Material particulado
MP <sub>10</sub>	Material Particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm
MP <sub>2,5</sub>	Material Particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm
MPS	Material particulado em suspensão
WHO	Organização Mundial de Saúde, do inglês <i>World Health Organization</i>
QAI	Qualidade do ar interior
DA	Diâmetro aerodinâmico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
EEA	European Environment Agency
USEPA	United States Environmental Protection Agency
OMS	Organização Mundial de Saúde
ANVISA	Agência Nacional de vigilância Sanitária
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração de ar condicionado e Aquecimento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMEI	Escola de Educação Municipal Infantil
EMEF	Escola de Educação Municipal Fundamental
LQ	Limite de quantificação
LD	Limite de detecção
IAP	Instituto ambiental do Paraná
LACA	Laboratório de Análises dos Componentes do Ar

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{g m}^{-3}$	Micrograma por metro cúbico
$\text{SO}_4^{2-}$	Sulfato
$\text{NO}_3^-$	Nitrato
$\text{NH}_4^+$	Íon amônio
$\text{H}^+$	Íon hidrogênio
$\text{SO}_2$	Dióxido de enxofre
$\text{OH}$	Hidróxido
$\text{O}_2$	Gás oxigênio
$\text{H}_2\text{O}$	Água
$\text{H}_2\text{SO}_4$	Ácido Sulfúrico
$\text{NO}_2$	Dióxido de nitrogênio
$\text{NO}_3$	Trióxido de nitrogênio
$\text{N}_2\text{O}_5$	Pentóxido de dinitrogênio
$\text{HNO}_3$	Ácido nítrico

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	Objetivos específicos .....	18
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1.	MATERIAL PARTICULADO .....	18
3.2.	DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO DAS PARTÍCULAS .....	20
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL PARTICULADO .....	22
3.4.	FORMAÇÃO DE COMPOSTOS INORGÂNICOS .....	24
3.5	MATERIAL PARTICULADO - EFEITOS ADVERSOS NA SAÚDE.....	25
3.6.	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR .....	28
3.6.1.	Legislação Nacional para Qualidade do Ar em Ambientes Internos .....	29
3.7.	QUALIDADE DO AR DE AMBIENTE INTERNO E EXTERNO .....	30
3.8.	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	32
3.9.	ÁREA DE ESTUDO.....	33
<b>4.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	35
4.1.	AMOSTRADORES.....	38
4.1.1.	Impactador Low vol MP10.....	35
4.1.2.	Impactador em cascata <i>Sioutas</i> .....	35
4.1.3.	Ciclone MP <sub>2,5</sub> .....	37
4.2.	AMOSTRAGEM .....	38
4.3	METODOLOGIA ANALÍTICA.....	40
4.3.1.	Análise Gravimétrica .....	40
4.4	EXTRAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO SOLÚVEL EM ÁGUA .....	42
4.5	SOLUÇÕES EMPREGADAS NO PROCEDIMENTO ANALÍTICO .....	42
4.5.1	Solução Eluente (NaOH).....	42
4.5.2	Solução regenerante (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	43
4.6.	IDENTIFICAÇÃO DOS ANALITOS EM ESTUDO.....	43

4.7	Figuras de mérito do método analítico .....	44
4.7.1	Linearidade .....	44
4.7.2	Limites de Detecção e Quantificação .....	45
4.7.3	Teste de recuperação .....	46
4.8	PARÂMETROS METEOROLÓGICOS.....	47
4.8.1.	CARACTERIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE ENSINO.....	47
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>48</b>
5.1	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO .....	48
5.2	COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MP <sub>2,5</sub> E MP <sub>10</sub> .....	52
5.3	RAZÃO INTERNO EXTERNO I/E ENTRE MP <sub>10</sub> .....	57
5.4	DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO DO MATERIAL PARTICULADO NOS ESTÁGIOS DE IMPACTAÇÃO SIOUTAS.....	58
5.5	DETERMINAÇÃO DE ÂNIONS MAJORITÁRIOS NO MATERIAL PARTICULADO MP <sub>2,5</sub> E MP <sub>10</sub> .....	59
5.6	ANÁLISE DAS RAZÕES [NO <sub>3</sub> ]/ [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] .....	61
5.7	CORRELAÇÃO DOS ÂNIONS NO MP <sub>2,5</sub> E MP <sub>10</sub> .....	62
5.8	DETERMINAÇÃO DE ÂNIONS MAJORITÁRIOS DISTRIBUIDOS POR TAMANHO NO IMPACTADOR EM CASCATA.....	66
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>79</b>
Anexo A -	CURVAS ANALÍTICAS PARA DETERMINAÇÃO CROMATOFRÁFICA DE ÂNIONS .....	79
Anexo B –	Cromatogramas dos Padrões de ânions e da amostra .....	81

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos tem-se observado um expressivo aumento populacional juntamente com o contínuo avanço das tecnologias, gerando acréscimo na emissão de poluentes atmosféricos. Uma diversidade de poluentes presentes na atmosfera é responsável por interferir no clima e provocar efeitos nocivos à saúde do ser humano.

Entre as décadas de 60 e 70 nos Estados Unidos aconteceram muitos desastres ambientais que levaram as discussões importantes, que culminou na criação da Agência de Proteção Ambiental (EPA) para uma reforma das leis ambientais. Com estes graves eventos de poluição do ar, a opinião pública manifestou grande preocupação em relação aos impactos gerados. Na Europa e nos Estados Unidos, pesquisas direcionadas para as consequências adversas da poluição do ar se desenvolveram a passos largos, principalmente as ligadas aos efeitos dos poluentes à saúde humana. Desta maneira, surgiram as primeiras legislações para estabelecer o controle da poluição atmosférica, nestes países (BAIRD; CANN, 2011, p.26).

As legislações de poluição do ar existentes em diversos países do mundo apresentam as particularidades de cada nação onde elas foram criadas. No entanto, uma característica comum em legislações de países como Estados Unidos, Brasil e dos que fazem parte da União Européia, é o estabelecimento de padrões de qualidade do ar para um número limitado de poluentes. Estes poluentes são determinados de acordo com os efeitos nocivos causados à saúde pública e ao meio ambiente.

Como descrito por Polichetti *et al.* (2009) dentre os poluentes mais conhecidos, o material particulado (MP) é um dos mais importantes parâmetros em estudos de poluição atmosférica devido aos diversos impactos provocados à saúde humana e ao meio ambiente. Rocha *et al* (2009, p.117) descrevem que o MP pode ser entendido como um conjunto de pequenas partículas sólidas, líquidas ou misturas de gases que suspensas no ar são denominadas de aerossóis ou material particulado em suspensão (MPS).

Considerando a exposição ao material particulado, as crianças representam uma das subpopulações mais suscetíveis em relação aos efeitos potencialmente nocivos induzidos pela poluição do ar. Pongpiachan e Paowa (2014); Schüep e Sly (2012) WHO, (2010). Este fato fica mais evidente se considerarmos que as crianças passam boa parte de seu tempo em ambientes fechados como salas de aulas,

residências, meios de locomoção, etc., estando portanto, expostas a uma mistura complexa de poluentes atmosféricos. Em comparação com os adultos, as crianças são mais vulneráveis a má qualidade do ar interior, devido ao seu sistema imunológico ainda em desenvolvimento (Foos et al, 2008; Burtscher e Schuepp, 2012).

Recentemente, Annesi-Maesano *et al.* (2013) focaram seus estudos especificamente em ambiente escolar através da revisão da literatura existente (até 2012) sobre a qualidade do ar interior (QAI) e os efeitos adversos para a saúde, em especial o sistema respiratório. Os autores concluíram que a QAI nas escolas tem sido menos estudada do que QAI de outros ambientes internos como, escritórios, restaurantes e tanto outros. Observaram que fatores como prédios antigos, falta de manutenção, limpeza ineficiente e ventilação precária podem contribuir para a má qualidade do ar interior de salas de aula.

Além disso, a qualidade do ar em escolas tem sido associada a um largo espectro de doenças ligadas ao sistema respiratório como asma, rinite, tosse seca, etc. Sob essa perspectiva, o ambiente escolar tem sido uma preocupação crescente para a saúde dos alunos e compreender a exposição das crianças é vital para seu desenvolvimento saudável (BURTSCHER E SCHUEPP, 2012).

A avaliação e a remediação dos problemas relacionados à qualidade do ar de interiores requerem um entendimento das fontes de emissão, da ventilação do prédio e das salas, e dos processos que afetam o transporte dos contaminantes.

O estudo em questão analisa a influência do material particulado no interior de sala de aula de uma escola pública que atende crianças com idade de 6 meses a 12 anos na cidade de Jacarezinho – PR. A relevância da pesquisa está associado a vários estudos de que a concentração do material particulado pode causar sérias consequências a saúde humana, agravando principalmente o trato respiratório de crianças em fase de desenvolvimento.

É fato que a poluição atmosférica por material particulado tem acometido os grande centros, mas vale ressaltar que a poluição também afeta a saúde humana em cidades de médio e pequeno porte. A região de estudo possui nos arredores indústrias e plantações de cana de açúcar que podem influenciar negativamente na qualidade do ar.

Concentração média de  $MP_x$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos dias úteis e final de semana em ambiente interno e externo, são importante objeto de estudo para entender as contribuições de fontes naturais e antrópicas dos aerossóis.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este estudo teve como objetivo geral avaliar a qualidade do ar interno em sala de aula de escola pública comparando com a do ambiente externo por meio da investigação sobre a composição química do material particulado grosso e fino e sua distribuição por tamanho em escala micrométrica.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar as concentrações em massa do material particulado atmosférico nas frações fina e grossa em sala de aula da Instituição de Ensino Complexo Educacional Gastão de Mesquita Filho;
- Identificar a composição de íons inorgânicos no material particulado;
- Quantificar os íons por distribuição de tamanho;
- Comparar a concentração do material particulado grosso e fino entre o interior e exterior da sala de aula.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. MATERIAL PARTICULADO**

Alguns termos são utilizados ao se fazer referência as partículas atmosféricas, como aerossol e material particulado. Um aerossol é tecnicamente definido como suspensões relativamente estáveis de partículas sólidas ou gotículas dispersas num gás com dimensões inferiores a 100  $\mu\text{m}$ , mas tamanhos superiores aos das moléculas individualizadas. Tais suspensões são frequentemente designadas como aerocolóides, matéria particulada ou simplesmente partículas e incluem poeiras, fumos, cinzas, nevoeiros e “sprays” (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Um aerossol de partículas pode consistir de uma única unidade de sólido ou líquido contendo muitas moléculas unidas por forças intermoleculares e essencialmente maior do que as dimensões moleculares ( $> 0.001\mu\text{m}$ ) e uma partícula

pode também consistir de duas ou mais estruturas unitárias mantidas juntas, de modo a se comportar como uma única unidade em suspensão (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Ao longo do texto será utilizado o termo material particulado ao se referir a aerossol atmosférico.

O material particulado recebe classificação primária quando é emitido diretamente de fontes naturais ou antrópicas dispersando na atmosfera sem ocorrência de transformação gás partícula, ou seja, mesmas características químicas.

Fica sendo classificado como material particulado secundário quando é formado a partir de gases precursores que ao reagirem na atmosfera podem dar origem a novas partículas. Estes gases precursores tanto podem ser de origem natural como antrópica (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Sua origem pode ser natural ou antrópica. As fontes naturais de emissão de particulado são essencialmente devidos à ação do vento no solo (produzindo poeiras) e no mar (produzindo o spray marinho), às emissões biogênicas (incluindo a vegetação), à atividade vulcânica e aos incêndios naturais, dando origem ao material particulado primário. O material particulado biogênico primário é produzidos através da desintegração e dispersão do material vegetal e animal, bem como pela dispersão da matéria microbiana a partir de uma variedade de fontes para a atmosfera (SEINFELD; PANDIS, 2006).

O Saara é a principal fonte mundial de poeira mineral, e tem uma forte influência nos continentes Americano e Europeu. A turbulência e a circulação atmosférica transportam as partículas por longas distâncias, influenciando a qualidade do ar e as condições climáticas locais, regionais e/ou globais. A intensidade destes efeitos depende das propriedades físicas e químicas das partículas (CALVO *et al.*, 2013, *apud* MIRANTE, 2013).

As fontes antrópicas de material particulado podem ser geradas a nível global, regional e local. Calvo *et al.* (2013) relatam que em escala global, as fontes mais importantes são as emissões industriais, transportes, domésticas, as resultantes da queima de biomassa, construção/demolição e as agrícolas. A queima de vegetação realizada para a obtenção de novas terras para fins agrícolas representa também uma importante fonte de MP em certas regiões do planeta (GONÇALVES *et al.*, 2011).

Em escala local e regional, em geral as fontes antrópicas mais importantes de MP são a queima de combustíveis fósseis, centrais termoelétricas e atividades industriais. Uma proporção importante do MP de origem antrópica é constituída por

partículas secundárias, formadas a partir de gases poluentes (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Contudo, uma das principais fontes antrópicas de MP resulta do tráfego de veículos, quer por via de emissão de gases de escape e desgaste de pneus, por ressuspensão do material depositado nas estradas (AMATO *et al.*, 2009, 2011; JIANG *et al.*, 2005; SCHAUER *et al.*, 2006; THORPE e HARRISON, 2010).

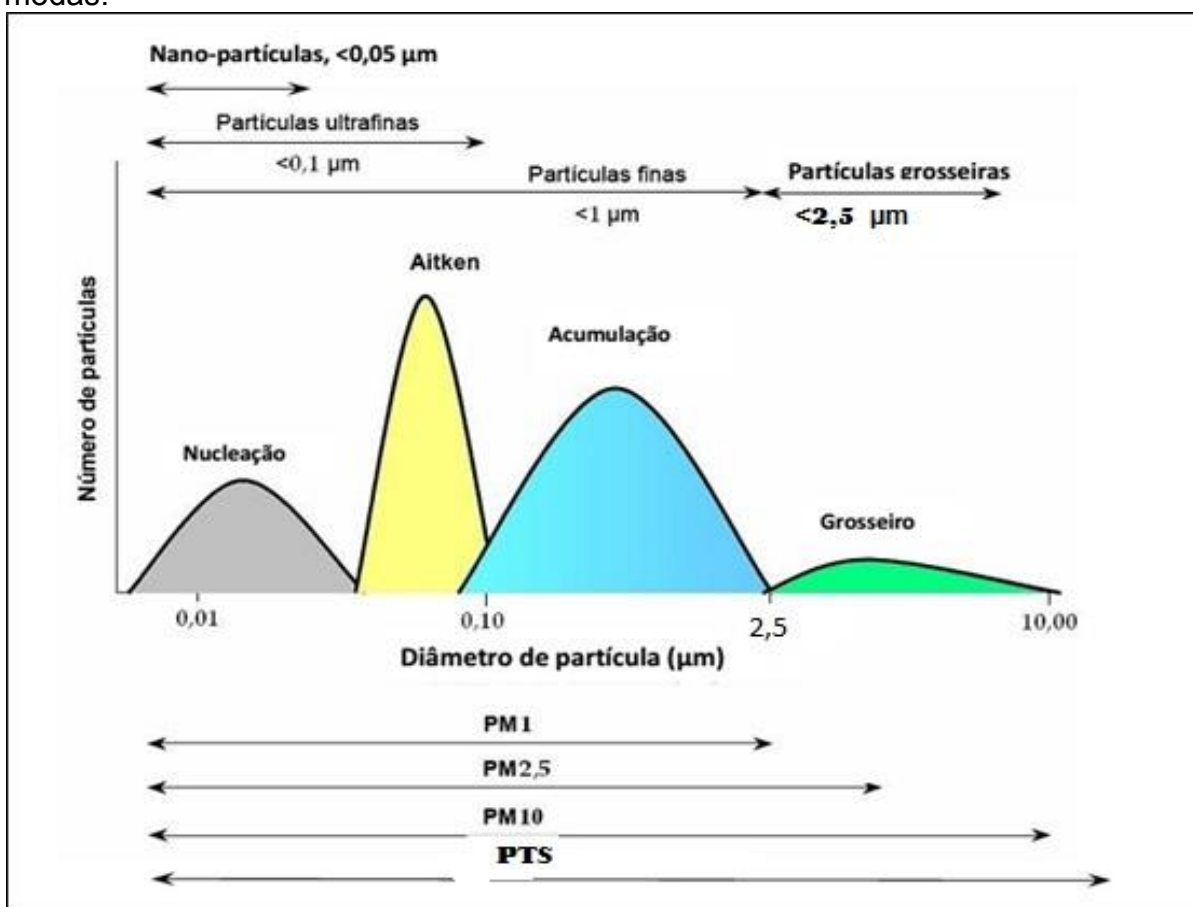
### 3.2. DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO DAS PARTÍCULAS

As partículas em geral são classificadas e medidas quanto a distribuição de número, área, volume e tamanho. A determinação do tamanho das partículas é muito importante, uma vez que permite identificar as fontes e processos químicos que lhe deram origem, bem como, avaliar o modo de transporte e deposição e o grau de influência sobre a saúde (FINLAYSON-PITTIS; PITTIS, 2000).

O tamanho das partículas atmosféricas varia entre poucos angstroms (Å) a algumas dezenas de micrômetros ( $\mu\text{m}$ ). O tamanho da partícula é normalmente expresso em diâmetro aerodinâmico (Da), que corresponde ao diâmetro de uma esfera de densidade unitária ( $1\text{g cm}^{-3}$ ) que possui o mesmo mecanismo de velocidade de queda na atmosfera que uma partícula real. (SEINFELD; PANDIS, 2006).

O material particulado pode ser subdividido numa série de intervalos de tamanhos denominados por “modos” (“modas”), que estão na sua maioria, relacionados com os seus mecanismos de formação (Figura 1): modo de nucleação, Aitken, acumulação e modo grosseiro (FINLAYSON-PITTIS; PITTIS, 2000).

**Figura 1-** Distribuição do MP em função do diâmetro de partícula e identificação das modas.



Fonte: Adaptado de (Querol et al., 2008) e Calvo (2009).

As partículas da moda de nucleação são geralmente formadas por processos químicos – como combustão e conversão gás-partícula – e ainda respondem pela predominância da concentração de número em relação à moda grossa. Devido ao pequeno tamanho de suas partículas, essa moda pouco contribui para a massa total do material particulado, mas responde pela maior parte do número de partículas (SEINFELD e PANDIS, 2006).

O crescimento da partícula pode ocorrer tanto por condensação como por coagulação. O primeiro processo depende da condensação de vapores de baixa volatilidade sobre partículas pré-existentes e o segundo consiste na colisão de pequenas partículas, sujeitas ao movimento browniano, que se unem formando apenas uma (YNOUE, 2004).

No modo Aitken é provável que as partículas sejam de fontes secundárias, se formem por processos de coagulação a partir do modo de nucleação ou por condensação sobre partículas preexistentes.

As partículas no modo de acumulação possuem composição química diversa, resultado da incorporação de partículas de diversas origens. Em razão do seu tamanho contam com um tempo de residência na atmosfera longo variando de dias até semanas e podem ser transportadas a longas distâncias. Estas partículas são principalmente removidas da atmosfera por precipitação (ROCHA *et al.*, 2009).

Partículas grossas são geradas por processos mecânicos, como o vento. Seu intervalo de tamanho é maior que 2,5 µm de diâmetro, e em decorrência disso, elas têm tempo de residência curto na atmosfera, depositando não muito longe da fonte emissora (ROCHA *et al.*, 2009).

Segundo os autores Baird e Cann (2011, p.154) os materiais particulados de modo geral, são qualitativamente classificados em particulado grosso e fino, dependendo do seu diâmetro ser maior ou menor que 2,5 µm. As partículas inaláveis grossas (MP<sub>2,5-10</sub>) são as que possuem o diâmetro aerodinâmico médio das partículas no intervalo de 2,5 a 10 µm e as partículas finas ou respiráveis (MP<sub>2,5</sub>) são inferiores a 2,5 µm. Parte do MP inferior a 2,5 também são denominados de partículas quase-ultrafinas (MP<sub>0,25</sub>) e ultrafinas (MP<sub>0,1</sub>) (MINGUILLÓN, *et al.*, 2008 *apud* FREITAS e SOLCI, 2009).

Partículas derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoelétricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5 µm podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas ALMEIDA, *et al.* (2011)

### 3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL PARTICULADO

A composição química do material particulado tanto na moda grossa como fina são diferentes. Na maioria, as partículas grossas são básicas e as partículas finas são ácidas ZHU, *et al.*, (2015). A acidez das partículas finas se deve a presença de ácidos não neutralizados, enquanto as grossas possuem caráter básico devido ao conteúdo proveniente do solo (BAIRD, CANN, 2011).

O material particulado fino apresenta além do carbono elementar íons como SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sup>+</sup> e compostos orgânicos condensados. Uma variedade de metais também é encontrada nas partículas finas, sob a forma de traços metálicos tais como mercúrio, cádmio, vanádio e crômio (ROCCO, 2014).

Os traços metálicos, carbono elementar e sulfato são considerados como espécies estáveis. No entanto, uma significativa fração dos materiais em suspensão consiste em espécies semi-voláteis que podem existir em ambas as fases de gás e de partículas (ROCCO, 2014).

Uma vez que a maioria das partículas finas é de origem secundária devido às atividades antrópicas, a conversão gás partícula desempenha um papel importante, em especial nos processos em que os gases reagem quimicamente sobre a superfície de partículas preexistentes, formando produtos líquidos ou sólidos (AKTHAR, *et al.* 2014).

A composição química das partículas grossa é muito diversificada sendo constituída por diversos tipos de partículas, como partículas de ressuspensão do solo, cinza, fuligem, pólen e entre outras. Entretanto, as predominantes são partículas de origem mineral, comumente as mais encontrados são o silício, alumínio potássio, ferro e cálcio. O material particulado emitido pelos veículos contém uma variedade de espécies orgânicas e inorgânicas. Dentre as fontes destas espécies pode-se destacar a queima incompleta de combustível e a queima de óleo lubrificante (VASCONCELLO; GUARIEIRO; SOLCI, 2011). Carbonatos e compostos orgânicos podem ser encontrados em quantidades substanciais (GEISS *et al.*, 2014).

Segue resumo da origem, formação e composição das partículas conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Resumo das características das partículas de acordo com a distribuição de nucleação e Aitken.

	<b>PARTÍCULAS MENORES QUE 0,1 µm MODA DE ACUMULAÇÃO (0,1 e 2,5 µm)</b>		<b>MODA DAS PARTÍCULAS GROSSAS (2,5 e 10 µm)</b>
<b>FORMAÇÃO</b>	Nucleação; Condensação; Coagulação Reações químicas	Condensação; Coagulação	Atrito mecânico; Evaporação de sprays"; Suspensão de poeira.
<b>COMPOSIÇÃO</b>	Sulfatos; Carbono elementar; Compostos de metais; Compostos orgânicos com baixa pressão de vapor de saturação	Íons de sulfato, nitrato amônio e hidrogênio; Carbono elementar; Grande variedade de compostos orgânicos; Metais: compostos de Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe etc.; Partículas com água; Fuligem.	Solo suspenso ou poeira de rua; Cinzas de combustão incompleta de carvão, óleo e madeira; Nitratos/cloretos/sulfatos de reações de HNO <sub>3</sub> / HCl /SO <sub>2</sub> com partículas grossas; Pólen, fungo, esporos de fungos; Fragmentos de plantas e animais; Desgaste de pneus, pavimentos de estradas.
<b>FONTES</b>	Combustão atmosférica; Transformação de SO <sub>2</sub>	Combustão de carvão, óleo,	Ressuspensão de poeira; Combustão de óleo e carvão

	e alguns compostos orgânicos; Processos com temperaturas elevadas.	gasolina, diesel e madeira; Processos sob temperaturas elevadas, fundições, siderúrgicas etc.	incontrolados; Spray marinho; Fontes biológicas.
<b>TEMPO DE RESIDÊNCIA</b>	Minutos a horas.	Dias a semanas	Minutos a horas.
<b>DISTÂNCIAS PERCORRIDAS - SUSPENSÃO NO AR</b>	Menos que um a dezenas de km.	Centenas a milhares de km.	Menos que um até dezenas de km.

Fonte: Adaptado de Wilson e Suh (1997), *apud* CETESB, 2008.

### 3.4. FORMAÇÃO DE COMPOSTOS INORGÂNICOS

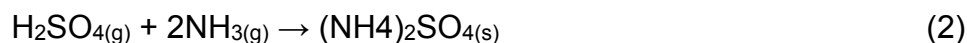
Os compostos inorgânicos secundários são formados na atmosfera e podem crescer a partir de reações entre moléculas de gases, condensação de vapores em partículas preexistentes, reações envolvendo gases absorvidos para o interior de gotas líquidas. Nucleação homogênea resulta de reação em fase gasosa enquanto que nucleação heterogênea ocorre quando um aerossol preexistente está envolvido no processo de crescimento da partícula. Processos de nucleação homogênea aumentam a concentração do número de partículas, enquanto que os processos heterogêneos aumentam o tamanho e modificam quimicamente as partículas preexistentes. Os principais compostos inorgânicos secundários na matéria particulada são o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ).

Os sulfatos são formados a partir do dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), o qual pode ter origem natural (através de emissões vulcânicas e compostos com enxofre provenientes da crosta terrestre ou dos oceanos) ou antrópica (principalmente através de processos de combustão de materiais fósseis). O  $\text{SO}_2$  pode ser oxidado na atmosfera para formar ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), na fase gasosa (equação 1).



A gotícula contendo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pode absorver amônia gasosa ( $\text{NH}_3$ ) e formar o sulfato de amônio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (equação 2) e bissulfato de amônio ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) (equação 3). Partículas de nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) (equação 4) são formadas de

modo similar pela oxidação do dióxido de nitrogênio a ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) (equação 5).



O H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que se forma também pode reagir em menores proporções com o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e com o cloreto de sódio (NaCl) e originar sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>) e de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), respectivamente (CARDOSO *et al.*, 2013).

Depois da NH<sub>3</sub> atmosférico ter neutralizado o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, o restante pode então combinar-se com o HNO<sub>3</sub> para formar o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (equação 4,5 e 6).



Em contraste com o (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, cuja formação é rápida e irreversível, o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> é um composto semi-volátil que se forma sobre a superfície da partícula em equilíbrio com os precursores gasosos:



Este equilíbrio depende da temperatura e da umidade do ambiente atmosférico Hinneburg *et al.*, (2009). O HNO<sub>3</sub> resulta principalmente da oxidação do dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e este, além de ser neutralizado e transformado em NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, também pode ser transformado em nitrato de sódio ou cálcio (HARRISON, 2010 e PIO, 1988).

### 3.5. MATERIAL PARTICULADO - EFEITOS ADVERSOS NA SAÚDE

Como observa Buonanno *et al.*, (2013) as partículas micrométricas e submicrométricas tem sido a causa dos índices de mortalidade e morbidade possivelmente mais do que qualquer poluente gasoso nos seus níveis atuais.

O impacto da poluição atmosférica sobre a saúde das crianças em idade escolar é atualmente um dos principais focos das organizações internacionais (GUO, 2010).

A exposição a longo prazo à poluição do ar por partículas do tráfego e outras fontes de combustão está associada com um aumento em geral da mortalidade e morbidade por doenças respiratórias, cardiovasculares, cardiopulmonares, sistemas reprodutivos e ainda levar ao câncer (KAROTTKI, *et al.*, 2014).

Em relação ao sistema respiratório, essas partículas podem levar ao estresse oxidativo. O estresse oxidativo apresenta-se como um desequilíbrio bioquímico em que a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) excede a capacidade antioxidante natural do organismo. Este desequilíbrio pode ocorrer após a exposição a agentes pró-oxidantes, como poluentes do ar Delfino *et al.*, (2011) e a própria resposta antioxidante ou inflamatória do organismo aos efeitos desta exposição, sendo que esta constitui importante mecanismo de defesa do organismo para auxiliar na manutenção do equilíbrio homeostático e oxidativo (BROOK *et al.*, 2010).

Isto provoca Inflamações diversas das vias aéreas e redução da capacidade de defesa dos pulmões. Essa redução se dá em função das inflamações que levam a uma destruição dos mecanismos de defesa, causando lesões graves dos cílios e espessamento do muco (MARQUES, 2008).

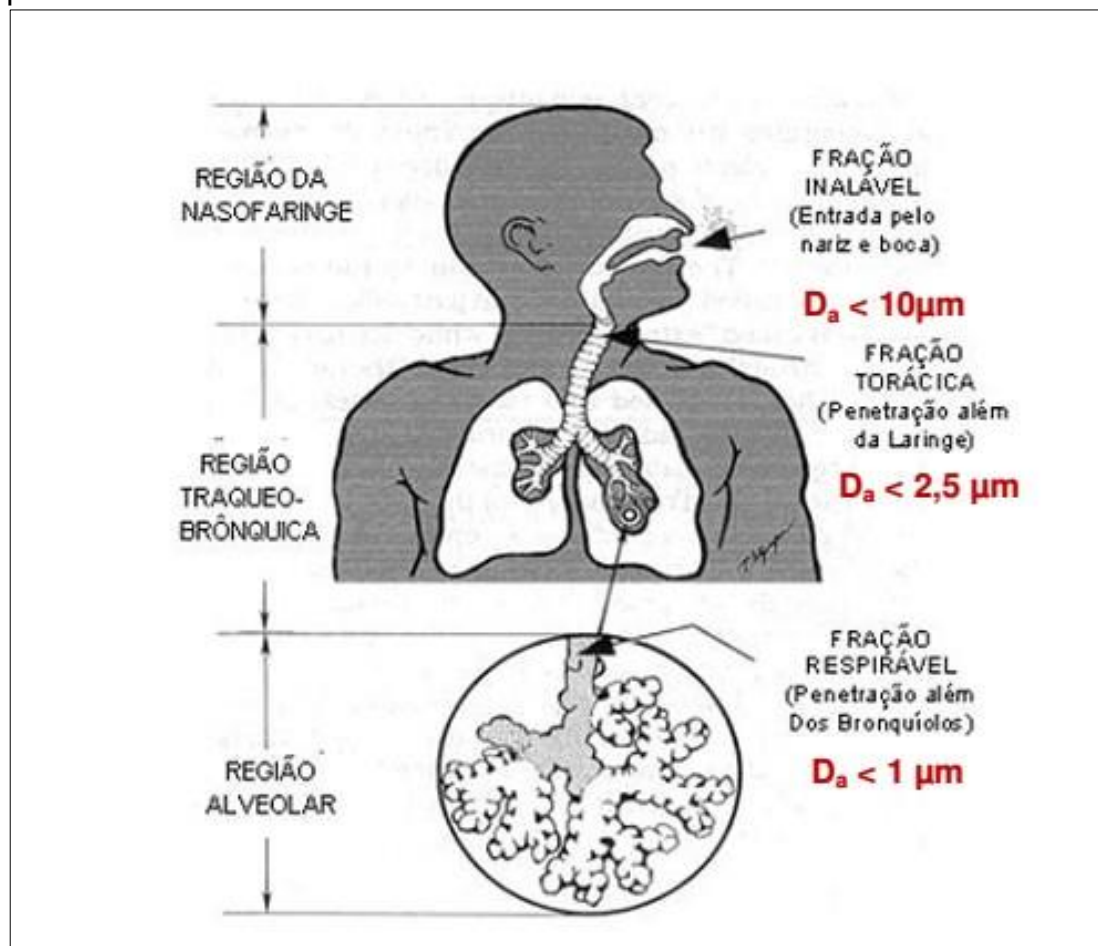
Crianças respiram maiores volumes de ar em relação a sua massa corpórea. Sua vulnerabilidade fisiológica para a poluição do ar deriva das vias aéreas estreitas e aos pulmões ainda estarem em desenvolvimento. Além disso, muitas crianças respiram através da boca ignorando o mecanismo de filtragem do nariz. Assim, as crianças são mais propensas a sofrer as consequências da poluição interna (ALVES, 2014).

Existe uma correlação entre as concentrações dos poluentes e o aparecimento de problemas de saúde com crianças em idade escolar. Observam-se predominantemente sintomas respiratórios, tais como a asma, irritação da garganta, alergias e entre outras. Considerando tal fato, as crianças são um grupo de risco e podem apresentar vulnerabilidades quando expostas a um ambiente interior de menor qualidade. O desenvolvimento de patologias respiratórias está associado à baixa qualidade do ar em ambientes escolares.

O efeito do material particulado na saúde depende de vários fatores. Porém como mencionado anteriormente os principais são a composição química, a

concentração, o tempo de exposição e especialmente o tamanho da partícula conforme ilustração da figura 2 (ROCCO, 2014).

**Figura 2** - Sistema respiratório representando as regiões de deposição das partículas de acordo com o diâmetro.



Fonte: SANTOS, 2001 *apud* MENDONÇA, 2013.

Partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório. As partículas inaláveis podem penetrar no corpo pelo nariz ou pela boca, e engloba as partículas de maiores tamanhos que podem causar problemas a saúde.

A fração torácica é a que engloba partículas que podem atingir o tórax. Usualmente estas são referidas como as partículas menores que  $10 \mu\text{m}$  ( $MP_{10}$ ) entretanto, o limite de tamanho não é exato, sendo um valor aproximado. As que podem atingir a região alveolar do sistema respiratório, mas não necessariamente se depositarem nesta região, são incluídos na fração respirável.

Estudos recentes tem demonstrado preocupação com as partículas ultra finas, pois, estas apresentam grande potencial de cruzar a fronteira alveolar-capilar e ganhar acesso à circulação, o que pode ter implicações sérias em termos de toxicidade sistêmica e doença cardiovascular (LI *et al.*, 2016).

Na Europa, foi realizado um estudo em várias cidades com a finalidade de verificar a presença de certa proteína em fluido extra pulmonar como indicativo de aumento da permeabilidade da barreira alvéolo capilar. O estudo mostrou que para cada aumento de 10  $\mu\text{gm}^3$  de  $\text{MP}_{2,5}$  a concentração da proteína aumentou cerca de 20% (FERNANDES *et al.*, 2010).

Esse aumento apresentou uma forte evidência da ligação entre a exposição à poluição atmosférica pelo particulado fino e o efeito pulmonar. Este mesmo estudo mostrou ainda significativa associação a mortalidade por câncer de pulmão ligado ao  $\text{MP}_{2,5}$ , o que levou um aumentado de 8% nos casos de morte por esse tipo de doença (GODISH, 2004).

### 3.6. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os ambientes escolares são ocupados, quase na totalidade, por crianças e jovens em fase de desenvolvimento do seu organismo, nomeadamente das vias respiratórias. Quando expostos, desde cedo, a ambientes interiores de baixa qualidade do ar poderão comprometer a sua saúde e qualidade de vida no futuro.

A saúde e conforto dos alunos e professores estão entre os muitos fatores que contribuem para a aprendizagem e produtividade nas salas de aula, que por sua vez afetam o desempenho escolar dos alunos.

Para os principais poluentes atmosféricos foram estabelecidos padrões de qualidade do ar, os quais são as definições legais do limite de concentração máxima de um componente atmosférico que garanta a proteção e bem-estar dos seres humanos.

No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar foram instituídos através da Portaria Normativa IBAMA nº 348 de 14/03/90 e da Resolução do CONAMA nº 003 de 28/06/1990. A tabela 2 traz os padrões de qualidade do ar para materiais particulados estabelecidos pela Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (USEPA), Agência Ambiental da União Europeia (EEA), conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA) e Organização Mundial de saúde (OMS).

**Tabela 2** - Padrões de qualidade do ar para materiais particulados segundo a EEA, USEPA, CONAMA e OMS

	<b>POLUENTE</b>	<b>PADRÕES</b>	<b>CONCENTRAÇÃO</b>	<b>TEMPO DE EXPOSIÇÃO</b>
<b>EEA</b> (União Européia)	MP <sub>2,5</sub>	-	25 µg/m <sup>3</sup>	1 ano
	MP <sub>10</sub>	-	50 µg/m <sup>3</sup>	24 horas
<b>USEPA</b> (Estados Unidos)	MP <sub>2,5</sub>	Primário	12 µg/m <sup>3</sup>	Anual
		Secundário	15 µg/m <sup>3</sup>	Anual
		Primário e secundário	35 µg/m <sup>3</sup>	24 horas
	MP <sub>10</sub>	Primário e secundário	150 µg/m <sup>3</sup>	24 horas
<b>CONAMA</b> (Brasil)	MP <sub>10</sub>	Primário	50 µg/m <sup>3</sup>	1 ano
		Secundário	150 µg/m <sup>3</sup>	24 horas
<b>OMS</b> (Mundial)	MP <sub>2,5</sub>		10 µg/m <sup>3</sup>	Anual
		-	25 µg/m <sup>3</sup>	24 horas
	MP <sub>10</sub>	-	20 µg/m <sup>3</sup>	Anual
		-	50 µg/m <sup>3</sup>	24 horas

**Fonte:** do autor

### 3.6.1. Legislação Nacional para Qualidade do Ar em Ambientes Internos

As leis existentes no Brasil que tratam sobre a qualidade do ar de interiores são regulamentadas pela: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e pelo Ministério da Saúde. Seguem o mesmo padrão a Associação Brasileira de Refrigeração Ar condicionado e Aquecimento (ABRAVA). A Resolução ANVISA nº 176 de 24 de outubro de 2000 trata de orientações técnicas sobre “Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo”. Já a Resolução ANVISA nº 9, de 16 de janeiro de 2003 foi escrita a partir da necessidade de revisão da resolução nº 176, a qual estabelece que, para material particulado, as principais fontes de emissão em ambientes interiores são poeiras e fibras.

Na tabela 3 estão apresentados os limites de concentração para partículas totais em suspensão estabelecidos pela ANVISA E ABRAVA.

**Tabela 3** - Limites de concentração de MP legislado no Brasil pela ABRAVA e ANVISA para ambientes interiores.

<b>Poluentes</b>	<b>Limite de concentração – ABRAVA RN 02 de 2003</b>	<b>Limite de concentração – Resolução ANVISA nº 9</b>
Partículas totais em suspensão	< 60 µg/m <sup>3</sup>	≤ 80 µg/m <sup>3</sup>

**Fonte:** <http://www.mma.gov.br>

### 3.7. QUALIDADE DO AR DE AMBIENTE INTERNO E EXTERNO

As concentrações de alguns poluentes comuns do ar são frequentemente maiores em ambientes internos do que externos. Considerando que muitas pessoas passam mais tempo em ambientes fechados, a exposição aos poluentes do ar de interiores é um importante problema ambiental e pode causar mais problemas para a saúde humana do que o ar exterior (BAIRD, CANN, 2011).

Do ponto de vista dos impactos à saúde, a dose recebida das concentrações e duração da exposição à um poluente ou combinação destes que é importante, ou seja, a dose recebida.

Esforços de cientistas de todo o mundo tem-se concentrado em estudos sobre a composição do ar em ambientes externos e principalmente internos. Pesquisas apontam que ambientes internos deixam de ser um local de refugio quando se fala de poluição atmosférica.

Alves *et al.*,(2014) enfatizaram que a concentração de partículas em ambiente interno é a causa de um potencial perigo ambiental, isto porque a concentração está relacionada com a quantidade de material por unidade de volume. Relatam ainda que nesta mesma ordem de ideias, para uma mesma massa, quanto menor o volume de dissolução, maior a concentração final.

Neste contexto, ultrapassar valores limites de qualidade do ar depende não somente de uma grande fonte de emissão, mas também de pequeno volume de ar de diluição. Esta característica evidencia o porquê de ambientes fechados serem muitas vezes mais poluído do que os grandes centros industriais. Além disso, temos que considerar que as pessoas passam boa parte de seu tempo em ambientes fechados como salas de aulas, residências, automóvel, etc, podendo estar expostos aos mais variados tipos de poluentes em ambientes internos do que externos.

Segundo estimativas do IBGE crianças e jovens brasileiros, de 4 a 17 anos, ficam em média 3,47 horas diárias na escola, tempo esse que corresponde a 21,6% da parte ativa de cada dia, que foi estipulada em 16 horas diárias (IBGE, 2015). Assim os níveis de poluição aos quais os alunos são expostos e o tempo de permanência das crianças nas escolas, podem estar diretamente relacionados às doenças respiratórias.

Existem vários fatores que podem influenciar a qualidade do ar nas salas de aula, nomeadamente, o número de ocupantes, o mobiliário existente, ventilação, janelas, material do piso e paredes, podem contribuir para o aumento da concentração de poluentes, como o dióxido de carbono e as partículas. Almeida *et al.* (2011) Polednik, (2013) e Tran *et al.* (2012), identificaram os fragmentos de giz, como componentes de elevadas concentrações de partículas no interior de salas de aula, devido à utilização de giz nos quadros negros (RIVAS *et al.* 2015; RECHE *et al.* 2014).

Chithra e Nagendra (2014) investigaram o efeito de parâmetros meteorológicos no interior sala de aula naturalmente ventilada e constatou que a qualidade do ar interior é significativamente afetado por partículas finas e grossas provenientes do exterior

Vários estudos têm sido realizados em ambiente escolar para quantificar e identificar as fontes do material particulado em ambiente interno e sua possível relação com o ambiente externo. Estudo realizado em uma escola localizada em Portugal constatou que a concentração de MP<sub>10</sub> em ambientes internos é bem maior em relação ao exterior. As concentrações diárias de MP<sub>10</sub> no interior durante períodos de ocupação variaram de 37-229 ug m<sup>3</sup>, com média de 107 ug m<sup>3</sup>. Níveis muito mais baixos de 9,3-94 ug m<sup>3</sup> (média 36 ug m<sup>3</sup>), foram registrados ao ar livre.

Recentemente foi desenvolvido um estudo em escolas de Barcelona para constatar tal fato. Neste contexto, Viana *et al.* (2014) verificaram que a principal origem de aerossóis orgânicos no ar interior nas escolas tem influência direta de atividade humana realizada (têxteis, flocos da pele, etc.). também em ar interior, o segundo maior contribuinte para todas as frações de tamanho foram principalmente Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ca, Fe, K e Mg, a maioria deles traçadores de matéria mineral em partículas grosseiras e de acumulação. A origem da fonte destes metais principais é muito provavelmente também mineral. No entanto, em concentrações residuais muito mais baixo do que os obtidos no presente estudo, estes elementos podem ter origem na poeira de estrada (DAHL *et al.* 2006).

Outra importante pesquisa feita em escolas na Austrália, aponta como fontes para a exposição das crianças de escolas urbanas ao MP<sub>2.5</sub>, que são provenientes da combustão veicular, favorecendo a formação de aerossóis (material particulado) e orgânicos primários, sendo esta a hipótese de ser a maior fonte de contribuição (GODWIN, 2014).

Também a exposição a contaminantes, como o dióxido de carbono, pode afetar a atenção, comprometendo a aprendizagem das crianças. O aumento da qualidade ambiental das escolas permite melhorar consideravelmente a atenção, a concentração, o desempenho e a aprendizagem dos alunos (POLEDNIK, 2013).

### 3.8. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

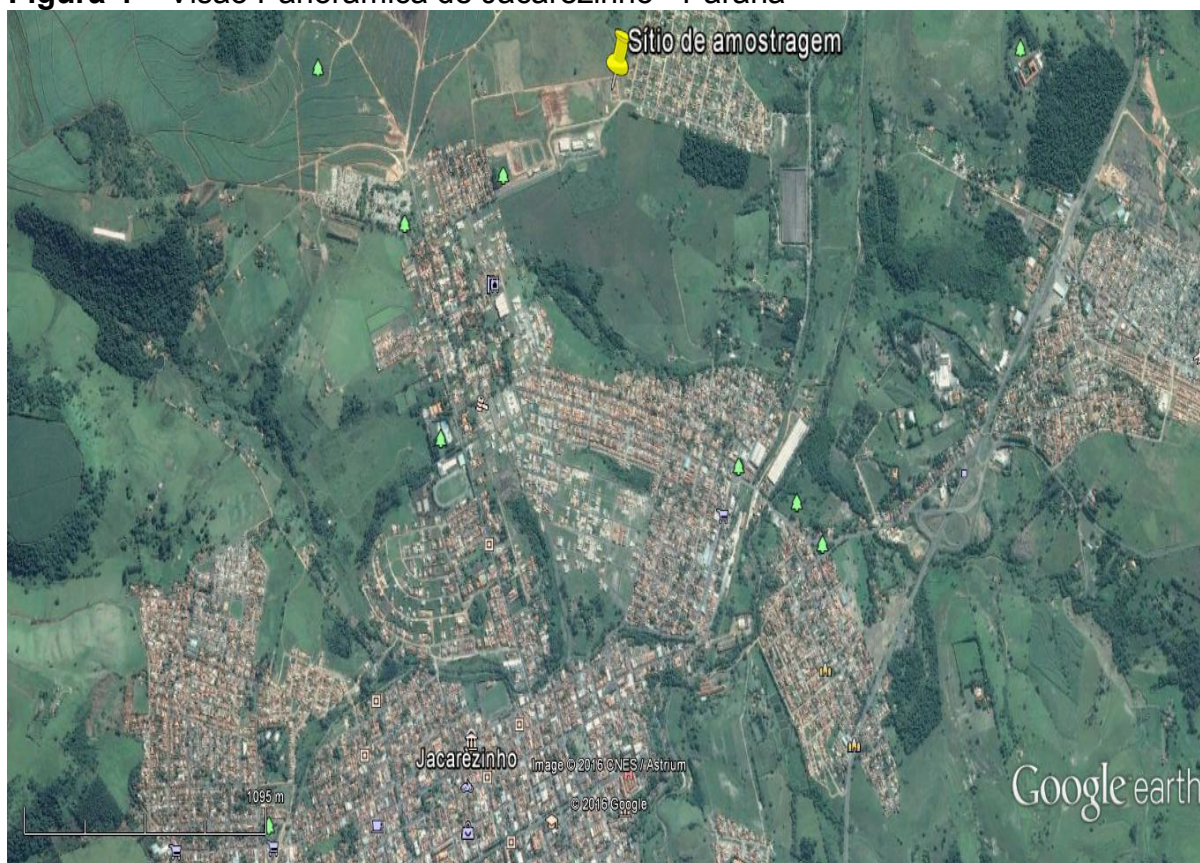
Jacarezinho está geograficamente localizado (Figura 3) em um ponto estratégico equidistante dos municípios de São Paulo e Curitiba, aproximadamente 400 Km e 483 Km do porto de Paranaguá e 153 Km do aeroporto de Londrina. O município de Jacarezinho estende-se por uma superfície de 603 Km<sup>2</sup>.

Está localizado nas coordenadas 23°09'38"S e 49°58'10W, em uma altitude média de 501m de altitude. Sua população é de 40.243 habitantes, cerca de 49,2% da população são homens e 50,8% são mulheres (IBGE, 2016).

A classificação climática de Jacarezinho segundo a Koppen, é do tipo CFA, subtropical, mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes. Há tendência de concentrações de chuvas entre os meses de dezembro e fevereiro e o período mais seco do ano, ocorre entre os meses de junho e agosto, sem estação seca definida. No trimestre mais quente a temperatura média varia entre 27 e 28°C e no trimestre mais frio de 17° a 18°C. Os índices médios anuais de umidade relativa variam de 75 a 80% (IAP, documento on line).



**Figura 4 – Visão Panorâmica de Jacarezinho - Paraná**



Fonte: Google Earth

**Figura 5 – Sítio de amostragem (Complexo Educacional Gastão de Mesquita Filho)**



Fonte: Google

## 4. PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1. AMOSTRADORES

Os amostradores utilizados na coleta de material particulado grosso e fino são apresentados a seguir. Na montagem dos sistemas coletores foram utilizados bombas de diafragma, rotômetros e válvulas de agulha.

#### 4.1.1. Impactador Low vol MP<sub>10</sub>

O dispositivo utilizado para coleta de material particulado grosso MP<sub>10</sub> foi o impactador de baixo volume *low-vol*, confeccionado na ZUF – Universidade de Frankfurt Alemanha para coletar partículas em suspensão no ar com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm. O impactador (Figura 6) consiste de um coletor de ar de baixo volume o qual foi conectado uma bomba a vácuo (Diapump Fanem).

**Figura 6** - Impactador low vol de baixo volume para coleta de MP<sub>10</sub>

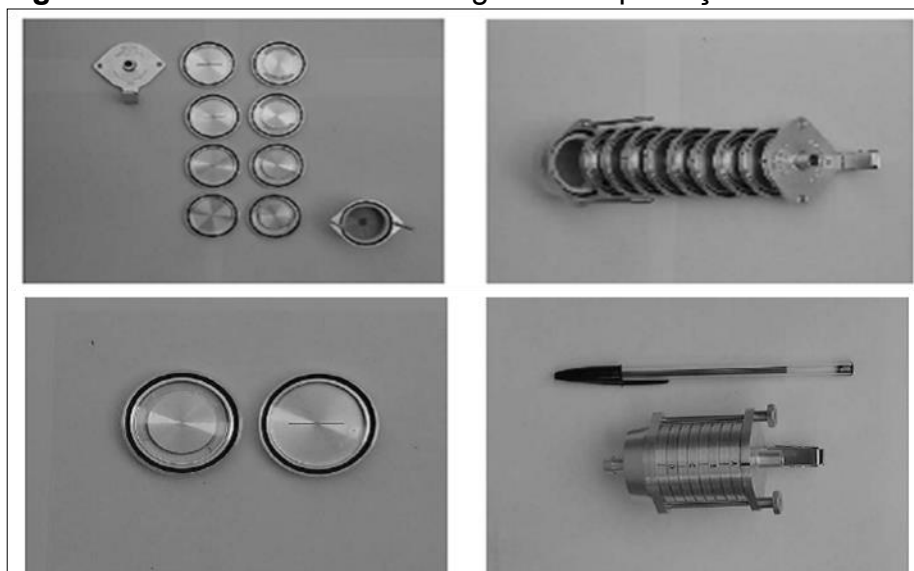


**Fonte:** Laboratório de análises dos componentes do ar – LACA (UEL)

#### 4.1.2. Impactador em cascata *Sioutas*

O impactador em cascata (SKC, Inc.) consiste em uma série de placas em 4 estágios de impactação seguido de um pós filtro que coleta as partículas em suspensão separando-as por intervalos de tamanho com o objetivo de conhecer sua distribuição na atmosfera (Figura 7).

**Figura 7** - Amostrador em 4 estágios de Impactação Sioutas

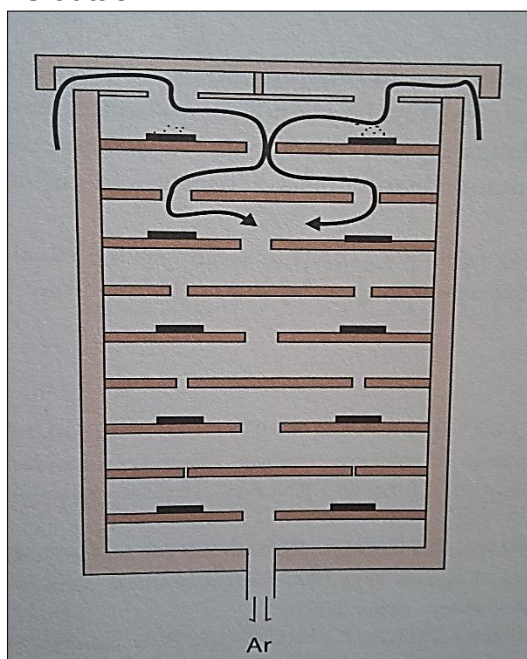


**Fonte:** Laboratório de análises dos componentes do ar – LACA (UEL)

Os estágios são separados por anteparos possuindo orifícios que diminuem de tamanho ao longo do amostrador (Figura 8). O ar é então coletado a uma vazão constante e devido ao estreitamento dos orifícios, a velocidade das partículas aumenta, ou seja, quanto menor a partícula, mais longo é o caminho dentro do amostrador até ser finalmente retida (ROCHA *et al.*, 2009).

As partículas são separadas em tamanhos aerodinâmicos menores que 0,25  $\mu\text{m}$ ; entre 0,25 a 0,5  $\mu\text{m}$ , 0,5 a 1,0  $\mu\text{m}$ ; 1,0 a 2,5  $\mu\text{m}$  e > 2,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro, conectado a uma bomba a vácuo (Diapump Fanem).

**Figura 8** - Esquema de um impactador de cascata utilizado para coleta de material particulado - Sioutas



Fonte: ROCHA; ROSA; CARDOSO, (2009, p. 39)

#### 4.1.3. Ciclone MP<sub>2,5</sub>

O ciclone (URG – 2000 – 30EH) é formado por partes fixas, projetados de modo que o ar aspirado através dele se mova em um canal circular ou helicoidal com raio de tamanho decrescente, aumentando assim sua eficiência de coleta de pequenas partículas de acordo com o diâmetro aerodinâmico desejado (Figura 9).

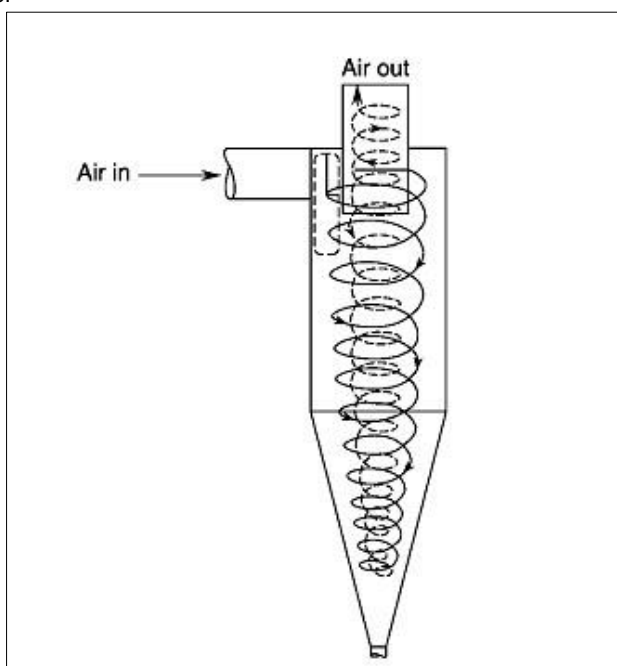
**Figura 9** - Esquema do caminho de fluxo de material particulado



Fonte: Laboratório de análises dos componentes do ar – LACA (UEL)

Os ciclones tem como princípio de funcionamento (Figura 10) a ação da força centrífuga que age sobre as partículas carregadas pelo fluxo de gás, empurrando-as na direção das paredes, e retirando do fluxo gasoso. As forças centrífugas fazem com que as partículas se choquem contra as paredes, isto provoca redução na sua velocidade e quedas das mesmas (FINLAYSON-PITTIS; PITTIS, 2000).

**Figura 10** - Princípio de funcionamento de um ciclone para coleta de material particulado MP<sub>2,5</sub>.



**Fonte:** Esquema de um tipo de colector de ciclone (adaptado de Ayer e Hochstrasser, 1979, *apud* PITTIS; PITTIS, 1999, p. 612).

Todos os dispositivos de amostragem contam com substrato para impactação do material particulado. Os substratos utilizados foram filtros de fibra de vidro (S&S GF 62-C) de 47 mm de diâmetro para os amostradores tipo ciclone MP<sub>2,5</sub> e Impactador *Low Vol* MP<sub>10</sub>. O impactador cascata *Sioutas* utilizou-se filtros com diâmetro de 37mm para a menor fração e 25mm de diâmetro com porosidade de 0,5 µm para as demais diâmetros.

#### 4.2. AMOSTRAGEM

A campanha foi realizada diariamente no período de 20 de agosto a 04 setembro de 2015, simultaneamente em ambiente interno e externo da escola. As amostragens no ambiente interno aconteceram no interior de uma sala de aula com

ocupação de 29 alunos de faixa etária entre 6 e 12 anos de idade. Os coletores foram posicionados a aproximadamente 1 m de altura de forma que estivessem o mais próximo possível da zona de respiração dos alunos (Figura 11). As amostragens em ambiente externo foram realizadas em área sem influência direta de emissões veiculares (Figura 12).

**Figura 11** - Amostradores posicionados no interior da sala de aula.



Fonte: do autor

**Figura 12** - Amostradores posicionados no ambiente externo



Fonte: do autor

Os dispositivos de amostragem foram conectados a bombas de vácuo por um período de 24 horas utilizando válvulas de agulha para controle da vazão. As trocas dos filtros aconteceram no período da manhã quando as vazões eram conferidas no final e início de cada coleta com auxílio de rotâmetros de esfera (FISCHER & PORTER) a uma vazão de  $540 \text{ Lh}^{-1}$  para  $\text{MP}_{10}$  e  $1002 \text{ Lh}^{-1}$  para  $\text{MP}_{2,5}$

Para coletar quantidade adequada de material particulado sobre o impactador em cascata *Sioutas* as amostragens foram realizadas semanalmente (cinco dias úteis consecutivos) de forma a garantir massa suficiente dos compostos de interesse maiores que o limite de quantificação do método analítico, totalizando assim um tempo de 210 horas de amostragem a uma vazão  $540 \text{ L.h}^{-1}$

Durante todo o período de medição, os filtros de fibra de vidro foram mantidos em placas de Petri em um dessecador e acondicionados em laboratório do município a temperaturas entre 20 e 23 °C, com variação não superior a 2°C. Todas as amostras foram analisadas logo após o término da campanha.

Para verificação da qualidade amostral foram realizados testes de branco de campo durante todo o período de medições. A determinação do branco de campo consistiu em transportar um filtro limpo (sem particulado) até o sítio de amostragem e levá-lo de volta ao condicionamento para pesagem.

Os filtros de fibra de vidro foram previamente lavados com água deionizada (Deionizador USF ELGA) e colocados em banho de ultrassom (Ultrassom Thornton Modelo T7) por 30 minutos, esse procedimento foi repetido por três vezes até remoção completa de resíduos iônicos. Posteriormente, os mesmos foram secados em estufa por 4 horas a uma temperatura de 80°C em seguida guardados em dessecador de vidro contendo sílica gel em sala com temperatura e umidade controlada de  $(24 \pm 3^\circ\text{C})$  e  $(30 \pm 2 \%)$  respectivamente por 24 horas até atingir as condições ambientais da sala.

Em seguida foram pesados em uma balança com precisão de  $1,0 \mu\text{g}$  (METTLER TOLEDO, modelo AX26) e identificados.

### 4.3 METODOLOGIA ANALÍTICA

#### 4.3.1. Análise Gravimétrica

Para quantificar a concentração em massa retido nos filtros amostrados estes foram pesados em duplicata antes e depois da amostragem em um ambiente com controle de temperatura ( $24 \pm 3$  °C) e umidade ( $30 \pm 2$  %) evitando interferência desses fatores na pesagem.

A massa de partículas amostradas é dada pela diferença das pesagens antes e após amostragem, descontados a massa média do branco de campo dividido pelo volume de ar passado pelo filtro, conforme equação (1.7).

$$MP = \frac{(Pf - Pi) \times 10^6}{Vol} \quad (1.7)$$

Onde:

MP= massa do material particulado ( $\mu\text{g m}^{-3}$ );

Pi= massa inicial dos filtros (g);

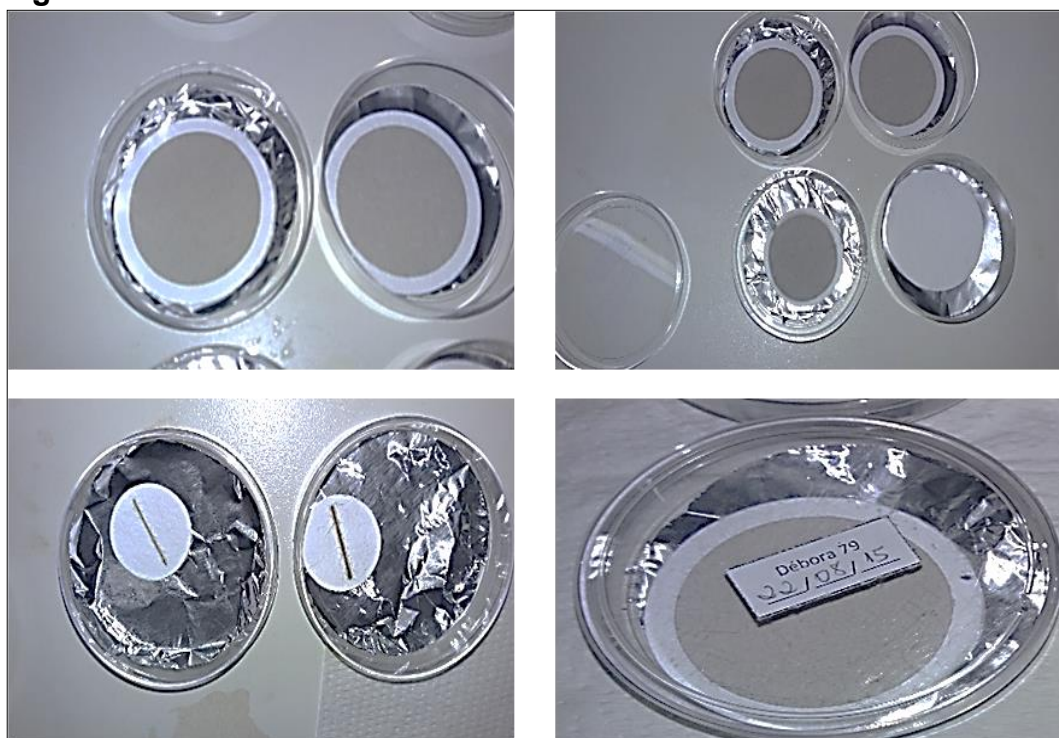
Pf= massa final dos filtros pós amostragem (g) subtraído da massa dos filtros branco de campo;

$10^6$ = conversão de grama (g) para micrograma ( $\mu\text{g}$ );

vol= volume total de ar amostrado ( $\text{m}^3$ ).

Abaixo são apresentados filtros contendo MP obtido no período de amostragem no interior da sala de aula e no exterior (Figura 13).

**Figura 13** - Filtros amostrados no interior da sala de aula e exterior



Fonte: do autor

#### 4.4. EXTRAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO SOLÚVEL EM ÁGUA

Os filtros contendo o material particulado coletado foram submetidos à extração aquosa com sonicação. Com auxílio de pinças foram dobrados com a face impactada voltada para fora e colocados em tubos de ensaio com 3 ml de água ultrapura e levados em banho de ultrassom (Ultrassom Thornton Modelo T7) por 30 min a temperatura ambiente. Em seguida, os extratos foram filtrados em membrana PVDF 0,22  $\mu\text{m}$  de diâmetro (Millipore) acoplada diretamente em seringa para retirada de sólidos e transferidos para tubos de reação Eppendorf de 1,5 ml até a determinação cromatográfica.

#### 4.5 SOLUÇÕES EMPREGADAS NO PROCEDIMENTO ANALÍTICO

##### 4.5.1 Solução Eluente (NaOH)

- a) Solução estoque de NaOH 9M: diluiu-se 36 g de NaOH em 100 mL de água ultrapura, armazenado em frasco plástico.
- b) Fase móvel NaOH 14,4 mM: dilui-se 1,6 ml da solução estoque em 1 L de água ultra pura.

#### 4.5.2 Solução Regenerante (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

- a) Solução estoque de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4,5 mol L<sup>-1</sup> foi diluído a partir de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (97%) concentrado em 100 mL de água ultrapura.
- b) Solução regenerante H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 9 mM foi diluído 2 mL da solução estoque em 1L de água ultrapura.

As soluções analíticas dos analitos estudados foram preparadas a partir de um mix com padrão certificado (Seven íons standart, Dionex) para cromatografia de íons constituído por sete ânions sendo estes; fluoreto, cloreto, brometo, nitrito, nitrato, sulfato e fosfato), nas quais as concentrações são de 20 mg L<sup>-1</sup> para o fluoreto, 100 mg L<sup>-1</sup> para cloreto, nitrito, nitrato, brometo, sulfato e 200 mg L<sup>-1</sup> para o fosfato. Desse mix foi transferido uma alíquota de 0,6 mL para balão de 5,0 mL completando seu volume com água ultrapura, da qual foi diluída para as concentrações 0,05 mg L<sup>-1</sup>, 1,0 mg L<sup>-1</sup>, 2,0 mg L<sup>-1</sup>, 4,0 mg L<sup>-1</sup>, 6,0 mg L<sup>-1</sup>, 8,0 mg L<sup>-1</sup>, 10 mg L<sup>-1</sup> e 12 mg L<sup>-1</sup>

#### 4.6 IDENTIFICAÇÃO DOS ANALITOS EM ESTUDO

Os analitos estudados foram os íons fluoreto, cloreto, nitrito, brometo, nitrato, sulfato e fosfato. Para sua identificação utilizou-se a cromatografia de íons. A cromatografia íons (IC) é amplamente utilizado para a medição de íons inorgânicos, uma vez que oferece vantagens em termos de sensibilidade e determinação de analitos (CHOW *et al.* 2002).

A cromatografia iônica é um método versátil, seletivo e sensível e é utilizada em vários campos envolvendo análises iônicas para amostras clínicas, industriais, farmacêuticas, alimentares e do meio ambiente.

A técnica de cromatografia iônica consiste na detecção condutométrica para separação e determinação de cátions e ânions. A técnica utiliza duas colunas, uma separadora e outra supressora. Esta última diminui quimicamente a condutividade dos íons do eluente (supressão do sinal de fundo) que saem da coluna separadora e, ao mesmo tempo, converte as espécies de interesse numa forma mais condutora, que é monitorada pela célula condumétrica.

Na realização desse estudo empregou-se o cromatógrafo de íons (Sykam S-1100) equipado com detector de condutividade elétrica e sistema de supressão. A tabela 4 traz os parâmetros utilizados.

**Tabela 4** - Parâmetros cromatograficos para análise dos ânions em MP

Volume de injeção 50 µL;
Canal: Condutividade;
Tempo de análise: 20 minutos;
Integração: Automática;
Tipo de Coluna: Separação: Dionex AS11 (4x250 mm), Pré-coluna: Dionex AG11 (4x50 mm)
Supressor Químico - Dionex AMMS 300
Composição do Eluente NaOH: 14,4 mmol L <sup>-1</sup>
Fluxo: 1,0 mL min <sup>-1</sup>
Solução Regenerante: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 9 mmol L <sup>-1</sup>
Fluxo: 7 mL min <sup>-1</sup> .
Pressão: 15,6 MPa
Temperatura: 35 °C

Fonte: do autor

#### 4.7 FIGURAS DE MÉRITO DO MÉTODO ANALÍTICO

##### 4.7.1 Linearidade

A linearidade do método está relacionada com a concentração da substância, tem a capacidade de fornecer resultados diretamente proporcionais a concentração dentro de uma faixa de aplicação (RIBANI *et al.* 2004).

Para verificar a linearidade do método aplicado foi utilizado o método de padronização externa em que compara a altura do pico cromatográfico a ser quantificada na amostra com a altura obtidas com soluções de concentrações conhecidas preparadas a partir de um padrão. Foram preparadas soluções da substância a ser quantificada em diversas concentrações; obtendo-se o cromatograma correspondente a cada uma delas e, em um gráfico, relacionando-se as alturas obtidas com as concentrações (Anexo 1).

A curva analítica para ânions foi feita de maneira que pudessem ser obtidas as relações como limites de detecção e de quantificação. Para este trabalho foram feitas

curvas de calibração com injeções em triplicatas para valores de 0,05 mg L<sup>-1</sup> até 12 mg L<sup>-1</sup>

#### 4.7.2 Limites de Detecção e Quantificação

O Limite de Detecção (LD) representa a menor concentração da substância em exame que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, utilizando um determinado procedimento experimental.

Os limites de detecção e quantificação foram calculados pelo método baseado nos parâmetros da curva analítica, (RIBANI, *et al.*, 2004). sendo expresso da seguinte maneira:

$$LD = 3,3 \times \frac{s}{S}$$

$$LQ = 10 \times \frac{s}{S}$$

Onde, **s** é expresso como a estimativa do desvio padrão da resposta, que pode ser a estimativa do desvio padrão do branco, da equação da linha de regressão, ou do coeficiente linear da equação e **S** é a inclinação ou o coeficiente angular da curva analítica.

O limite de quantificação (LQ) é calculado de forma semelhante, onde a mesma relação é multiplicada por dez vezes a estimativa do desvio padrão sobre o coeficiente angular da curva analítica. Os dados obtidos encontram-se na tabela 5.

**Tabela 5** - Coeficiente de correlação ( $R^2$ ), limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para os íons cloreto, nitrato, sulfato, fosfato, brometo, fluoreto e nitrito determinados por cromatografia de íons.

Padrão	$R^2$	LD		LQ
		(mg L <sup>-1</sup> )		
Cloreto	0,999	0,60		1,92
Nitrato	0,999	0,52		1,59
Sulfato	0,999	0,97		2,96
Fosfato	0,997	0,05		0,16
Brometo	0,999	0,99		3,01
Fluoreto	0,999	0,49		1,48
Nitrito	0,999	0,97		2,94

Fonte : do autor

#### 4.7.3 Teste de recuperação

Com o intuito de averiguar a confiabilidade do método analítico empregado, foram realizados testes de recuperação com todas as espécies estudadas. Tais testes foram feitos adicionando quantidades conhecidas dos padrões certificados aos filtros de fibra de vidro que foram previamente lavados com água ultrapura e sonicados por 30 minutos e acondicionados em sala com temperatura e umidade relativa controladas por período de 24 horas.

Após esse período os filtros foram impregnados com quantidades conhecidas dos padrões, os mesmos foram armazenados em dessecador de vidro contendo sílica gel por 24 horas, e na sequência foram realizados os procedimentos analíticos de extração e quantificação, assim como descrito anteriormente.

Os resultados percentuais de recuperação de cada espécie estudada estão dispostos na tabela 6.

**Tabela 6** - Percentual de recuperação dos ânions majoritários

Filtro	Cloreto	Nitrato	Sulfato
F1	104,16	117,96	121,12
F2	109,05	105,21	116,35
F3	110,83	111,22	123,94

F4	106,76	106,66	116,44
F5	110,52	115,32	116,56
F6	102,04	111,28	96,40
F7	106,36	93,36	120,52
F8	113,25	108,72	118,44
Média	107,87	108,72	116,22
Desvio padrão	3,73	7,51	8,45

Fonte: Laboratório de análises dos componentes do ar – LACA

O teste de recuperação se mostrou satisfatório segundo a EPA (2006) que define a faixa de 80% a 120% para recuperação em filtros brancos.

#### 4.8 PARÂMETROS METEREOLÓGICOS

Os dados de temperatura (°C) e a umidade relativa (%) da sala de aula foram monitorados diariamente durante toda a campanha de amostragem com períodos de hora em hora utilizando o Data LOGGER U10, sendo que ao final esses mesmos dados foram extraídos e tabulados com auxílio do software HOBOWare Pro.

##### 4.8.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE ENSINO

O estabelecimento de ensino Complexo Educacional Gastão de Mesquita Filho (23°08'18.8"S 49°58'15.5"W) em que ocorreu o presente estudo, apresentam as principais características estruturais do prédio em geral e da sala de aula (Tabela 7), com localização em região suburbana.

**Tabela 7 - Características estruturais do prédio e da sala de aula**

<b>Características do prédio</b>	<b>Características da sala de aula</b>
<b>Ano de construção:</b> 2009	<b>Área</b> (comp.x larg.): 8,2 m x 7,8 m
<b>Número de pisos:</b> 01	<b>Materiais de revestimento:</b> Pavimento/Paredes /Teto: piso/tinta/madeira
<b>Tipo de ventilação:</b> Natural	<b>Número de janelas:</b> 2
<b>Tipo de iluminação:</b> Natural/artificial	<b>Número de luminárias:</b> 06

<b>Presença de umidade:</b> não foi observado focos de umidade	<b>Tipo de quadro:</b> negro/giz
<b>Conservação geral do prédio:</b> Ótimo	<b>Frequência limpeza:</b> diariamente
	<b>Número de ocupantes:</b> 29 alunos

**Fonte:** Ferreira, 2013, adaptado pelo autor

De acordo com os dados fornecidos e observados na escola referentes a estrutura física do prédio e da sala de aula, ambos apresentam ótimas condições, a ventilação natural é assegurada pela abertura de portas e janelas.

A sala de aula destinada para o estudo atende crianças com idade entre 6 e 12 anos. No período da manhã a sala é destinada ao atendimento dos alunos que apresentam dificuldades em acompanhar o conteúdo programático de sua respectiva turma. No período da tarde neste mesmo ambiente os alunos realizam suas atividades escolares da turma, por tanto permanecem por um período de 8 horas diárias em sala de aula.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO

As amostras de material particulado que foram obtidas na Instituição de Ensino Complexo Gastão de Mesquita Filho (ambiente interno e externo) durante o período de 20 de agosto a 04 de setembro de 2015 com tempo de amostragem de 24 horas contínuas totalizaram 55 amostras e 17 brancos de campo, cujo somatório foi de 72 substratos a serem analisados.

A tabela 8 traz as concentrações médias em massa de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  obtidas no interior da sala de aula e as concentrações médias do  $MP_{10}$  obtidas no exterior com suas respectivas médias. Vale ressaltar que a fração  $MP_{2,5}$  não foi amostrada no ambiente externo devido a limitação de equipamentos necessários para realização de amostragem.

**Tabela 8** - Intervalo e concentração média (24 h) em  $\mu\text{g m}^{-3}$  do material particulado atmosférico  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ . Período de amostragem de 20 de agosto a 04 de setembro de 2015 realizadas no interior e exterior da sala de aula em Jacarezinho, Paraná.

	<b>Interno (intervalo)</b>	<b>Média</b>	<b>Externo (intervalo)</b>	<b>Média</b>
	$(\mu\text{g m}^{-3})$		$(\mu\text{g m}^{-3})$	
$\text{MP}_{10}$	7,40 – 73,7	47,1	5,60 – 68,5	29,5
$\text{MP}_{2,5}$	2,08 – 47,8	13,3	N.A	

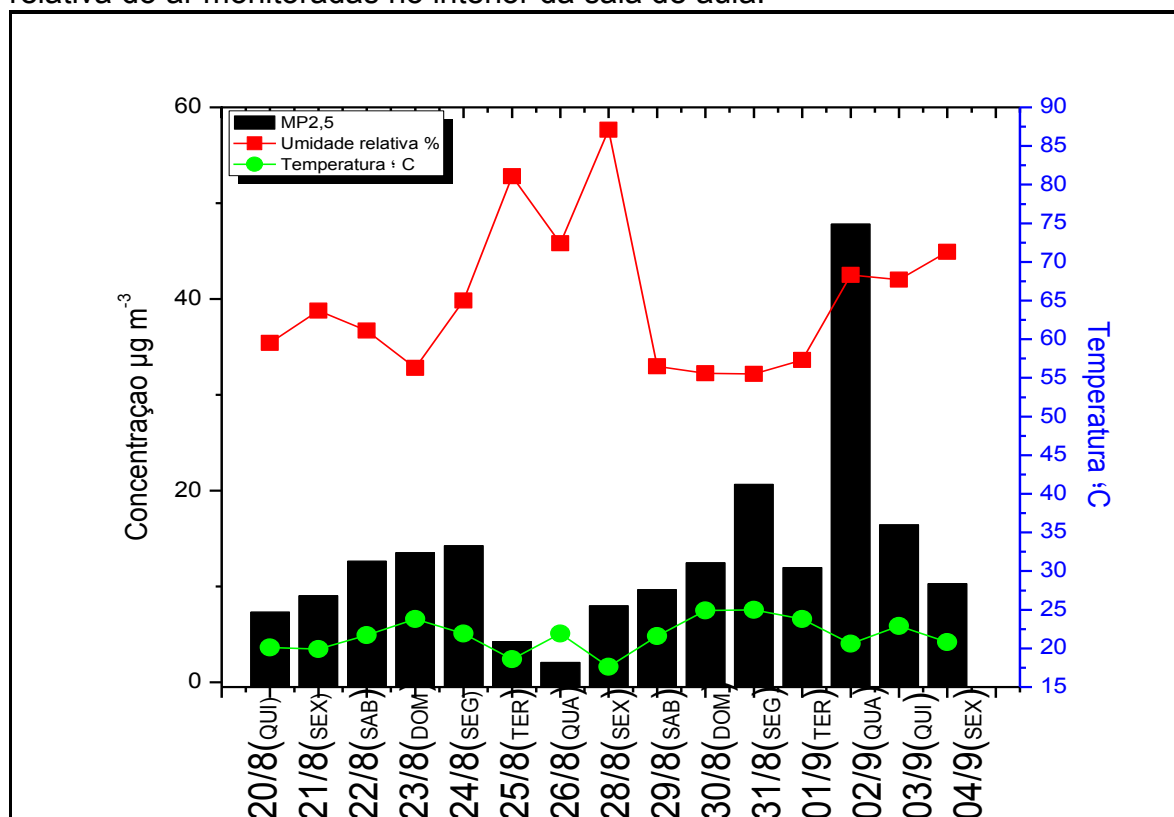
Fonte: do autor

N.A. não amostrado

De acordo com os dados encontrados para as duas frações amostradas no interior da sala de aula, a concentração média de  $\text{MP}_{2,5}$  foi inferior a concentração média de  $\text{MP}_{10}$ , no entanto, a concentração média no exterior para o  $\text{MP}_{10}$  apresentou valor médio menor que o interior.

A concentração em massa de  $\text{MP}_{2,5}$  no ambiente interno apresentou variações de concentrações, sendo observado um pico de  $47,8 \mu\text{g m}^{-3}$  como a concentração mais elevada e um pico de  $2,08 \mu\text{g m}^{-3}$  para a menor concentração. Essa menor concentração observada pode estar associada ao período que ocorreu precipitação compreendendo os dias 24 a 27 de agosto, com volumes variáveis e ocorrências em períodos alternados, com maior volume no dia 27 de agosto, o que impediu a realização da campanha de amostragem por falta de abrigo para as bombas de sucção e amostradores externos. Foi possível notar que a fração  $\text{MP}_{2,5}$  apresentou maiores concentrações de material particulado nos dias 31 de agosto e 02 de setembro (Figura 14) que coincide com dias de ausência de precipitação.

**Figura 14** - Concentração diária de material particulado  $MP_{2,5}$  amostrado durante a campanha juntamente com média diária de temperatura e umidade relativa do ar monitoradas no interior da sala de aula.



Fonte: do autor

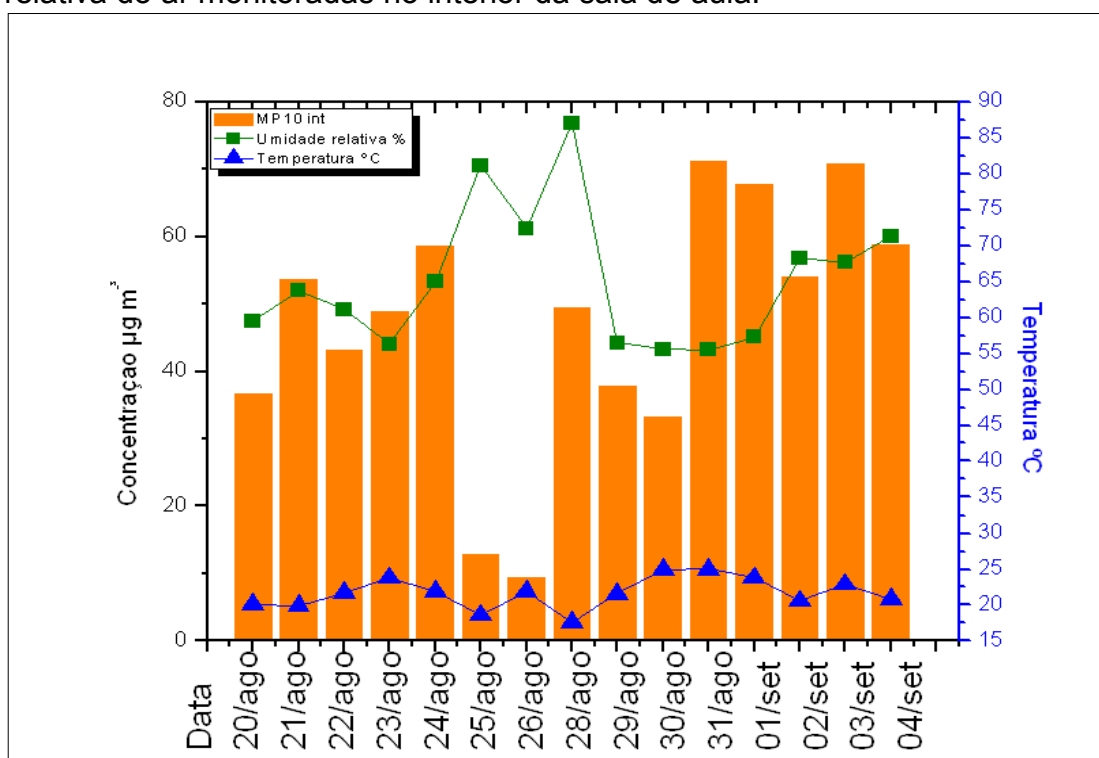
A associação entre a concentração de material particulado e os parâmetros meteorológicos como umidade relativa e temperatura registrados no interior da sala de aula são dados na Figura 14. As maiores concentrações de  $MP_{2,5}$  podem estar associadas a ausência de chuvas e alta velocidade dos ventos observadas durante o período, que provavelmente contribuíram para a concentração dos poluentes. O pico elevado para o dia 02 de setembro pode estar vinculado a vários fatores que contribuíram para o seu aumento, como por exemplo a limpeza realizada neste dia que pode ter sido ineficiente, não removendo quantidades consideráveis de partículas provocando um acúmulo das mesmas. Outra possibilidade pode estar associada a maior atividade realizada pelos alunos durante o período de permanência em sala.

Como pôde ser observado a relação entre esses parâmetros meteorológicos e a concentração de partículas para o  $MP_{2,5}$  mostra uma fraca associação. Estudos anteriores também não conseguiram mostrar associação positiva entre concentração de partículas e temperatura (BRANIS *et al.*, 2005; FROMME *et al.*, 2007).

No entanto, em comparação com as concentrações em massa obtidas de  $MP_{2,5}$  em outros estudos, a concentração média de  $MP_{2,5}$  dentro da sala de aula neste estudo foi próxima a concentração de  $MP_{2,5}$  encontrado em estudo realizado em escolas de Barcelona (RIVAS *et al.*, 2015) em que a concentração média interior foi de  $16 \mu\text{g m}^{-3}$ .

A figura 15 traz a concentração em massa diária de material particulado  $MP_{10}$  amostrado durante a campanha juntamente com média diária de temperatura e umidade relativa do ar monitoradas no interior da sala de aula.

**Figura 15** - Concentração diária de material particulado  $MP_{10}$  amostrado durante a campanha juntamente com média diária de temperatura e umidade relativa do ar monitoradas no interior da sala de aula.



Fonte: do autor

A partir dos resultados obtidos nota-se que as partículas suspensas no interior da sala de aula com diâmetro de  $MP_{10}$  apresentam picos com valores significativos na maioria dos dias amostrados, sendo que foi encontrado valores de concentração 2 vezes maior do que  $MP_{2,5}$  entre os dias 31 de agosto e 03 de setembro, dias esses que também foi constatado ausência de chuvas, o que pode ter contribuído com valores elevados de concentrações.

É importante notar que nos dias 25 e 26 de agosto as concentrações de  $MP_{10}$  foram inferiores aos outros dias, devido a ocorrência de chuvas observadas no

período, pois a mesma atua como removedor de partículas da atmosfera, reduzindo a concentração de material particulado, isto porque existe relação entre as partículas e sua suspensão do solo por meio de mecanismos de lavagem e nucleação, principalmente para partículas que possuem diâmetro aerodinâmico maior. Com a ocorrência de chuvas, a umidade relativa do ar aumenta a aderência entre as partículas causando aglomeração entre si e favorecendo a precipitação das mesmas.

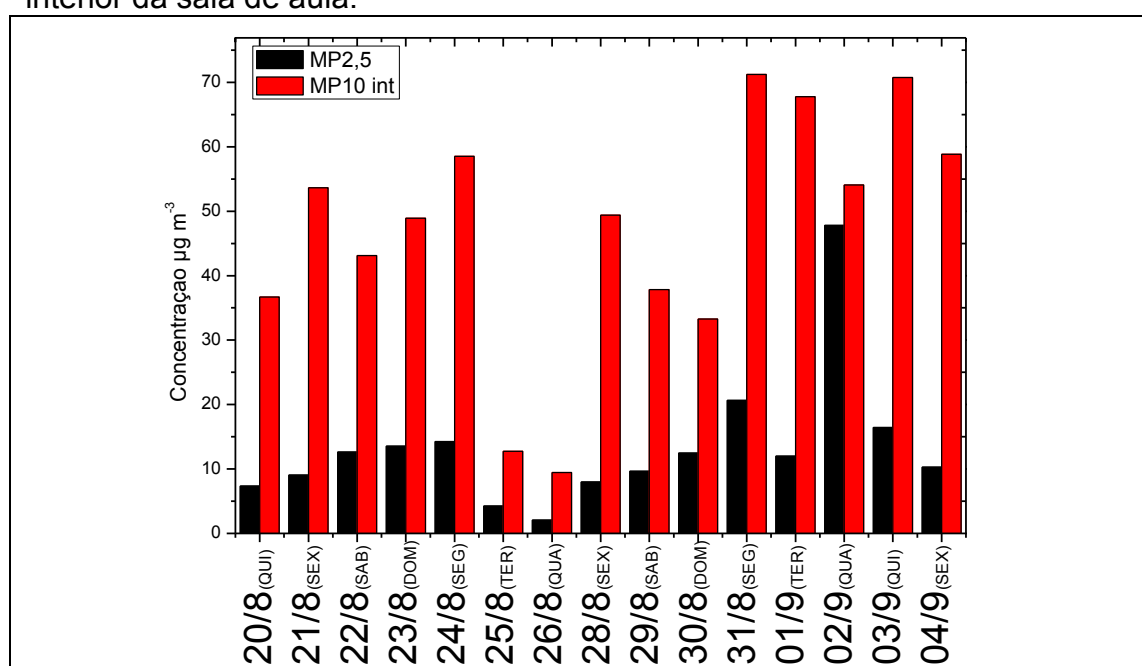
Como citado anteriormente, cabe ressaltar que o dia 27 de agosto houve precipitação impedindo a realização da campanha de amostragem para as frações  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ .

## 5.2 COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO $MP_{2,5}$ E $MP_{10}$

As concentrações de partículas fina ( $<MP_{2,5}$ ) e grossa ( $<MP_{10}$ ) apresentadas no interior da sala de aula esboça um perfil semelhante com variações nas concentrações ao longo dos dias amostrados. Tal perfil pode estar sob influência de várias condições atmosféricas ocorridas ao longo da campanha, como temperatura, direção dos ventos, precipitação, estagnação do ar e umidade relativa local.

A figura 16 exibe os dados observados diariamente durante campanha para as duas frações no ambiente interno.

**Figura 16** – Concentração em massa ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  obtidas no interior da sala de aula.



Fonte: do autor

Observa-se que existe uma tendência das partículas fina apresentarem concentrações menores que a fração grossa.

Comparando as duas frações é possível notar pico de concentração acima do esperado para o MP<sub>10</sub> nos dias 31 de agosto e 03 de setembro, não sendo observado comportamento semelhante para o MP<sub>2,5</sub>, que apresentou sua maior diferença em 02 de setembro. Portanto, é possível assumir que os picos com concentrações elevadas podem ser provenientes de fontes diferentes de material particulado.

As partículas presentes em espaços interiores são provenientes em geral de fontes interiores e exteriores; as partículas provenientes de fontes exteriores entram para dentro do prédio por infiltração natural e pelas entradas de ar exterior. Em geral, as concentrações em massa de material particulado são regidos por condições meteorológicas estáveis na atmosfera como baixa temperatura e velocidade do vento criando condições benéficas para acumulação de poluentes e agregação de partículas em vez de dispersão e eliminação, essas condições afetam o transporte, transformação química e os processos de deposição.

Segundo AMATO *et al.* (2014) contribuições internas também podem ser afetadas pela orientação da sala. Neste estudo a posição da sala traz suas janelas voltadas para área que recebe influência direta de ressuspensão de partículas do solo, devido a falta de pavimentação e ainda direcionadas próximo ao local onde veículos leves são estacionados temporariamente para embarque e desembarque dos alunos.

As políticas que controlam a emissão de poluentes atmosféricos no Brasil por meio da Resolução CONAMA 03/90 preveem que a concentração máxima permitida para o MP<sub>10</sub> é de 150 µg m<sup>-3</sup> (24 h), não sendo legislado no Brasil a fração MP<sub>2,5</sub>. No entanto, a qualidade do ar na região de estudo é feito pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), que segue os mesmos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA ressaltando que essa legislação é para a atmosfera. Seguindo um padrão mais rigoroso para padrões de qualidade do ar temos a Organização Mundial de Saúde (OMS) que adota como critério aceitável – o menor efeito sobre a saúde – o máximo de 25 µg/m<sup>3</sup> de média diária (WHO, 2006), para a fração MP<sub>2,5</sub> e 50 µg/m<sup>3</sup> para MP<sub>10</sub>. Avaliando as concentrações obtidas durante este estudo e comparando com os padrões de qualidade do ar estabelecido pela OMS pode-se inferir que a qualidade do ar está dentro dos padrões aceitáveis para a fração MP<sub>2,5</sub>, apresentando somente o dia 02 de setembro com valor superior a concentração máxima permitida em lei. No entanto, se considerar os dados obtidos para a fração MP<sub>10</sub> durante o

estudo em questão, haja vista, que foram encontrados sete valores acima do recomendado pela legislação vigente segundo a OMS.

Para tanto, se comparar os resultados obtidos no presente estudo com a legislação que regulamenta a qualidade do ar de interiores no Brasil, ANVISA, ABRAVA e Ministério da Saúde, apenas três dias foram encontrados valores acima da legislação, que estabelece o limite de  $< 60 \mu\text{g m}^{-3}$  para partículas totais em suspensão não definindo a fração e tempo de exposição.

Embora os resultados não demonstrem exposição dos alunos ao material particulado constantemente, existem momentos que estão expostos aos valores máximos recomendados pela OMS. Este fato pode ser preocupante, pois a amostragem foi correspondente a uma pequena parcela do tempo em que frequentam o ambiente, se considerarmos o período letivo.

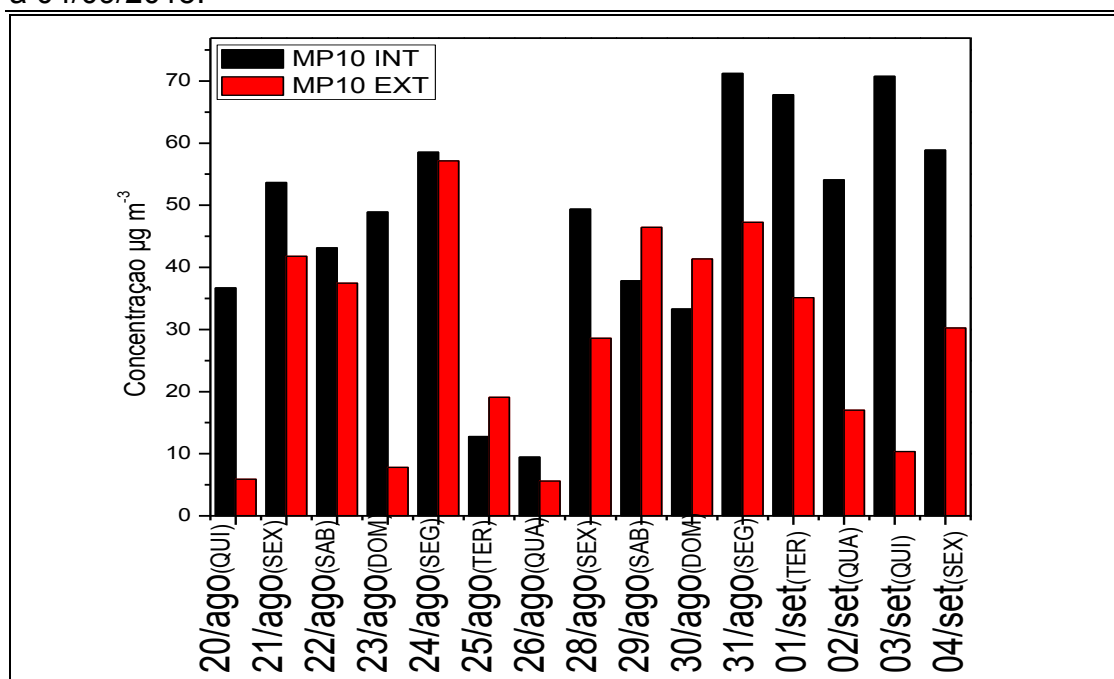
AlKhatib *et al.*, (2003) e Fromme *et al.*, (2007) verificaram que altas concentrações de  $\text{MP}_{10}$  em escolas estão relacionados com a frequência em que acontece a limpeza, pois a mesma pode não ser capaz de remover as partículas depositadas.

Em outro estudo realizado em escolas de Portugal Chow *et al.* (2002) constatou que a concentração de  $\text{MP}_{10}$  em ambientes internos é bem maior em relação ao exterior. Os resultados demonstraram que concentrações de  $\text{MP}_{10}$  interiores diários durante períodos de ocupação variaram 37- 229  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Alves *et al.* (2014) encontraram níveis muito mais baixos, 9,3 - 94  $\mu\text{g m}^{-3}$  registrados ao ar livre. Concluíram que esta alta concentração pode estar fortemente relacionada com as atividades físicas e circulação dos alunos o que pode provocar ressuspensão de partículas depositadas ou a sua deposição retardada.

Almeida *et al.* (2011) Polednik (2013) e Tran *et al.*, (2012) identificaram fragmentos de giz, como componentes de elevadas concentrações de partículas no interior de salas de aula. Esta contribuição pode ser aplicada ao estudo, uma vez que o giz é um dos instrumentos mais utilizados no interior da sala que liberam quantidades significativas de partículas.

Yusof *et al.* (2013), destacam que alta concentração de material particulado pode ser alarmante no caso das taxas de mortalidade e morbidade respiratória e doenças cardiovasculares ao encontrar valores acima do recomendado pela OMS.

**Figura 17** - Concentração em massa ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de material particulado na fração  $\text{MP}_{10}$  amostrados para o ambiente interno e externo durante o período de 20/08 a 04/09/2015.



Fonte: do autor

A figura 17 relaciona a variação de concentração em massa de material particulado  $\text{MP}_{10}$  diário obtido durante o período de amostragem para os ambientes interno e externo. Verifica-se que a concentração interna é significativamente maior em relação ao exterior da sala, menores concentrações podem ser observadas entre os dias 25 e 26 de agosto, tal fato pode ser justificado pela ocorrência de precipitação registrado nestes dias, como já mencionado anteriormente.

Outra observação relevante é para os finais de semana, que apresentam concentrações de material particulado inferior se comparado com os dias úteis. No dia 23 de agosto (domingo) observa-se um aumento de concentração no interior da sala de aula se comparado com o dia anterior (sábado). A justificativa para tal observação pode ser a ocupação do espaço estudado por um servidor responsável pela vigilância do estabelecimento, que mantinha um ponto de permanência aleatório, espaço esse a sala onde foi realizado o estudo. Este fato pode ser um indicativo para esse aumento de concentração, uma vez que durante sua permanência no local foi verificado que as janelas e portas mantiveram-se abertas. Esta ocorrência não permaneceu para o outro fim de semana amostrado (29 e 30/8), que apresentou concentrações menores no interior.

No entanto, para as concentrações observadas no ambiente externo houve valores de concentração em excessos segundo a OMS mas, os alunos não ficam expostos por períodos prolongados as concentrações de material particulado, pois as atividades realizadas em ambiente externo não ultrapassam 50 minutos, que são dedicados as práticas esportivas e atividades culturais. Porém o tempo que passam em ambiente interno (sala de aula) é mais preocupante, como já mencionado anteriormente.

Nos finais de semana período em que não há ocupação do prédio, deveria ser observado menores concentrações para a fração MP<sub>2,5</sub>, porém esse fato não foi detectado em nenhum dos fins de semana amostrados. Tal justificativa pode estar vinculada as janelas que foram observadas que permanecem abertas durante o período noturno, isso porque o servidor responsável pela vigilância do prédio tem um ponto de acesso durante sua jornada. Isso pode ter favorecido a concentração obtida para os fins de semana, sendo que nos dias 22 e 23 de agosto houve ventos fortes, dias esses que antecederam o período chuvoso favorecendo a concentração de poluentes em ambientes fechados por meio da ventilação natural.

**Tabela 9** - Concentração média e respectivo desvio padrão de MP<sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos dias úteis e final de semana em ambiente interno e externo.

MP <sub>10</sub>	Interior	Exterior	Relação Int/Ext
Dias úteis	53,7 ( $\pm$ 22,6)	28,0 ( $\pm$ 14,7)	1,92
Fim de semana	29,3 ( $\pm$ 11,4)	43,9 ( $\pm$ 3,6)	0,66

**Fonte:** do autor

A tabela 9 expõe a concentração média de MP<sub>10</sub> estabelecendo um comparativo por meio da relação interno/externo entre os dias de ocupação do prédio escolar e os dias sem ocupação, ou seja, dias úteis e finais de semana. O perfil das massas em função dos dias amostrados mostra diminuição de material particulado durante os finais de semana, dias em que não há ocupação do prédio.

O diagnóstico que se obtém desses dados comparativos entre os dias úteis com o fim de semana, mostra elevada concentração nos dias úteis com média de 53,7  $\mu\text{g m}^{-3}$  em comparação com o fim de semana que apresenta concentração de 29,3  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Possivelmente a relação interior/externo estão conectadas, o que pode se observar nos dias úteis, em que há uma maior ressuspensão de partículas presentes

no solo por conta do tráfego de alunos, veículos, dos membros da escola, da comunidade no entorno e pelo sistema de ventilação natural, sendo que este cenário nos finais de semana é praticamente considerado nulo, uma vez que não há grandes movimentações no interior da escola e diminuição do tráfego de veículos.

### 5.3 RAZÃO INTERNO EXTERNO I/E ENTRE MP<sub>10</sub>

A razão de diagnóstico entre o ambiente interno e externo para o MP<sub>10</sub> foram realizadas para visualizar a dependência de partículas no seu interior correspondente com as partículas do ambiente externo em todos os dias amostrados.

A razão entre a concentração de material particulado interno e externo é um parâmetro de avaliação da fonte emissora e/ou do acúmulo do material particulado (no caso do ambiente interno), (ABT *et al.*, 2000; ARHAMI *et al.*, 2010).

Valores próximos de um indicam que as concentrações de um determinado analito encontram-se em proporções equivalentes nos dois ambientes, entretanto valores acima de um implicam que o analito em questão encontra-se em maiores concentrações no ambiente interno do que no externo.

Os resultados diários amostrados para o ambiente interno e externo mostram como característica principal entre as duas frações a razão I/E maior que 1, ou seja, indicando maiores concentrações no ambiente interno.

De fato, vários estudos revelaram que as concentrações de poluição do ar interior pode exceder as concentrações do ar livre Diette *et al.*, (2007); EPA, (2012); Zock *et al.*, (2002). A relação da ventilação com o material particulado em escolas de Barcelona Rivas, *et al.* (2015) mostraram que as partículas provenientes de ambientes externos podem ser facilmente transportadas para dentro das salas por meio de ventos preferenciais e pela ressuspensão de poeira do chão.

A acumulação de poluentes é considerada um dos maiores contribuintes de poluição interna. Fromme *et al.* (2008) corroboram que as razões pelas quais ocorre acumulação pode ser a razão de como as janelas estão distribuídas, ventilação natural do local, a periodicidade de limpeza.

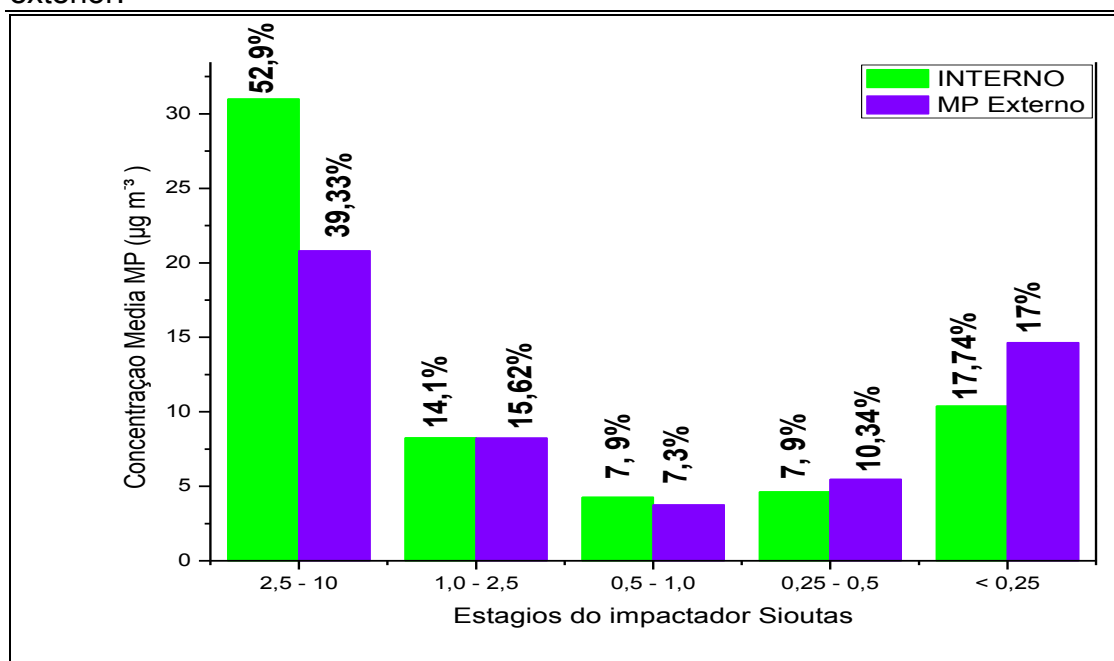
Estes podem ser alguns dos motivos que influenciam na concentração de partículas presentes no interior da sala de aula. Janelas voltadas para a frente de ruas contribuem para a entrada de partículas provenientes de queima de combustível, ressuspensão de poeira do solo, principalmente quando não há pavimentação.

Em um cenário similar, Rivas *et al.* (2015) apresentam valores muito mais elevados da relação I/E, principalmente para os ânions nitrato e sulfato. O autor descreve em seu estudo evidenciando a forte presença desses ânions no ambiente interno, indicando a forte influência do ambiente externo na concentração de partículas suspensas no ar.

#### 5.4 DISTRIBUIÇÃO POR TAMANHO DO MATERIAL PARTICULADO NOS ESTÁGIOS DE IMPACTAÇÃO *SIOUTAS*.

A figura 18 traz a concentração média em massa do MP obtidas nos estágios de impactação *Sioutas* durante o período de amostragem que compreende cinco dias úteis ininterruptos em duas campanhas de forma a garantir massa suficiente dos compostos de interesse maiores que o limite de detecção. Assim foram coletadas as amostras fracionadas que obtiveram um total de 210 horas referente a duas semanas, processo este realizado tanto para o ambiente interno quanto para o externo.

**Figura 18** - Concentração percentual de material particulado distribuído nos estágios de impactação (*Sioutas*) realizadas no interior da sala de aula e no exterior.



Fonte: do autor

A figura 18 apresenta a soma percentual da concentração do material particulado coletadas no período de amostragem em função do intervalo de tamanho nos estágios do impactador dentro e fora da sala de aula. Estabelecendo um

comparativo entre os dois ambientes (Figura 18) observa-se que a concentração interna é mais elevada dependendo do estágio de impactação. A propósito, os ânions fluoreto, nitrito e brometo que inicialmente foram otimizados pelo método para investigar sua concentração no MP não foram detectados em nenhuma das frações em estudo.

Outra observação em relação a massa amostrada nos estágios de impactação é para as concentrações obtidas no primeiro e último estágio que foram maiores no ambiente interno e externo respectivamente. O estágio que apresenta partículas com diâmetro  $<0,25 \mu\text{m}$  possui concentração elevada por impactar uma faixa maior de partículas com diâmetros inferiores. Comportamento similar quanto a distribuição nos estágios foi encontrada em estudo realizado por Freitas e Solci (2008).

A concentração na fração  $\text{MP}_{2,5-10}$ , dita fração inalável apresentou maior concentração para os dois ambientes em estudo. Os resultados indicam que cerca de 50%, ou seja, metade da concentração em massa do MP no ambiente interno é constituído de partículas grossa ( $\text{MP}_{2,5-10}$ ) e os 50% restantes de partículas finas ( $\text{MP}_{<2,5}$ ). Isso caracteriza uma significativa contribuição do MP para a qualidade do ar em escolas.

Semelhanças foram encontradas em estudo realizado em escolas de Portugal Canha *et al.*, (2014), atribuindo tal comportamento a práticas de queima de biomassa.

## 5.5 DETERMINAÇÃO DE ÂNIONS MAJORITÁRIOS NO MATERIAL PARTICULADO $\text{MP}_{2,5}$ E $\text{MP}_{10}$

A tabela 10 apresenta os intervalos de concentração e a média dos ânions majoritários determinados nas frações fina e grossa do MP nos ambientes interno e externo da sala de aula. Entre os analitos em estudo vale ressaltar que os ânions fluoreto, nitrito e brometo não foram identificados pelo método analítico aplicado.

**Tabela 10** - Distribuição dos íons majoritários presentes no  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  atribuídas ao interior da sala de aula.

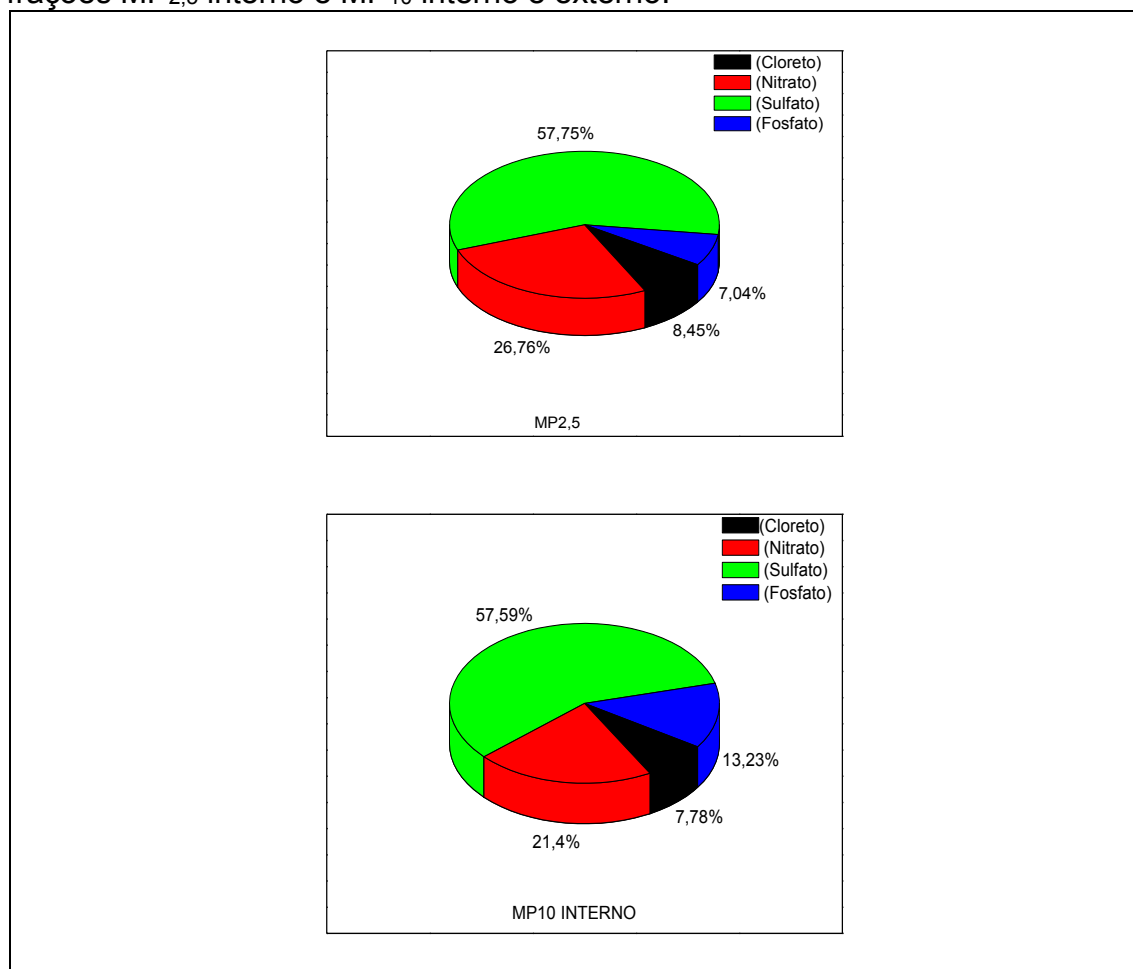
Ânion	Concentração $\text{MP}_{10}$ $\mu\text{g m}^{-3}$		Média $\text{MP}_{10}$		Concentração $\text{MP}_{2,5}$ $\mu\text{g m}^{-3}$	Média $\text{MP}_{2,5}$
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	
Cloreto	0,02–0,44	0,01– 0,62	0,20	0,18	0,05 – 0,22	0,12

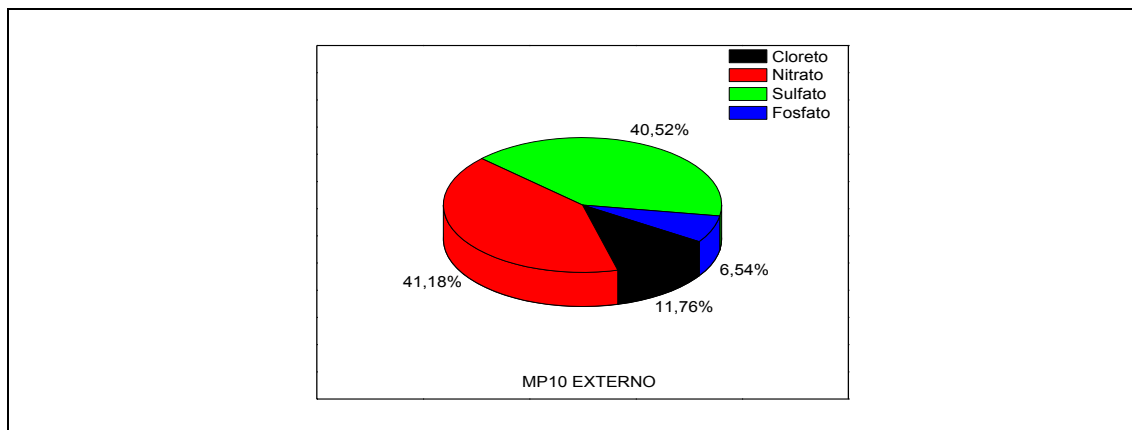
Nitrato	0,14–0,81	0,36– 1,01	0,55	0,63	0,08 – 0,65	0,38
Sulfato	0,29–4,06	0,08– 2,01	1,48	0,68	0,04 – 1,41	0,82
Fosfato	0,21–0,47	0,01– 0,19	0,34	0,10	0,02 – 0,10	0,10

Fonte: do autor

A concentração média dos ânions detectados na fração  $MP_{2,5}$  analisadas no interior da sala de aula aparece na seguinte ordem Sulfato>Nitrato>Cloreto>Fosfato. O mesmo perfil de concentração dos analitos se repete para a fração  $MP_{10}$  interno e externo, com exceção do fosfato que apresentou concentração média superior ao cloreto no ambiente interno.

**Figura 19** - Percentual de ânions presentes no material particulado para as frações  $MP_{2,5}$  interno e  $MP_{10}$  interno e externo.





Fonte: do autor

A concentração iônica total no MP<sub>2,5</sub> amostrado no interior da sala de aula correspondeu a 8,4% da massa do material particulado. Na fração MP<sub>10</sub> interno a contribuição foi de 6,0% e externo de 5,3%. A figura 18 traz a contribuição de cada íon nas frações fina e grossa do MP para os dois ambientes.

Analisando aos pares as concentrações iônicas nas duas frações de tamanho observou-se que não houve diferenças significativas entre seus valores. No entanto, algumas considerações podem ser apontadas através do perfil das concentrações.

Maiores concentrações de cloreto aparecem no MP<sub>2,5</sub>, o nitrato apresenta perfil com predominância na fração MP<sub>2,5</sub> enquanto o sulfato encontra-se distribuído nas duas frações. O fosfato apesar da pequena contribuição nas duas frações ele predomina no MP<sub>10</sub>. Já no ambiente externo o nitrato e sulfato apresentam as maiores concentrações sem apresentar distinção em termos de contribuição, na sequência aparece cloreto e fosfato.

## 5.6 ANÁLISE DAS RAZÕES [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]/[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>]

Xu *et al.*, (2012); Lai *et al.*, (2007); Wang *et al.*, (2006); Yao *et al.*, (2002) demonstraram em seus estudos que a razão entre as massas de nitrato e sulfato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) pode ser um indicativo para as possíveis fontes móveis e estacionárias de enxofre e nitrogênio na atmosfera. Investigações observadas por Arimoto *et al.*, (1996) revelaram que quanto maior a razão das concentrações de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> significa predominância de fontes móveis sobre as fontes estacionárias de emissão de poluentes.

A Tabela 11 apresenta os valores das razões NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> calculadas para os MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> nos ambientes amostrados.

**Tabela 11** - Razões de diagnóstico entre  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  calculadas para os  $\text{MP}_{10}$  interno e externo e  $\text{MP}_{2,5}$  nos ambientes amostrados.

	$\text{MP}_{2,5}$ INTERNO	$\text{MP}_{10}$ INTERNO	$\text{MP}_{10}$ EXTERNO
$[\text{NO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$	0,46	0,37	0,92

Fonte: do autor

As razões calculadas individuais para o nitrato e sulfato no  $\text{MP}_{2,5}$  se mostraram menores que a unidade 1, inferindo que as possíveis fontes de contribuição dos analitos são provenientes de fontes estacionárias, como neste estudo a região de localização da escola possui em suas redondezas indústrias, pode-se concluir sua interferência no  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  interno. Comportamento diferente pode ser notado para o  $\text{MP}_{10}$  externo que apresenta valor bem próximo de 1, caracterizando a contribuição de fontes móveis.

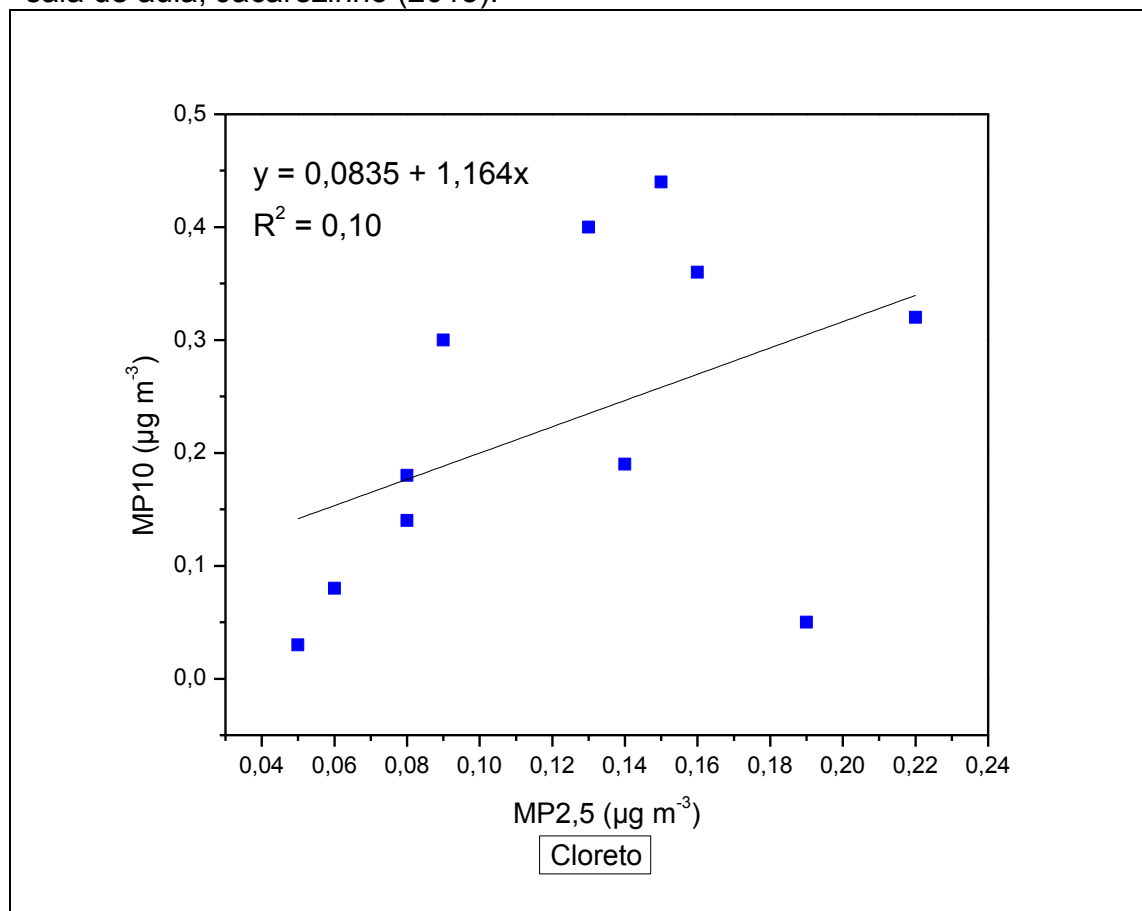
Em Kuala Lumpur na Malásia, Latif *et al.*, (2016) fizeram um estudo em escola localizada em área suburbana e após investigação atribuíram as principais fontes de nitrato e sulfato encontradas no interior das salas de aulas a poeira da estrada (55%). Outras fontes que também diagnosticaram foi a atividade industrial que contribuiu com (31%), a queima de biomassa (19%) e as atividades interiores (9%).

### 5.7 CORRELAÇÃO DOS ÂNIONS NO $\text{MP}_{2,5}$ E $\text{MP}_{10}$

De acordo com Koulouri *et al* (2008) ao comparar as concentrações por meio do cálculo da correlação linear é possível identificar fontes das espécies químicas presentes no material particulado fino e grosso. Correlações entre as espécies irá apontar fontes similares e /ou geração semelhante e/ou remoção e /ou mecanismos de transportes similares se tiverem relação linear.

Neste contexto, foi aplicado o cálculo de correlações de regressão linear para os analitos cloreto, nitrato, sulfato e fosfato no  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  ambos amostrados no ambiente interno, com a finalidade de identificar se a concentração dos analitos nestas frações do material particulado possui contribuições de fontes iguais ou diferentes para as frações citadas anteriormente.

**Figura 20** - Correlação entre cloreto ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015).

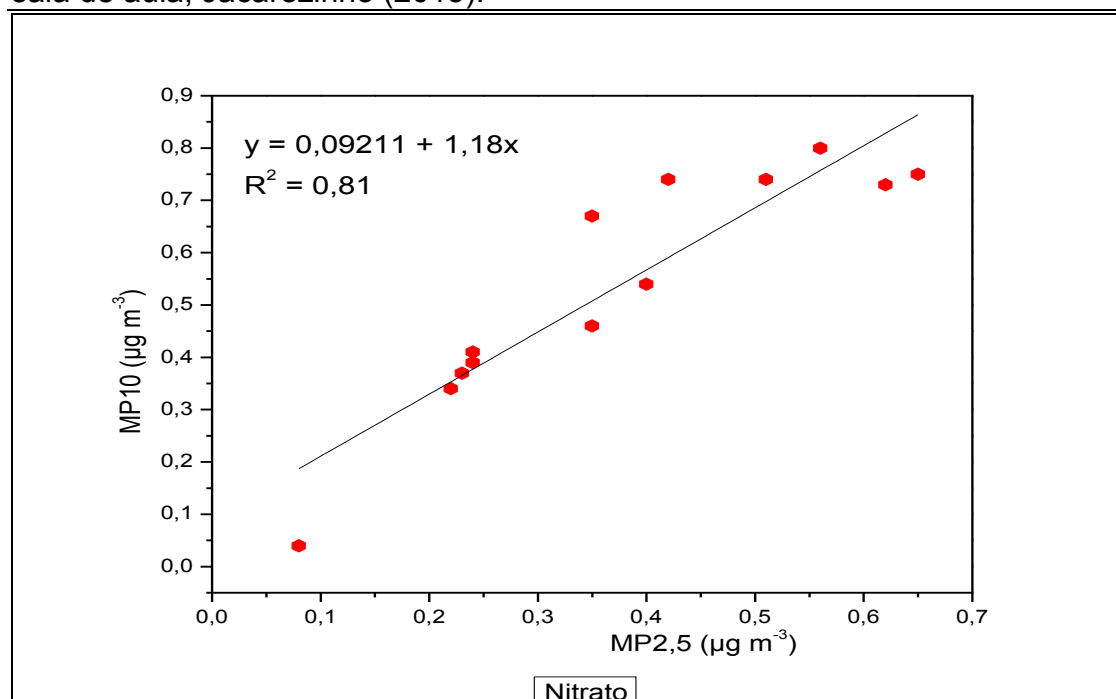


Fonte: do autor

Citado já anteriormente a concentração percentual do ânion cloreto no  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  foi de 8,45 e 7,78% respectivamente. A correlação do ânion cloreto no interior da sala de aula nas frações  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  (figura 20) traz uma correlação de 0,10, mostrando que apresentam origens diferentes. A contribuição do cloreto em ambiente interno para as frações mais finas podem ser resultantes de processos recentes de formação como emissões de combustão (lixo, biomassa), enquanto as partículas grossas, podem ser originadas de reações secundárias como ainda procedentes da ressuspensão de solo (SOLCI e FREITAS, 2009).

Outra contribuição de formação de cloreto pode estar relacionada com a evaporação do cloro para a atmosfera durante o processo de limpeza, vários estudos descobriram que os produtos de limpeza que contenham quantidades significativas de cloro podem contribuir para as concentrações de cloreto em interiores (ZHU, *et al.* 2015).

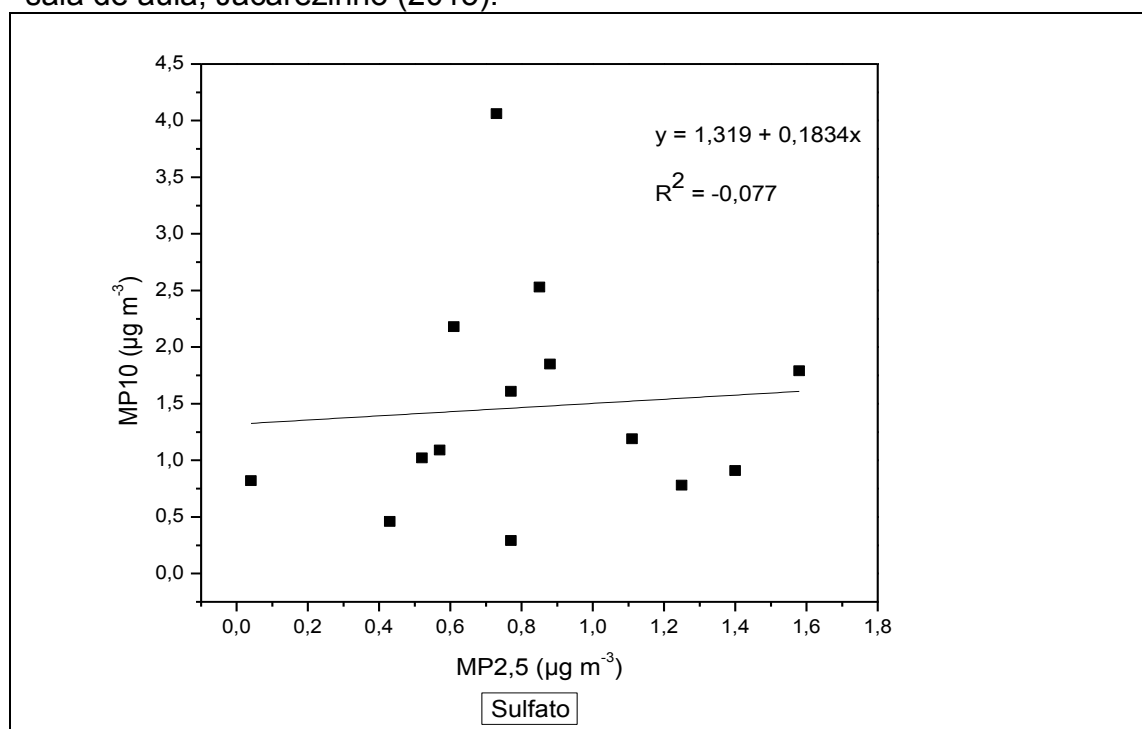
**Figura 21** - Correlação entre nitrato ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015).



Fonte: o autor

O nitrato contribuiu com concentração do MP em 26,76 e 21,4% nas frações  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  respectivamente. A correlação do nitrato nas duas frações (figura 21) foi de 0,81, mostrando que possui a mesma origem de formação, a qual pode ser a queima de combustíveis leves, como etanol, gasolina/etanol. Também pode ser originado na atmosfera a partir da oxidação de  $\text{NO}_x$ , sendo este emitido principalmente por veículos automotores.

**Figura 22** - Correlação entre sulfato ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015).

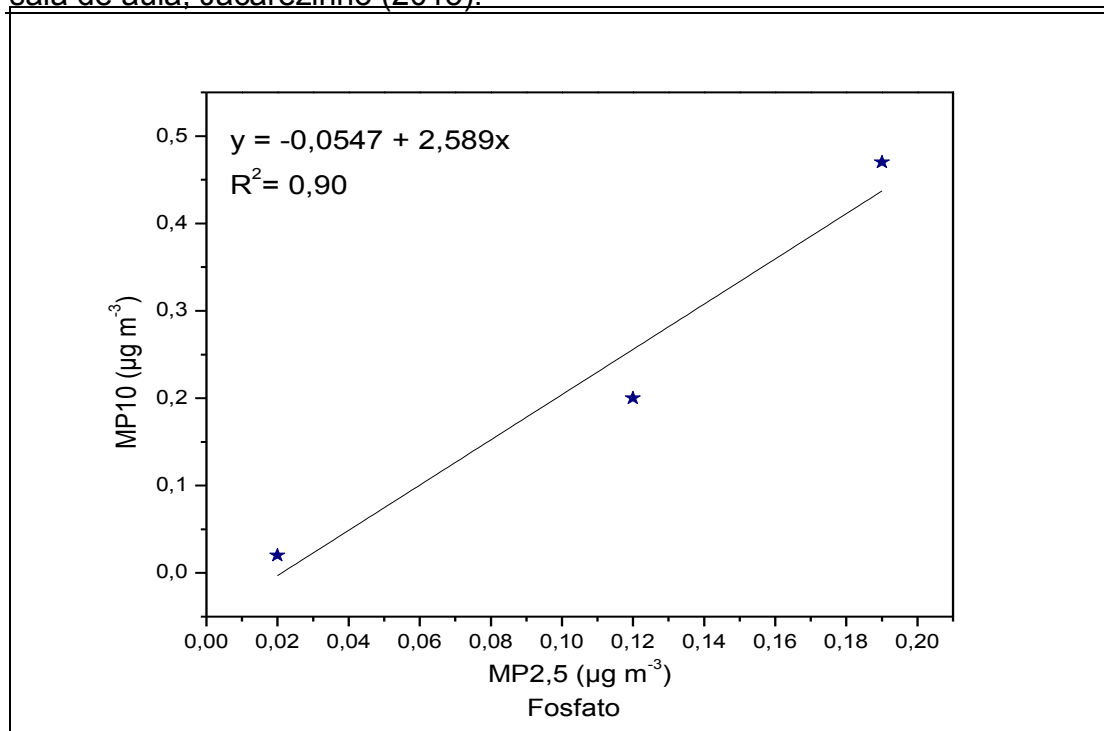


**Fonte:** do autor

O sulfato apresentou concentrações equivalentes nas duas frações obtidas no interior da sala de aula, cerca de 57% de contribuição. O coeficiente de correlação do sulfato no  $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$  foi de -0,07 uma correlação negativa, o que comprova que a fonte de sulfato no  $\text{MP}_{2,5}$  difere da fonte de  $\text{MP}_{10}$ .

A predominância do íon sulfato condiz com vários estudos realizados em ambiente escolar Rivas *et al.* (2015). A presença do sulfato pode estar relacionada com emissões veiculares, sendo formado na própria atmosfera a partir da oxidação de  $\text{SO}_2$  liberado a partir da queima de combustíveis.

**Figura 23** - Correlação entre fosfato ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nos  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  no interior da sala de aula, Jacarezinho (2015).



**Fonte:** do autor

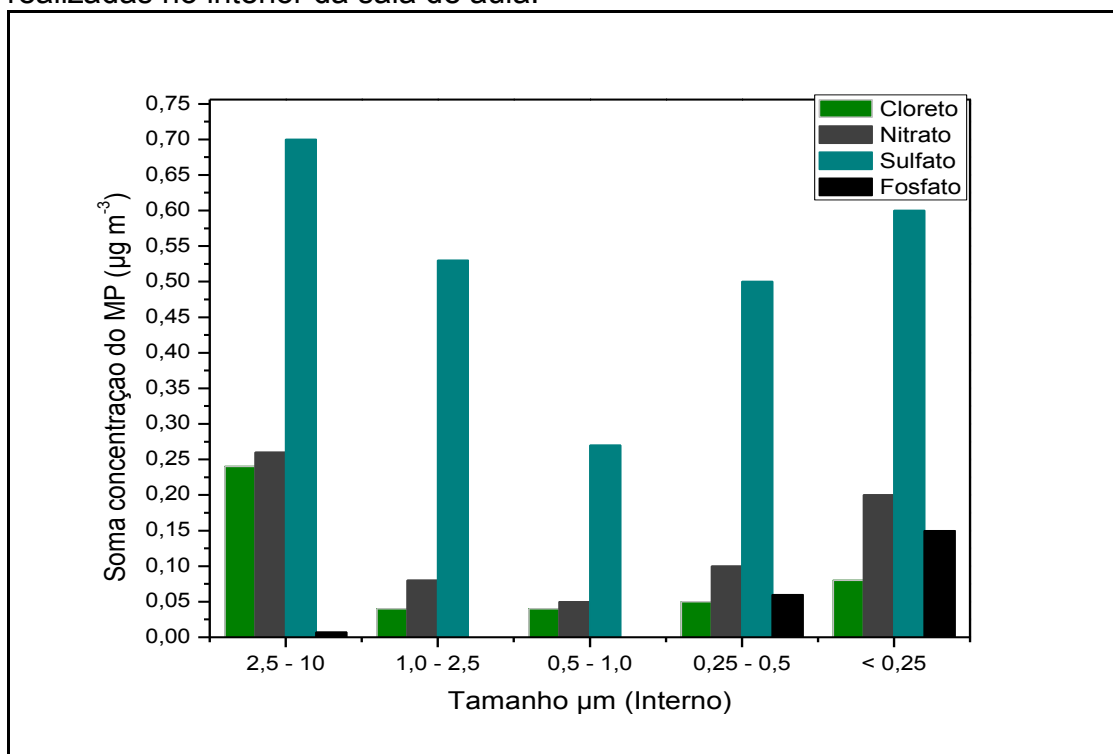
A figura 23 traz a correlação do ânion fosfato obtido na fração  $\text{MP}_{2,5}$  e na fração  $\text{MP}_{10}$  amostrados dentro da sala de aula. A correlação do fosfato foi de 0,90, mostrando que originam da mesma fonte. O fosfato pode estar associado com a aplicação de inseticidas organofosforados no plantio de cana de açúcar para controle de insetos e adubação do solo. Como o entorno da instituição onde foi realizado este estudo consta de vasta plantação de cana, a concentração de fosfato nas duas frações amostradas pode estar associada (BAIRD, COLIN, 2011).

#### 5.8 DETERMINAÇÃO DE ÂNIONS MAJORITÁRIOS DISTRIBUIDOS POR TAMANHO NO IMPACTADOR EM CASCATA

As Figuras 24 e Figura 25 estão representadas pela soma das concentrações de ânions inorgânicos obtidos nos estágios de impactação distribuídos por tamanho, fazendo referência ao ambiente interno e externo respectivamente. Verifica-se diferenças significativas dos analitos entre os estágios de impactação nos dois ambientes.

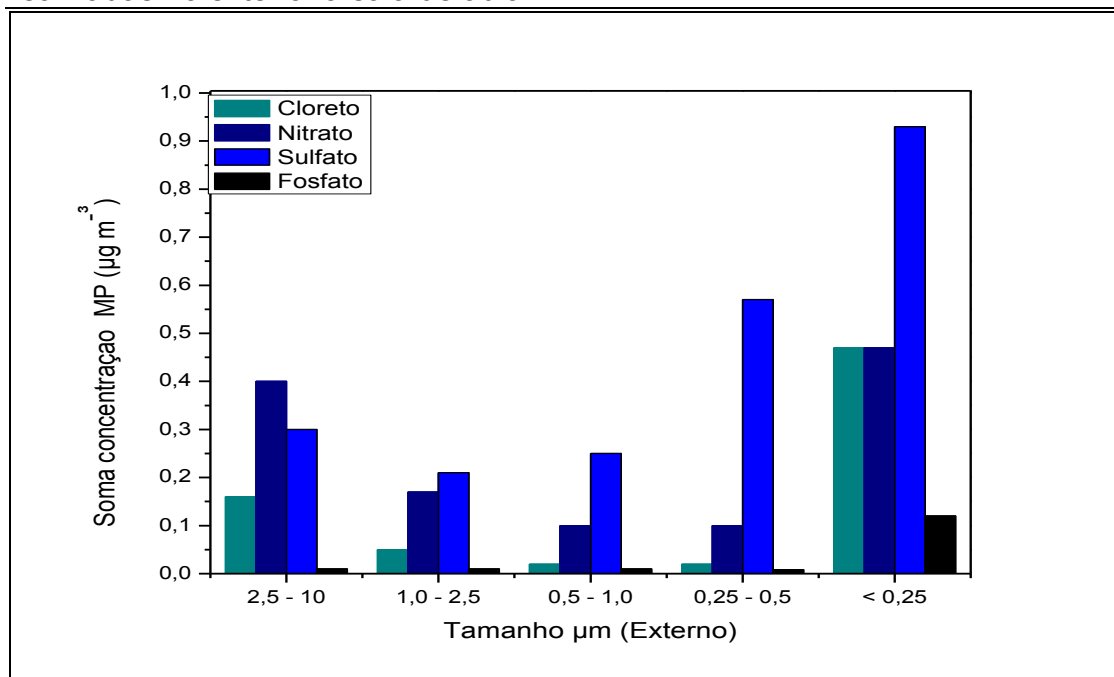
A concentração dos íons no interior da sala de aula nos estágios de impactação foram na ordem de  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$ , seguindo a mesma ordem de concentração obtida no ambiente externo.

**Figura 24** – Soma das concentrações de MP nos estágios de impactação realizadas no interior da sala de aula.



Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 25** – Soma das concentrações de MP nos estágios de impactação realizadas no exterior a sala de aula.



Fonte: Elaborado pelo autor

O dados obtidos nos estágios de impactação no interior da sala, (Figura 23) observa-se a distribuição dos ânions cloreto, nitrato, sulfato e fosfato amostrados ao longo da campanha. Todos os ânions encontram-se bem distribuídos nas modas de nucleação, acumulação e moda grosseira com intervalo de concentração 0,27 a 0,70  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com exceção do ânion fosfato que teve concentração abaixo do limite de detecção para diâmetros de partículas na faixa de 1,0 – 2,5 e 0,5-1,0  $\mu\text{m}$ .

Observa-se o ânion cloreto com maior concentração na moda grosseira seguindo para maiores valores no modo de nucleação e menores concentrações com distribuição semelhante no modo de acumulação. O ânion nitrato mostra um perfil bastante semelhante ao cloreto no modo como suas partículas estão distribuídas em relação ao tamanho, evidenciando duas modas bem definidas, a moda grosseira e a moda de nucleação.

Os resultados mostram o ânion sulfato com os maiores valores de concentração distribuídos em todas as modas, prevalecendo picos maiores no modo de nucleação. O ânion fosfato apresenta-se na moda de acumulação com intervalos de concentração somente nas frações <0,25 e 0,25-0,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro.

No ambiente externo (Figura 24) tem-se a distribuição dos ânions cloreto, nitrato, sulfato e fosfato que apresenta perfil diferente do ambiente interno, sendo

observado menores concentrações em comparação com o ambiente interno. As maiores concentrações são observadas nas frações <0,25 e 0,25-0,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro para todos os analitos ou seja, fração mais fina do MP, sendo considerada a mais prejudicial ao sistema respiratório devido ao seu diminuto tamanho, podendo-se alojar no trato respiratório mais profundamente.

O perfil do cloreto no ambiente externo foi maior na moda de acumulação onde apresentou maior pico. Na sequência aparece o nitrato com concentrações no ambiente interno distribuídas ao longo dos estágios de impactação que variam de 0,05 a 0,26  $\mu\text{g m}^{-3}$ , assim também aparece o sulfato mostrando ser a espécie dominante em todos os estágios, a predominância do sulfato também foi encontrado nas frações  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  como citado anteriormente.

Na sequência aparece o fosfato com concentrações na moda de nucleação seguida da moda de acumulação. Concentrações inferiores foram obtidas nas frações mais finas. O nitrato apresenta variações em todas as frações, tendo os maiores valores na fração mais grossa e mais fina do material particulado.

Estabelecendo uma análise do perfil dos ânions verifica-se maiores concentrações individuais dos analitos no interior da sala. Cabe ressaltar que durante o período de amostragem houve ocorrência de precipitação, isso pode ter favorecido a menor concentração no interior da sala de aula, principalmente para o ânion fosfato, que teve concentração menor, não sendo detectado pelo método em dois estágios de impactação, 0,5 - 1,0 e 0,25- 0,5  $\mu\text{m}$ .

Este estudo demonstra que o mecanismo de formação das partículas que foram detectadas encontram-se distribuídas nos modos de nucleação, acumulação e modo grosseiro. As partículas encontradas no modo de nucleação são geradas pela condensação de vapores dos poluentes formados pelas reações químicas, como ácido sulfúrico formado pela oxidação do dióxido de enxofre gasoso e as partículas de fuligem formadas pela combustão (BAIRD, CANN. 2011, p. 161).

As partículas do modo de acumulação presentes no MP amostrado resultam da incorporação de partículas de diferentes origens sendo principalmente provenientes de fuligem.

## 6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi averiguar a concentração de material particulado grosso e fino em escala micrométrica, bem como sua composição iônica presente em sala de aula de escola pública estabelecendo uma comparação com a atmosfera, indicando as possíveis fontes.

Os dados obtidos compõem amostras diárias de material particulado referente ao período de 20 de agosto a 04 de setembro de 2015 na Instituição de Ensino Complexo Gastão de Mesquita Filho no município de Jacarezinho no Paraná. De posse dos dados verificou-se maiores concentrações no interior da sala para todas as frações amostradas.

Comparando as concentrações amostradas em dias úteis e finais de semana, este apresentou menores valores, fato que foi relacionado com a ocupação dos alunos e diversas atividades desenvolvidas que causam a ressuspensão de partículas e sua deposição retardada. A partir desses dados estimou-se a relação das concentrações em massa internas e externas (I/E), que mostrou o acúmulo de material particulado dentro da sala de aula.

A composição inorgânica presente no material particulado conta com íons como cloreto, nitrato, sulfato e fosfato. Estes foram encontrados em escalas de distribuição por tamanho. O sulfato apresenta as maiores concentrações nos dois ambientes estudados mostrando que as fontes possíveis de contaminação para o ambiente interno podem ser influenciadas pela ressuspensão do solo, emissões veiculares.

A localização da escola em área suburbana e circundada por área industrial favorece a concentração de poluentes atmosféricos tanto na sala de aula quanto no seu exterior. Essa concentração de poluentes infere-se na má qualidade do ar podendo ocasionar efeitos adversos na saúde principalmente em crianças que são o grupo mais suscetível a doenças respiratórias.

## REFERÊNCIAS

ABT, E., SUH, H.H., CATALANO, P., KOUTRAKIS, P., Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations. **Environ. Sci. Technol.** 34, 3579-3587, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). RE/ANVISA nº 09: Avaliação da qualidade do ar interior, 2003. Disponível em: [portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/.Resolucao\\_RE\\_n\\_09.pdf?MO](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/.Resolucao_RE_n_09.pdf?MO). Acesso em: 20 fev. 2016.

AKHTAR, U.S.; RASTOGI, N.; WHINNEY, R. D. M.; URCH, B.; CHOW, C. W.; EVANS, G. J.; SCOTT, J. A. The combined effects of physicochemical properties of size-fractionated ambient particulate matter on *in vitro* toxicity in human A549 lung epithelial cells. **Toxicology Reports.** 1, p. 145–156, 2014.

AL-KHATIB, I.A., JU'BA, A., Kamal, N., HAMED, N., HMEIDAN, N., MASSAD, S., Impact of housing conditions on the health of the people at al-Ama'ri refugee camp in the West Bank of Palestine. **International Journal of Environmental Health Research.** 13, p. 315-326, 2003.

ALMEIDA, S. M.; CANHA, N.; SILVA, A.; FREITAS, M. C.; PEGAS, P. ALVES, C.; EVTYUGINA, M.; PIO, C. A. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. **Atmospheric Environment.** 45, p. 7594-7599, 2011.

ALVES, C. A.; URBAN, R. C.; PEGAS, P. N.; NUNES, T. Indoor/Outdoor Relationships between PM<sub>10</sub> and Associated Organic Compounds in a Primary School. **Aerosol and Air Quality Research.** 14, p. 86-98, 2014.

AMATO, F.; RIVAS, I.; VIANA, M.; MORENO, T.; BOUSO, L.; RECHE, C.; PEDREROL, M. A.; A.; SUNYER, J.; QUEROL, X. Sources of indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations in primary schools. **Science of the Total Environment.** p. 757–765, 2014.

AMATO, F., PANDOLFI, M., ESCRIG, A., QUEROL, X., ALASTUEY, A., PEY, J., PEREZ, N., HOPKE, P.K., Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: A comparison with PMF2. **Atmospheric Environment**, 43, p. 2770-2780, 2009.

AMATO, F., PANDOLFI, M., ESCRIG, A., QUEROL, X., ALASTUEY, A., PEY, J., PEREZ, N., HOPKE, P.K., Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: A comparison with PMF2. **Atmospheric Environment**, 43, p. 2770-2780, 2009.

AMATO, F., PANDOLFI, M., MORENO, T., FURGER, M., PEY, J., ALASTUEY, A., and PM<sub>2.5</sub> in Mexico City during winter 1997. **The Science of the Total Environment**, 287, p. 177-201, 2002.



CHAUER, J.J., LOUGH, G.C., SHAFER, M.M., CHRISTENSEN, W.F., Arndt, M., DEMINTER, J.T., PARK, J.S., Characterization of metals emitted from motor vehicles. **Health Effects Institute**, 88. 2006.

CHITHRA, V., SHIVA Nagendra, S., Indoor air quality investigations in a naturally ventilated school building located close to an urban roadway in Chennai, India. **Building and Environment**. 54, p. 159-167, 2014.

CHOW, J. C.; WILSON,; ECLAIBORN, W. FUSHENG C.;; ENGELBRECHT, W.J.; WATSON, J. G. Monitoring of particulate matter outdoors. **Chemosphere**, 49, p. 1009-1043, 2002.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (28/06/1990); 1990.

DAHL, A., GHARIBI, A., SWIETLICKI, E., GUDMUNDSSON, A., BOHGARD, M., LJUNGMAN, A., BLOMQVIST, G., GUSTAFSSON, M., Traffic-generated emissions of ultrafine particles from pavement-tire interface. **Atmos. Environ.** 40, p. 1314-1323, 2006.

DELFINO, R.J.; STAIMER, N.; VAZIRI, N.D. Air pollution and circulating biomarkers of oxidative stress. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v.4, p.37–52, 2011.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Ambient Air Quality Standards**. Disponível em : <http://www.epa.gov/air/criteria.html> - acesso em 22 ago de 2015.

FERNANDES, J. S.; CARVALHO, A. M.; CAMPOS, J. F.; COSTA, L. O., FILHO, G. B. **Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana**. Revista Médica de Minas Gerais 20(1): 92-101; 2010. Disponível em: <<http://rmmg.medicina.ufmg.br/index.php/rmmg/article/viewDownloadInterstitial/212/197>>. Acesso em abr de 2016.

FERREIRA D. C. S. Qualidade do ar interior em escolas básicas de 1º ciclo. 2013. Dissertação (Mestrado) –Instituto Politécnico do Porto, Portugal.

FOOS, B., MARTY, M., SCHWARTZ, J., BENNETT, W., MOYA, J., JARABEK, A.M., SALMON, A.G., Focusing on children's inhalation dosimetry and health effects for risk assessment: an introduction. **J. Toxicol. Environ. Health - Part A Curr. Issues A** 71,p. 149-165, 2008.

FINLAYSON-PITTS B. J. ;PITTS,JR.,J. N. **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere Theory, Experiments, and Applications** . Academic Press, 2000.

FROMME, H., TWARDELLA, D., DIETRICH, S., HEITMANN, D., SCHIERL, R., LIEBL, B., RÜDEN, H., Particulate matter in the indoor air of classrooms: exploratory results from Munich and surrounding area. **Atmospheric Environment**. 41, p. 854-866, 2007.

FROMME,H., DIEMER J.; DIETRICH, S.; CYRYS, J.; HEINRICH J.; LANG W.; KIRANOGLU, M.; TWARDELLA, D., Chemical and morphological properties of

particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) in school classrooms and outdoor air, **Atmospheric Environment**. 42, p. 6597–6605, 2008.

GEISS, O.; GIANNOPOULOS, G.; TIRENDI, S.; MORENO, J.; LARSEN, B. R.; KOTZIAS, D. Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens e the European indoor air monitoring and exposure assessment. **Atmospheric Environment**. 45, 3676, 2014

GODISH, T. **Air Quality**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2004

GODWIN A. AYOKO Leigh R. CRILLEY, RAEED M. ; JÜRGEN Schnelle-Kreis Qadir, GÜLCIN Abbaszade, JÜRGEN Orasche, RALF Zimmermann; MORAWSKA, Lidia. Identification of the sources of primary organic aerosols at urban schools: A molecular marker approach. **Environmental Pollution**. 191, p. 158-165, 2014.

GONÇALVES, C.; ALVES, C.; FERNANDES, A. P.; MONTEIRO, C.; TARELHO, L.; EVTYUGINA, M.; PIO, C. Organic compounds in PM<sub>2.5</sub> emitted from fireplace and woodstove combustion of typical Portuguese wood species. **Atmospheric Environment**. 45, p. 4533-4545, 2011.

HINNEBURG, D., RENNER, E., WOLKE, R.,. Formation of secondary inorganic aerosols by power plant emissions exhausted through cooling towers in Saxony. **Environmental Science and Pollution Research**, 16, p.25-35. 2009.

VASCONCELLOS, P. C; GUARIEIRO, L. L. N.; SOLCI, M.C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão **Rev. Virtual Quim**. 3, p. 434- 445, 2011.

GUO, H., MORAWSKA, L., HE, C., ZHANG, L. Y., AYOKO, G., CAO, M. “Characterization of Particle Number Concentrations and PM<sub>2.5</sub> in School: Influence of Outdoor Air Pollution on Indoor Air.” **Environmental Science and Pollution Research**. p. 1268-1278, 2010.

HARRISON, R.M., YIN, J., Chemical speciation of PM<sub>2.5</sub> particles at urban background and rural sites in the UK atmosphere. **Journal Environmental Monitoring**, 12, 1404-1414, 2010.

[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Plano\\_de\\_Manejo/RVS\\_Jacarezinho/5\\_E2\\_RRVS.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/RVS_Jacarezinho/5_E2_RRVS.pdf) acesso em 18 de fev. 2016.

<http://www.iap.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=668> acesso em 22 de fev. 2016.

<http://www.ibama.gov.br/documentos/documentos-na-integra>. Acesso em 23 de fev. 2016.

[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoresminimos/suppme/default\\_educacao.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoresminimos/suppme/default_educacao.shtml) acesso em 24 de fev de 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., acessado em dezembro de 2015, site <http://www.ibge.gov.br/home/>

JIANG, M., MARR, L.C., DUNLEA, E.J., HERNDON, S.C., JAYNE, J.T., KOLB, C.E., KNIGHTON, W.B., ROGERS, T.M., ZAVALA, M., MOLINA, L.T., MOLINA, M.J., Vehicle fleet emissions of black carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons, and other pollutants measured by a mobile laboratory in Mexico City. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 5, 3377-3387, 2005.

KAROTTKI, D. G.; BEKÖ, G.; C., G.; MADSEN, A. M.; ANDERSEN, Z. J.; MASSLING, A.; K., MATTHIAS; E., T.; L., RIKKE; S., T.; MØLLER, P. H.; Loft, S. Cardiovascular and lung function in relation to outdoor and indoor exposure to fine and ultrafine particulate matter in middle-aged subjects. **Environment International**, 73, , p. 372-381, 2014.

KOULOURI, E.; SAARIKOSKI, C.; THEODOSI, C.; MARKAKI, Z.; GERASOPOULOS, E.; KOUVARAKIS, G.; MAKELA, T.; HILLAMO, R.; MIHALOPOULOS, N. Chemical composition and sources of fine and courses aerosol particles in the Eastern Mediterranean. **Atmospheric Environment**. v. 42, p. 6542-6550, 2008.

LAI, S.; ZOU, S.; CAO, J.; LEE, S.; HO, K. Characterizing ionic species im PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> in four Pearl River Delta cities, South China. **Journal of Environmental Sciences**. 19, p. 939-947, 2007.

LATIF, Mohd Talib; MOHAMAD, Noorlin; FIROZ, Khan Md. Source apportionment and health risk assessment of PM<sub>10</sub> in a naturally ventilated school in a tropical environment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 124, p. 351–362, 2016.

LI Ning, PhD, Steve Georas, MD, Neil Alexis, PhD, Patricia Fritz, MEng, Tian Xia, MD, PhD, Marc A. Williams, PhD, Elliott Horner, PhD, and Andre Nel, MD, PhD, A work group report on ultrafine particles (American Academy of Allergy, Asthma & Immunology): Why ambient ultrafine and engineered nanoparticles should receive special attention for possible adverse health outcomes in human subjects. **J allergy clin immunol**, 30, p. 1-11 2016.

MARQUES, A. F.; Dissertação (**Mestrado**), Universidade Estadual de Londrina, Brasil, 2008.

MENDONÇA, R. B. S. Estudos de espécies metálicas associadas ao MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> oriundos de emissões veiculare. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.

MINGUILLÓN, M. C.; ARHAMI, M.; SCHAUER, J. J.; SIOUTAS, C.; Seasonal and spatial variations of sources of fine and quasi-ultrafine particulate matter in neighborhoods near the Los Angeles–Long Beach harbor, **Atmos. Environ.** 42, p. 7317, 7328, 2008.

MIRANTE, Fátima Isabel Cordeiro. Distribuição por tamanhos do aerossol atmosférico na Península Ibérica. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de Aveiro, Portugal.

OMS – Organização Mundial de Saúde 2011: **Air Quality and Health**. Disponível em: <http://www.who.int/en/> Consultado a: 02 de dez. 2014.

PIO, C.A., LOPES, D.A., Chlorine loss from marine aerosol in a coastal atmosphere. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 103, p. 25263-25272, 1998.

POLEDNIK, B. "Particulate Matter and Student Exposure in School Classrooms in Lublin, Poland." **Environmental Research**. 120, p. 134-139, 2013.

POLICHETTI Giuliano; COCCO Stefania; SPINALI Alessandra; TRIMARCO Valentina; NUNZIATA Alfredo Effects of particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>) on the cardiovascular system, **Toxicology**, 261, p. 1–8, 2009.

PONGPIACHAN, S., PAOWA, T., Hospital out-and-in-patients as functions of trace gaseous species and other meteorological parameters in Chiang-Mai, Thailand. **Aerosol Air Qual.** 15, p. 479-493, 2014.

QUEROL, X., Pey, J., PANDOLFI, M., ALASTUEY, A., CUSACK, M., PÉREZ, N., MORENO, T., VIANA, M., MIHALOPOULOS, N., KALLOS, G., KLEANTHOS, S., African dust contributions to mean ambient PM<sub>10</sub> mass-levels across the Mediterranean Basin. **Atmospheric Environment**, 43, 4266-4277, 2008.

RECHE, C., VIANA, M., RIVAS, I., BOUSO, L., ALVAREZ-PEDREROL, M., ALASTUEY, A., SUNYER, J., QUEROL, X., Outdoor and indoor UFP in primary schools across Barcelona. **Sci. Total Environ.** 493, p. 943–953, 2014.

RIBANI, Marcelo; BOTTOLI, Carla Beatriz Grespan; COLLINS, Carol H.; JARDIM Isabel Cristina Sales Fontes; MELO, Lúcio Flávio Costa, VALIDAÇÃO EM MÉTODOS CROMATOGRÁFICOS E ELETROFORÉTICOS. **Quim. Nova**, Vol. 27, No. 5, 771-780, 2004.

RIVAS, I.; VIANA, M.; MORENO, T.; PANDOLFI, M.; AMATO, F.; RECHE, C.; BOUSO, L.; ÀLVAREZ-PEDREROL, M.; Alastuey, A.; SUNYER, J. e, QUEROL, X. Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain, **Environment International**. 69 p. 200–212, 2014.

RIVAS, I.; VIANA, M.; MORENO, T.; BOUSO, L.; PANDOLFI, M.; PEDREROL, M. A.; FORNS, J. ALASTUEY, A.; SUNYER, J.; QUEROL, X.. Outdoor infiltration and indoor contribution of UFP and BC, OC, secondary inorganic ions and metals in PM<sub>2.5</sub> in schools. **Atmospheric Environment**, 106, 129-138, 2015.

ROCCO, R.; Incorrect installation and use of materials as the cause of a severe air pollution incident in a school building **Science of the Total Environment**, 487, p. 255–259, 2014.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução a Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SCHÜEPP, K., SLY, P.D., The developing respiratory tract and its specific needs in regard to ultrafine particulate matter exposure. **Paediatr. Respir.** 13, 95-99, 2012.

SEINFELD, John H., PANDIS N., **Atmospheric chemistry and physics : from air pollution to climate change**, 2. ed. Spyros, 2006.

SOLCI, M. C.; FREITAS A. M. Caracterização do mp10 e mp2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina **Quim. Nova**, 7, 1750-1754, **2009**.

THORPE, A., HARRISON, R.M., Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. **Science of the Total Environment**, 400,p. 270-282, 2008.

TRAN, D.T., ALLEMAN, L.Y., CODDEVILL, P., GALLOO, J.C., Elemental characterization and source identification of size resolved atmospheric particles in French classrooms. **Atmos. Environ.** 54, p. 250-259, 2012.

VIANA M.; RIVAS I.; QUEROL, X.; ALASTUEY A.; ALVAREZ-PEDREROL, M. BOUSO L. SIOUTAS, C. SUNYER, J., Partitioning of trace elements and metals between quasi-ultrafine, accumulation and coarse aerosols in indoor and outdoor air in schools, **Atmospheric Environment** xxx p. 1-10, 2014.

W.H.O., 2006. Health impact of PM<sub>10</sub> and ozone in 13 Italian cities. World Health Organization. <http://www.euro.who.int/en/media-centre/sections/latestpress-releases/newly-found-health-effects-of-air-pollution-call-for-stronger-europeanunion-air-policies>. Acesso em 20 set. 2014.

WANG, D.K.W. e AUSTIN, C.C. Determination of complex mixtures of volatile organic compounds in ambient air: canister methodology. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v.386, n.4, p.1099 - 1120, 2006.

WILSON, A.W.E.; CHOW, J.C. CLAIBORN, C. F. S.; WEI, J.; ENGELBRECHT, J.G. Monitoring of particulate matter outdoors. **Chemosphere**. 49, p. 1009–1043, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2010. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Regional Office for Europe of the World Health Organization, Copenhagen, Denmark.

XU, L.; CHEN, X.; JINSHENG, C.; ZHANG, F.; HE, C.; ZHAO, J.; YIN, L. Seasonal variations and chemical compositions of PM<sub>2,5</sub> aerosol in the urban area of Fuzhou, China. **Atmospheric Research**, 104-105, p. 264-272, 2012.

YANG, F.; Lu, Y.; WANG, W.; Indoor/outdoor relationships and diurnal/nocturnal variations in water-soluble ion and PAH concentrations in the atmospheric PM<sub>2.5</sub> of a business office area in Jinan, a heavily polluted city in China. **Atmospheric Research**, 153, p. 276-285, **2015**.

YAO, X.; CHAN, C. K.; FANG, M.; CADLE, S.; CHAN, T.; MULAWA, P.; HE, K.; YE, B.; The water-soluble ionic composition of PM<sub>2.5</sub> in Shanghai and Beijing, China. **Atmospheric Environment**. v. 36, p. 4223, 2002.

YONUE, R. Y. Modelagem numérica da formação, crescimento e transporte das partículas inorgânicas secundárias constituintes do aerossol urbano na região metropolitana de São Paulo, **Tese de doutorado** USP/São Paulo, p. 138, 2004.

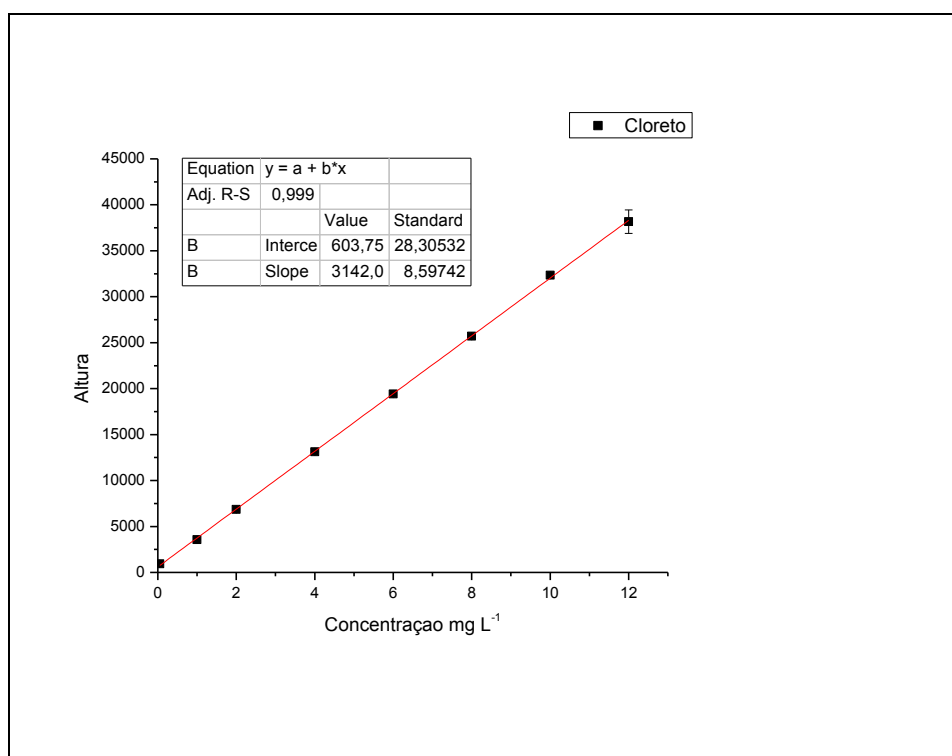
YUSOF Noor Faizah Fitri Md Maher Elbayoumi; NOR Azam Ramli; WESAM Al Madhoun. Spatial and seasonal variation of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) in Middle Eastern classrooms. **Atmospheric Environment**. 80, p. 389-397 2013.

ZHU, Y., HINDS, W.C., KIM, S., SHEN, S., Sioutas, C., Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. **Atmos. Environ.** 36, p. 4323-4335, 2015.

ZOCK Jan-Paul ; JARVIS, Deborah , LUCZYNSKA, Christina; SUNYER, Jordi; BURNEY, Peter ; Housing characteristics, reported mold exposure, and asthma in the European Community Respiratory Health Survey. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**. 110, p. 285–292, 2002.

## ANEXOS

### Anexo A - CURVAS ANALÍTICAS PARA DETERMINAÇÃO CROMATOFRÁFICA DE ÂNIONS



**Figura 4.** Curva de calibração e os respectivos coeficientes de determinação do ânion cloreto

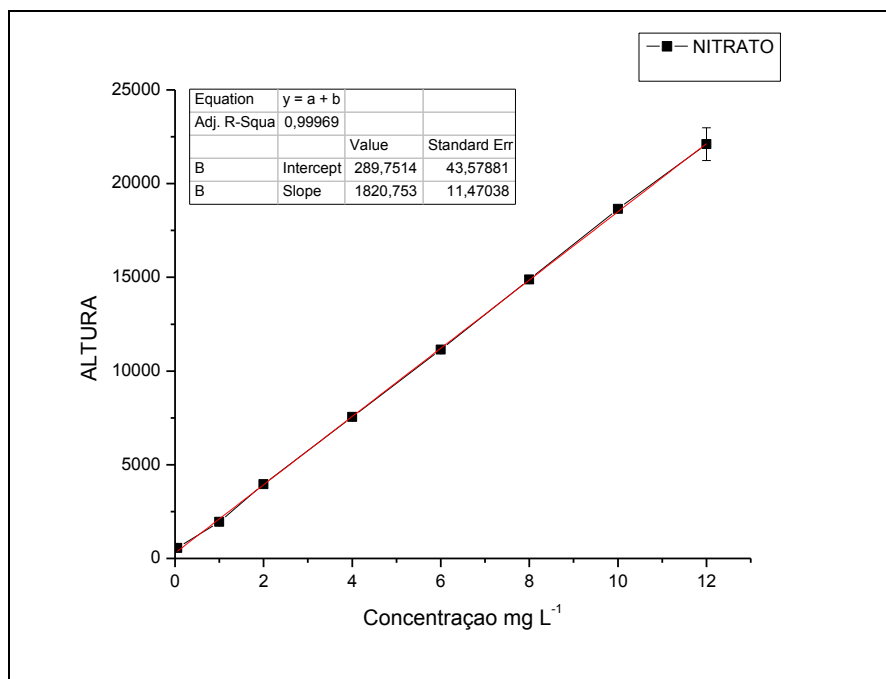


Figura 5. Curva de calibração e os respectivos coeficientes de determinação do ânion nitrato

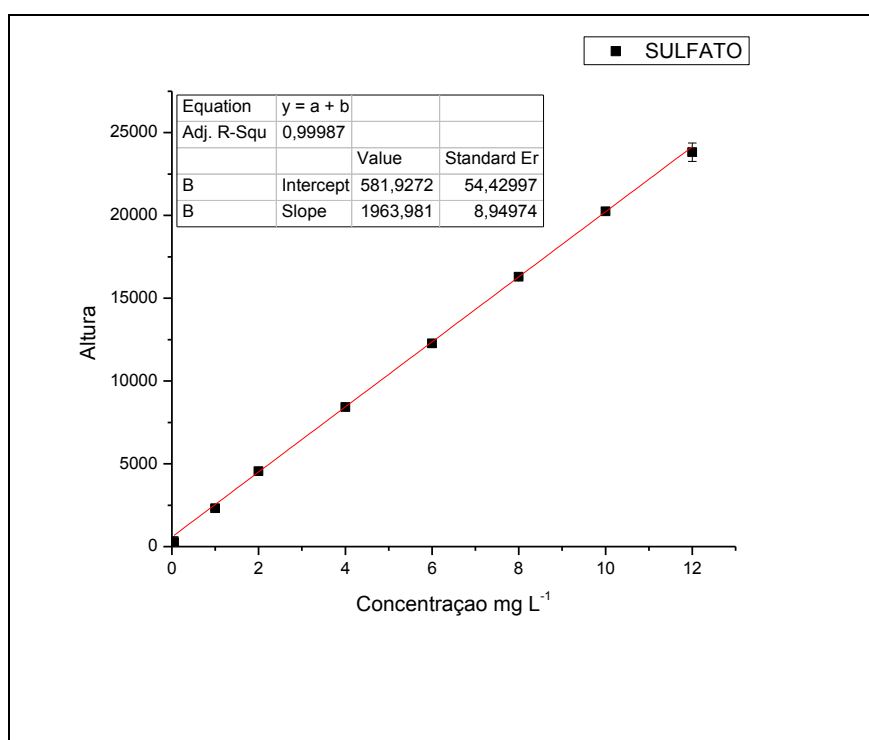
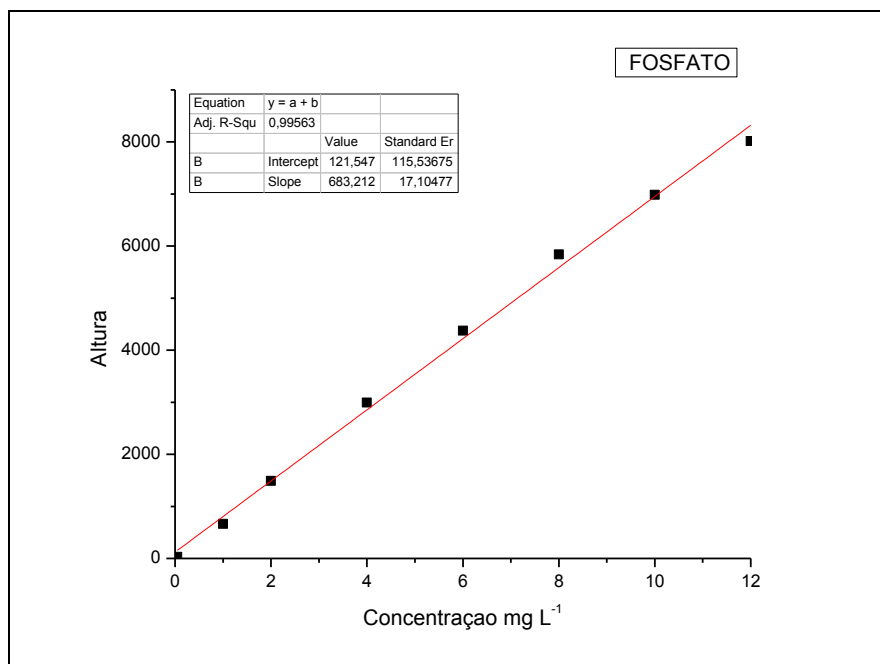
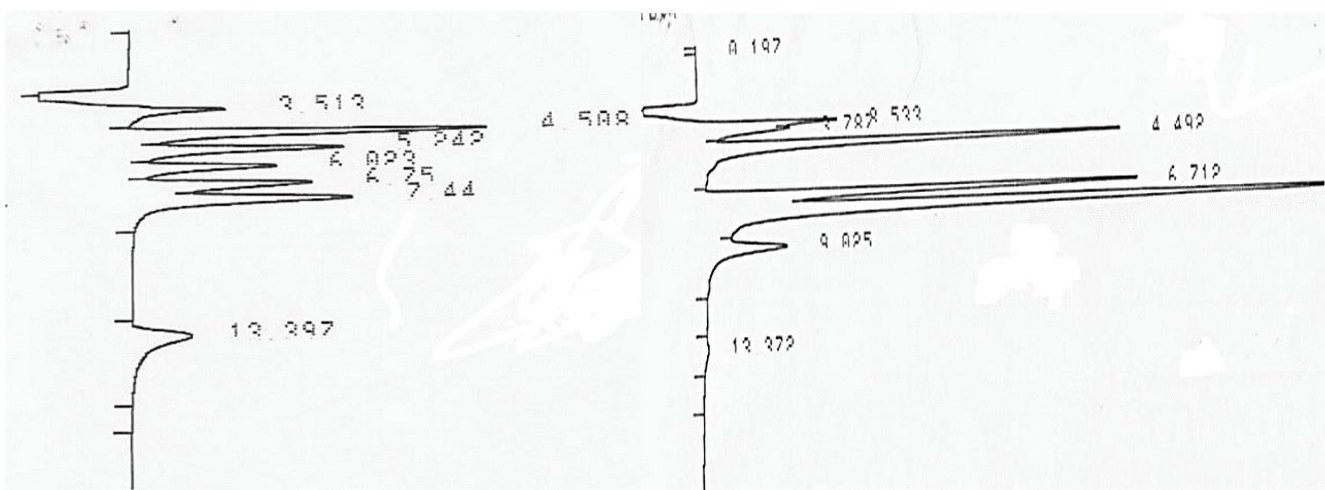


Figura 6. Curva de calibração e os respectivos coeficientes de determinação do ânion sulfato



**Figura 7.** Curva de calibração e os respectivos coeficientes de determinação do ânion fosfato

## Anexo B – Cromatogramas dos Padrões de ânions e da amostra



1- Padrões de ânions

2- Amostra real

1) Padrão dos ânions: (4,50) Cloreto; (6,75) Nitrato; (7,44) Sulfato; (13,39) Fosfato.

2) Amostra real: (4,49) Cloreto; (6,71) Nitrato; (7,38) Sulfato; (13,37) Fosfato.