UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MAYRA LISETTE ZAPATA VELASCO

ESTUDO EXPLORATÓRIO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO FUNDAMENTAL

VITÓRIA

2020

MAYRA LISETTE ZAPATA VELASCO

ESTUDO EXPLORATÓRIO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO FUNDAMENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de Poluição do Ar.

Orientadora: Profª. Dra. Jane Meri Santos

Coorientadora: Profª. Dra. Érica Coelho Pagel

VITÓRIA

2020

MAYRA LISETTE ZAPATA VELASCO

ESTUDO EXPLORATÓRIO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO FUNDAMENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de Poluição do Ar.

Aprovada em de junho de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

_____

Profª. Drª. Jane Meri Santos
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

_____

Profª. Drª. Erica Coelho Pagel
Universidade Vila Velha
Coorientadora

_____

Profª. Drª. Adriana Gioda
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Examinador Externo

_____

Profª. Drª. Neyval Costa Reis Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador Interno

_____

Profª. Drª. Servio Tulio Cassini
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador Interno

A meus pais, Jeovanny e Lina razão de minha vida.

A minha irmã Evelyn, meus anjos no ceú Zoila e Marina, a toda minha Família, meu maior tesouro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente a cada uma das pessoas que me ofereceram seu apoio, companhia e tiveram as palavras precisas para cada momento neste processo de estudo, nesta mudança da minha vida. Toda gratidão para minha Orientadora professora Jane Meri Santos, por seus ensinamentos e seu apoio total nos momentos de dificuldade, a professora Érica Coelho Pagel e Larissa Moro pelo seu aporte e acompanhamento significativo na execução e aperfeiçoamento do meu projeto, além, a uma pessoa que chegou no momento exato para colaborar na finalização do meu mestrado, Vinícius Lionel-Mateus, um ser humano maravilhoso que me ofereceu sua amizade e compartilho incansavelmente seus conhecimentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Programa de Alianças para a Educação e a capacitação da Organização dos Estado Americanos (PAEC-OEA) que foram um apoio fundamental no âmbito econômico, nos anos de estudo.

É importante mencionar também a todo o pessoal do laboratório NQUALIAR do Programa de Pos-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio, carinho e amizade, ao pessoal de aula Jamily, Nathalia, Karine, a minhas colegas pesquisadoras Vanessa, Melina, Larissa e ao meu parceiro de campo Jeferson que estiveram presentes durante tudo o processo do projeto e me reconfortaram nos dias difíceis, além ao pessoal do Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento (CPID) do estado do Espírito Santo pelo apoio e bons momentos compartilhados.

Depois dos grandes momentos, ficam as grandes lembranças do compartilhamento da vida com boas pessoas, agradeço a minha Família no Brasil composta de jovens que como eu saíram da sua terra para cumprir seus sonhos: Maria Fernanda, Emerson, Alessandra, Sady, Richo, Oscar, Ricardo, Mary, Roberto, além de minha linda brasileira Sinara, meu anjo Amora e minha família de equatorianos em Vitória, os Sánchez-Vargas, pela sua acolhida.

Finalmente, e não com menor importância, a minha família, meus príncipes Steven e Stefano, ao precursor desta aventura meu amigo e Professor Oscar Prieto e aos amigos de Equador por estarem perto apesar da distância. Eles viveram, choraram, comemoraram e sorriram comigo, também torceram e vibraram por cada conquista nessa maravilhosa experiência.

Mais uma vez eu olho para o céu, sorrio e digo, sei que foi você meu Deus.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVOS 8
2.1. Objetivo geral 8
2.2. Objetivos específicos 8
3. REVISÃO DA LITERATURA 9
3.1. Qualidade do ar interior e a síndrome da edificação doente (SED) 9
3.2. Principais fontes de emissão 12
3.3. Principais poluentes 15
3.4. Trabalhos correlatos 24
4. METODOLOGIA 32
4.1. Localização e descrição da área de estudo 32
4.2. Campanha experimental 38
4.2.1. Planejamento de experimentos 38
4.2.2. Técnicas de amostragem e análises laboratoriais: dióxido de nitrogênio 42
4.2.3. Técnicas de amostragem e análises laboratoriais: material particulado 44
4.2.3.1. Método contínuo: Laser Aerosol Spectrometer (OSIRIS) 44
4.2.3.2. Método não contínuo: N-FRM e caracterização química XRF 46
4.2.3.3. Técnica de atribuição de fontes 48
4.2.4. Técnicas de amostragem e análises laboratoriais: fungos 49
4.2.4.1. Amostragem 49
4.2.4.2. Incubação e contagem 50
4.2.4.3. Identificação de espécies 50
4.3. Garantia e controle da qualidade dos resultados 51
4.3.1. Caracterização química do material particulado 51
4.3.2. Caracterização biológica do material particulado (fungos) 51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 53
5.2. Condições meteorológicas na região durante o período investigado 53
5.3. Qualidade do ar no ambiente exterior na RMGV 55
5.3.1. Níveis de concentração de fungos 55

5.3.2. Níveis de concentração de dióxido de nitrogênio 57
5.3.3. Níveis de concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ e sua composição química elementar 58
5.4. Qualidade do ar nos ambientes interiores das escolas municipais investigadas 63
5.4.1. Níveis de concentração de fungos e sua caracterização fenotípica 63
5.4.2. Níveis de concentração de NO_2 66
5.4.3. Níveis de concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ e sua composição química elementar 67
5.4.4. Relações entre a concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ e NO_2 nos ambientes externo e interno 75
5.5. Atribuição de fontes responsáveis pela contribuição de MP_{10} e $MP_{2,5}$ 78
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 86
REFERÊNCIAS 90
APÊNDICE A. Registro fotográfico EMEF “Izaura Marques Da Silva “ 100
APÊNDICE B. Registro fotográfico EMEF “Eunice Pereira Da Silveira” 102
APÊNDICE C. Procedimento para preparação do meio de cultura para coleta de fungos. ... 104
APÊNDICE D. Procedimento para preparação da resina para identificação dos fungos 105
APÊNDICE E. Horarios de atividades dos ambientes monitorados. 106
ANEXO A. Procedimento para análise de dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre com amostradores passivos 120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sintomas e doenças relacionadas as partículas finas no ar interior.....11
Figura 2. Efeitos dos poluentes atmosféricos no corpo humano.....11
Figura 3. Principales fuentes de contaminantes en ambientes internos. 1: chimeneas, velas e inciensos; 2: pasar la aspiradora y limpiar; 3: humo de cigarrillo; 4: mascotas; 5: macetas de plantas; 6: insectos, radón y metano; 7: cocción; 8: aparatos a gas; 9: combustible almacenado; 10: vehículos; 11: pinturas, solventes, etc.; 12: humidificadores; 13: cortinas y alfombras; 14: ropa de cama y mobiliario; 15: computadoras/impresoras; 16: aires acondicionados; 17: hobbies; 18: peceras; 19: duchas; 20: aire externo; y 21: aislamiento 15
Figura 4. Distribuição dos aerossóis, mecanismos de formação.....16
Figura 5. Distribuição típica das partículas na atmosfera.....17
Figura 6. (a) Regiões do sistema respiratório e (b) frações depositadas em diferentes porções do sistema respiratório.....17
Figura 7. Localização dos Bairros de estudo na cidade de Vitória/ES.....34
Figura 8. Localização das escolas amostradas, da estação de monitoramento e das principais indústrias.....34
Figura 9. Escola "Izaura Marques da Silva": a) Localização, b) Fachada, c) Planta. 36
Figura 10. Escola "Eunice Pereira da Silveira ": a) Localização, b) Fachada, c) Planta.....36
Figura 11. (a) Estrutura do amostrador Ogawa®. (b) Processo de montagem do amostrador Ogawa®. (c) amostrador Ogawa®.....42
Figura 12. (a) Instalação Osiris no Refeitório na Escola “Izaura Marques da Silva”. **(b)** Osiris registrando concentração de material particulado na biblioteca da Escola “Eunice Pereira da Silveira”.....45
Figura 13. (a) NFR-ARA coletando MP_{10} e $MP_{2,5}$ em uma sala de aula da Escola “Izaura Marques da Silva” e (b) troca de filtros.....48
Figura 14. Fungos: (a) contagem e (b) lâminas para identificação. 50
Figura 15. (a) Temperatura, (b) umidade relativa e (c) precipitação pluviométrica registradas na cidade de Vitória no período de estudo. 55
Figura 16. Direção do vento registrada na cidade de Vitória, a) durante todo o periodo de estudo, b) mês de outubro e c) mês de novembro. 55

Figura 17. (a) Contagem e (b) identificação de gêneros dos fungos nos ambientes externos nas cercanias da EMIN e da EMEP. 57
Figura 18. Série temporal da concentração (horária) de NO_2 no ambiente externo durante o período da campanha experimental realizada na EMIM. 58
Figura 19. Série temporal da concentração (horária) de NO_2 no ambiente externo durante o período da campanha experimental realizada na EMEP. 58
Figura 20. Concentração de MP em monitoramento externo, relativo ao período amostral de EMIM: (a) MP_{10} e (b) $MP_{2,5}$. 59
Figura 21. Concentração de MP em monitoramento externo, relativo ao período amostral de EMEP: (a) MP_{10} e (b) $MP_{2,5}$. 59
Figura 22. Composição química elementar do MP_{10} no ambiente externo considerando (a) os elementos majoritários e (b) os elementos minoritários. 61
Figura 23. Composição química elementar do $MP_{2,5}$ no ambiente externo considerando (a) os elementos majoritários e (b) os elementos minoritários. 62
Figura 24. Razão $MP_{10}/MP_{2,5}$ no ambiente exterior (a) maior e (b) menor que a unidade..... 62
Figura 25. Contagem dos fungos nos ambientes internos da EMIM: (a) concentração média por coleta do dia (b) concentração média em cada horário de amostragem. 64
Figura 26. Contagem dos fungos nos ambientes internos da EMEP: (a) concentração média por coleta do dia (b) concentração média em cada horário de amostragem. 65
Figura 27. Identificação de fungos nos ambientes internos das escolas. 66
Figura 28. Concentração média horária de NO_2 nos ambientes internos e externo de EMIM. 67
Figura 29. Concentração média de 24 horas de MP_{10} e $MP_{2,5}$ nos ambientes internos da EMIM. 68
Figura 30. Concentração média de 24 horas de MP_{10} e $MP_{2,5}$ nos ambientes internos da EMEP. 69
Figura 31. Série temporal da concentração média horária na sala de aula SA4 da EMIM (30/09 - 04/10): (a) PTS e MP10 e (b) MP2,5 e MP1. 70
Figura 32. Série temporal da concentração média horária na sala de aula SA1 da EMEP (04/11 - 08/11): (a) PTS e MP_{10} e (b) $MP_{2,5}$ e MP_1. 71
Figura 33. Composição química elementar do MP_{10} nos ambientes internos considerando (a) os elementos majoritários e os elementos minoritários (b) até 4,5% e (c) até 0,7%. 72

Figura 34. Composição química elementar do $MP_{2,5}$ nos ambientes internos considerando (a) os elementos majoritários e os elementos minoritários (b) até 8% e (c) até 3%. 74
Figura 35. Razão $MP_{10}/MP_{2,5}$ nos ambientes internos das escolas investigadas (a) maior e (b) menor que a unidade. 75
Figura 36. Relação da concentração de NO_2 exterior/interior na EMIM. 76
Figura 37. Correlação MP_{10} exterior/interior da EMIM (a) na sala de aula SA4, (b) na sala de aula SA3, (c) na biblioteca BIB, (d) na sala de informática INF e (e) no refeitório REF. 77
Figura 38. Correlação MP_{10} exterior/interior da EMEP (a) na sala de aula SA1, (b) na sala de aula SA3, (c) na biblioteca BIB, (d) na sala de informativa INF e (e) no refeitório REF. 78
Figura 39. Fator de Enriquecimento do MP_{10} no ambiente externo relativamente a (a) crosta terrestre e (b) ao sal marinho. 80
Figura 40. Correlação e clustering dos elementos químicos presentes no MP_{10} no ambiente exterior. 81
Figura 41. Correlação da concentração de elementos químicos no MP_{10} entre os ambientes interior e exterior. 82
Figura 42. Fator de Enriquecimento do $MP_{2,5}$ no ambiente externo relativamente a (a) crosta terrestre e (b) ao sal marinho. 83
Figura 43. Correlação e clustering dos elementos químicos presentes no MP2,5 no ambiente exterior. 84
Figura 44. Correlação da concentração de elementos químicos no MP2,5 entre os ambientes interior e exterior. 85

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Fatores ambientais.....10

Quadro 2. Principais fontes de poluição.....13

Quadro 3. Principais fungos causantes de asma e rinites.....20

Quadro 4. Poluentes microbiológicos fúngicos de interesse no ar interior.....20

Quadro 5. Principais padrões de ar interior.....22

Quadro 6. Características gerais das escolas.....34

Quadro 7. Descrição geral dos ambientes monitorados.....36

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Planejamento amostral para a escola “Izaura Marques da Silva”.....39

Tabela 2. Planejamento amostral para a escola “Eunice Pereira Da Silveira”.....40

Tabla 3. Monitoramento de NO2 com Ogawa - EMIM. Local, data e hora do inicio e fim da coleta.....42

Tabela 4. Monitoramento de material particulado - OSIRIS. Local de medição, data e hora de inicio e fim da coleta.....44

Tabela 5. Monitoramento de material particulado com N-FRM. Local de medição, data e hora de inicio e fim da coleta.....46

RESUMO

Esta dissertação objetivou avaliar a qualidade do ar interior em escolas municipais de ensino fundamental na cidade de Vitória no estado do Espírito Santo. Foram avaliadas as concentrações de material particulado (PTS, MP_{10}, $MP_{2,5}$ e MP_1), dióxido de nitrogênio (NO_2) e fungos nos diferentes ambientes interiores (salas de aula, laboratório de informática, biblioteca e refeitório) das escolas "Izaura Marques da Silva" (EMIM) localizada no bairro Andorinhas e "Eunice Pereira da Silveira" (EMEP) em Maruipe durante quatro semanas na primavera de 2019. Além disso, foram monitorados os poluentes MP_{10}, $MP_{2,5}$ e NO_2 no ambiente exterior. Nos ambientes interiores, o material particulado foi monitorado por meio de um detetor de partículas Osiris e impactadores do tipo N-FRM utilizando filtros de PTFE, para estabelecer sua composição química utilizou-se um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (ED-XRF). Ainda nos ambientes internos, amostradores passivos Ogawa foram utilizados para amostragem de NO_2 e analisados por um espectrômetro. Os fungos foram coletados por meio de um impactador Andersen CF-6 utilizando placas petri com Ágar de Dextrose de Batata Doce (BDA) mais Cloranfenicol (antibiótico), a identificação dos gêneros foi realizada fenotipicamente. No ambiente externo, as análises foram realizadas pela Estação Automática de Monitoramento do NQUALIAR-UFES. Os resultados indicaram maiores concentrações de material particulado nos refeitórios e níveis menores nas bibliotecas, em geral, as médias de 24 horas cumprem com os limites estabelecidos pela legislação (OMS, CONAMA). Elementos que compõem o sal marinho como Cl e Na, foram encontrados nas amostras além da presença de elementos atribuídos à indústria siderúrgica como Si, Al, K. O NO_2 atingiu a maior concentração no refeitório fazendo relação com a presença de fogões à gás na cozinha. As concentrações de fungos foram maiores na EMIM, na EMEP foram registrados valores mais baixos. As concentrações mais altas foram observadas entre 8:00 e 12:00, as amostras coletadas no ambiente externo revelaram concentrações mais baixas do que aquelas nos ambientes internos. Os gêneros identificados mais prevalentes foram *Penicillium*, *Clasdosporium* e *Aspergillus.*

Palabras-chaves: Qualidade do ar interior, Material particulado, Fungos, Dióxido de nitrogênio, Escolas

ABSTRACT

This dissertation aimed to evaluate indoor air quality at municipal schools in the city of Vitória in the state of Espírito Santo. The concentrations of particulate matter (TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1), nitrogen dioxide (NO_2) and fungi in the different indoor environments (classrooms, computer lab, library and cafeteria) at two schools: "Izaura Marques da Silva" (EMIM) located in the Andorinhas and "Eunice Pereira da Silveira" (EMEP) neighborhood in Maruípe during four weeks in the spring of 2019. In addition, MP_{10}, $MP_{2.5}$ and NO_2 were also monitored outdoor by an automatic monitoring station belonging to NQUALIAR-UFES. In the indoor environments, particulate matter was monitored by means of an Osiris particle detector and N-FRM impactors using PTFE filters, to establish its chemical composition an X-ray Fluorescence Spectrometer by Dispersive Energy (ED -XRF) was used. Passive Ogawa samplers were used to sample indoor NO_2 that were analyzed by a spectrometer. Fungi were collected using an Andersen CF-6 impactor using petri dishes with Sweet Potato Dextrose Agar (BDA) plus Chloramphenicol (antibiotic), the identification of the genera was carried out phenotypically. The results indicated higher concentrations of particulate matter in the cafeterias and lower levels in the libraries, in general, the 24-hour averages complied with the limits established by the legislation (WHO, CONAMA). Elements contained in salt water such as Cl and Na, were found in the samples in addition to elements attributed to the steel industry such as Si, Al, K. NO_2 reached the highest concentration in the cafeteria, related to the usage of stoves in the kitchen. Fungal concentrations were higher in EMIM, in EMEP lower values were recorded. The highest concentrations were observed between 8:00 AM and 12:00 AM, the outdoor samples revealed lower concentrations than those from the indoor environments. The most prevalent identified genera were *Penicillium*, *Clasdosporium* and *Aspergillus*.

Keywords: Indoor air quality, Particulate matter, Fungi, Nitrogen dioxide, Primary schools

1. INTRODUÇÃO

Tempo de permanência no interior das edificações e padrões de comportamento

O termo qualidade do ar interior começou a ser pensado no final de 1960, mas os primeiros estudos científicos foram realizados somente dez anos depois (GUARDINO, 2010). A qualidade do ar interior faz referência aos ambientes não industriais tais como: prédios, escritórios, universidades, escolas, hospitais, casas e outros. Os indivíduos, habitantes das cidades, ficam entre 78 e 90% de seu tempo em ambientes internos (GUARDINO, 2010). O padrão de conduta e atividade dos indivíduos em ambientes fechados são fatores importantes que influenciam a avaliação da exposição dos indivíduos à poluição do ar (CIRCINELLI; MARTELLINI, 2017). O período de permanência no interior das edificações pode variar de acordo com o gênero, idade, status social, clima, etc. Geralmente espera-se que os adultos passem mais tempo no trânsito do que os jovens e que indivíduos idosos e crianças permaneçam um tempo maior em espaços interiores. As atividades realizadas nos ambientes internos também variam dependendo dos fatores mencionados anteriormente, assim como, o estabelecimento dos padrões de comportamento das pessoas nos ambientes interiores depende principalmente dos estilos de vida (ODEH; HUSSEIN, 2016).

Efeitos à saúde, crianças e o ambiente interno escolar

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2018), 3,8 milhões de pessoas morrem por ano por doenças atribuídas à poluição do ar interior principalmente pelo uso de combustíveis fósseis para cozinhar. Além de incrementar a taxa de mortalidade, o número de atendimentos e internações hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares também aumenta consideravelmente, como por exemplo crises de alergia, irritação e lesões nos pulmões, sendo as principais doenças causantes das mortes: pneumonia, acidente vascular cerebral, cardiopatia isquêmica, pneumopatía obstrutiva crônica, câncer de pulmão (OYARZÚN, 2010; MAINARDI; REDLICH, 2018; OMS,2018). Aproximadamente 90% das mortes que tem relação com a poluição do ar acontecem em países de baixa e média renda, de cada três mortes duas delas ocorrem no Sudeste Asiático e no Pacífico Ocidental (OPAS, 2018). No continente Americano, por ano, são registrados 93.000 óbitos em países de média e baixa renda e 44.000 em países de renda alta atribuídos à contaminação atmosférica (WHO, 2016).

Na comunidade, em geral, as crianças são consideradas particularmente vulneráveis (BUONANNO et al., 2012) tanto pelas suas características fisiológicas como comportamentais, suas taxas de ventilação e atividade física são maiores e, consequentemente, sua exposição a poluentes do ar também é maior (TRASANDE; THURSTON, 2005). As crianças inalam volumes maiores de ar em relação ao seu peso e a área de seus tecidos, seus órgãos ainda estão em processo de crescimento e seu sistema imunológico ainda não está desenvolvido completamente (MENDELL; HEATH, 2005).

De acordo com Mendell e Heath (2005), é importante estudar a qualidade do ar interior em ambientes escolares e evitar problemas de umidade, pouca ventilação ou renovação de ar e elevada concentração de poluentes. Além disso, na atualidade, depois de suas casas, as crianças ficam na escola a maior parte do seu tempo. A qualidade dos ambientes interiores pode influir nos ocupantes das edificações de maneira direta e indireta (MAINKA et al., 2015), concentrações altas de poluentes em interiores podem provocar o não comparecimento as aulas, além de redução do rendimento acadêmico (MENDELL; HEATH, 2005; PEGAS et al., 2010). Por exemplo, Newman et al. (2013) analisaram a qualidade do ar em escolas e relacionaram a exposição ao carbono elementar presente no material particulado em suspensão no ar proveniente do tráfego de veículos ao comportamento de crianças de 7 anos que frequentavam essas escolas. Os participantes escolhidos moravam desde seu nascimento em residências localizadas entre 400 a 1500 m de uma rodovia principal. O comportamento das crianças foi avaliado usando as subescalas Hiperatividade, Problemas de atenção, Agressão, Problemas de conduta e Atipicidade. O estudo encontrou relação entre os níveis de carbono elementar atribuído ao tráfego e elevados escores de hiperatividade nos alunos. Ainda, outro estudo realizado na China estabeleceu que os níveis de atenção dos alunos eram prejudicados em escolas localizadas em áreas externas consideradas altamente poluídas em relação as escolas localizadas em regiões menos poluídas (WANG et al., 2009). Os estudos realizados em ambientes escolares fazem ênfase na influência negativa de poluentes biológicos, químicos e físicos e condições de conforto térmico que podem afetar os ocupantes de forma direta e indireta (MAINKA et al., 2015).

Principais poluentes e suas fontes

Nos ambientes internos, há uma combinação de poluentes originados por diferentes fontes, tais como tráfego de veículos e indústrias (fontes externas), que podem infiltrar por frestas em

portas e janelas ou pelos sistemas de ventilação, e outras fontes presentes no interior das edificações como queima de combustíveis, carvão e madeira, produtos de tabaco, velas, emissões de materiais e mobiliário, sistemas de refrigeração e aquecimento, dispositivos de umidificação, equipamentos eletrônicos, produtos para limpeza doméstica, animais e outros (CIRCINELLI; MARTELLINI, 2017).

Os principais poluentes presentes em ambientes internos são gases como dióxido de nitrogênio (NO_2) e material particulado de origem biológicas (como fungos) e não biológicas classificados de acordo com a sua granulometria (PTS, MP_{10}, $MP_{2.5}$, MP_1). O material particulado de origem não biológica pode ser composto por partículas sólidas e líquidas, como fuligem proveniente da combustão de diesel, poeira de estradas e de solos agrícolas além das partículas geradas dos processos industrias (FANG et al., 2003). Em ambientes internos podemos mencionar fontes de material particulado como a combustão gerada pelo fumo do tabaco, aparelhos como fogões a gás, aquecedores a querosene, casos de fogões a lenha ou lareiras, limpeza, pêlos humanos e de animais de estimação, uso de aerossóis além de desgaste de materiais de construção (OFFERMANN et al., 1985) relacionadas por exemplo as paredes horizontais e verticais dos edifícios cobertas de várias texturas como papel de parede, carpete, madeira (ABADIE et al., 2001).

O ambiente interno contém uma grande variedade de partidos e fontes de partículas. A combustão gerada surge do fumo do tabaco, uso de aparelhos de combustão não ventilados (por exemplo, fogões a gás e aquecedores a querosene) e fogões a lenha ou lareiras. Outras fontes incluem a infiltração de partículas externas, cozimento, limpeza, pêlos humanos e de animais de estimação, uso de aerossóis e o desgaste e descarte de materiais de construção. As partículas podem ser intrinsecamente tóxicas devido às suas características químicas ou físicas (por exemplo, chumbo, amianto) ou podem atuar como transportadoras de uma substância tóxica adsorvida (por exemplo, BaP, HCWO, progênie por radônio). As partículas de carbono, como as criadas pelos processos de combustão, são absorvedores eficientes de muitos compostos orgânicos e são capazes de transportar gases tóxicos, como o dióxido de enxofre, para os pulmões. Partículas de fumaça de tabaco são gotículas esféricas de centenas de produtos químicos condensados

O impacto à saúde dos seres humanos causado pelo material particulado está relacionado a sua granulometria (MORAWSKA et al., 2001), partículas de 10 µm ou menores também chamadas

partículas respiráveis (MP_{10}), de 2,5 µm ou menores também chamadas partículas finas ou inaláveis ($MP_{2,5}$) e de 0,1 µm ou menores também chamadas partículas ultrafinas ($MP_{0,1}$) adentram diferentes regiões do sistema respiratório e circulatório no corpo humano; além disso a composição química das partículas podem provocar diferentes desfechos (ACIÉRNAGAS, 2012).

O dióxido de nitrogênio (NO_2) corresponde ao grupo de gases chamados óxidos de nitrogênio (NO_x). O NO_2 é considerado o maior indicador desse grupo, é emitido principalmente pela queima de combustíveis, nas emissões de automóveis, caminhões, ônibus e centrais elétricas (fontes externas), além de fogões a gás entre outras fontes internas e tem conhecidos efeitos negativos na saúde humana (HAGENBJÖRK et al., 2017) como irritabilidade nas vias respiratórias, tose, sibilância, dificuldade para respirar, além de piorar doenças como a asma (EPA, 2017).

Outro tipo de poluente presente no ar são os bioaerossóis, compostos por partículas vivas (fungos, bactérias e vírus) conduzidas pelo ar como resultado da dispersão a partir de um local de proliferação (SRIKANTH; SUDHARSANAM; STEINBERG, 2008). Espaços contaminados com agentes biológicos como fungos geralmente são notados visualmente nas superfícies interiores, entretanto, é importante mencionar que os fungos também podem se desenvolver desapercebidamente nos ambientes internos provocando danos aos materiais internos e à saúde dos habitantes (HIGUERO et al., 2016) abarcando doenças infecciosas, alergias, e outros efeitos tóxicos (SRIKANTH; SUDHARSANAM; STEINBERG, 2008).

Contextualização da poluição do ar na RMGV

No Brasil, as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos para o ambiente externo até os anos 80 do século passado eram as indústrias, já na década dos 90 do mesmo século, os veículos automotores passaram a ser a fonte principal, geralmente, nas grandes cidades (TOLEDO; NARDOCCI, 2011). Entretanto, Vitória, capital do Espírito Santo, parte integrante da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) que possui em torno de 1,9 milhões de habitantes (IBGE, 2010), é altamente urbana e industrializada, e portanto, a qualidade do ar exterior é afetada pelas emissões de contaminantes provenientes de indústrias, complexo portuário e aeroporto, além daquelas provindas de veículos. Segundo o inventário de fontes realizado em 2010 na RMGV, o material particulado tem como principal fonte a ressuspensão de partículas em vias, a segunda fonte principal é o setor industrial minero-siderúrgico e a

terceira fonte mais relevante é o setor logístico que inclui portos e aeroportos, sendo a emissão dos veículos (no processo de combustão) menos significativa que as fontes anteriormente listadas (IEMA, 2013). Um estudo realizado por Santos et al. (2017) identificou as contribuições das principais fontes de material particulado sedimentável e mostrou que em algumas localidades da RMGV as maiores contribuições são provenientes da indústria minero-siderúrgica, em outras localidade provenientes da ressuspensão causada por tráfego de veículos e ainda, em outras localidades da combinação de construção civil, ressuspensão e combustão em veículos. Em outro estudo para a RMGV, Galvão et al. (2019) aprimorou a investigação por meio da análise combinada de marcadores orgânicos e inorgânicos em MP_{10} e $MP_{2,5}$. Os autores encontraram que cerca de 69% da massa de MP_{10} e $MP_{2,5}$ encontrados em bairros da cidade de Vitória são provenientes da indústria minero siderúrgica.

A qualidade do ar exterior na RMGV é monitorada por uma Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAR) composta por 8 estações desde o ano 2000 (FREITAS et al., 2016). Além da RAMQAR, há ainda, a Rede Manual de Monitoramento de Partículas Sedimentáveis também sob a responsabilidade do órgão de controle ambiental estadual. Os índices de qualidade do ar monitorados por essas estações apontam registros de episódios onde a recomendação da OMS não é atendida, principalmente, com relação ao MP_{10} e ao dióxido de enxofre (SO_2), os valores de concentração média horária de NO_2 não ultrapassaram a diretriz da OMS para curta e longa exposição da mesma maneira as concentrações de ozônio (O_3) e monóxido de carbono (CO).

A população da RMGV reporta elevados níveis de incômodo pela poluição do ar e de percepção de riscos à saúde ligados especialmente à poeira, 90% da população da RMGV se sente incomodada pela poluição do ar das quais 60% expressou estar “muito" e “extremadamente incomodada" (MACHADO et al., 2015). Outro estudo realizado na RMGV com crianças até 5 anos e adultos maiores de 39 anos demostrou que por cada incremento no ar de 10 $\mu g/m^3$ dos poluentes MP_{10}, SO_2 e O_3 o risco de hospitalizações cresce consideravelmente especialmente por doenças respiratórias, as internações por problemas cardiovasculares esteve relacionada com o incremento dos níveis de O_3 (FREITAS et al., 2016).

De acordo com o estudo concretizado por Nascimento et al. (2015), foi identificada uma associação positiva entre consultas ambulatórias e internações por doenças respiratórias agudas de crianças com até 12 anos na cidade de Vitória e a concentração de material particulado na

atmosfera, os resultados indicam que o aumento de 4,2 µg/m³ na concentração de partículas finas incrementa em 3,8% e 5,6% os riscos de atendimento ou hospitalização, respectivamente, no dia de exposição e até seis dias após o evento.

Objetivo geral do estudo

Assim, esta dissertação propõe avaliar a qualidade do ar no interior de ambientes escolares de ensino fundamental no munícipio de Vitória no estado do Espírito Santo. Será quantificada e identificada a contaminação microbiológica por fungos e serão analisados os níveis de concentração de NO_2, MP_{10}, $MP_{2.5}$ bem como a composição química do material particulado. Finalmente, será avaliada a relação entre a qualidade do ar nesses ambientes internos e no ambiente externo e as fontes contribuintes desses poluentes. Esse estudo auxiliará a avaliação da exposição de crianças aos poluentes atmosféricos contribuindo para a tomada de medidas preventivas, com a finalidade de diminuir doenças relacionadas à contaminação ambiental. É importante informar que este estudo é uma das partes integrantes do projeto denominado ASMAVIX 23068.022266/2017-81.

O projeto ASMAVIX objetiva avaliar a associação entre a qualidade do ar e sintomas de asma em crianças e adolescentes residentes na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo. O projeto é conduzido por dois grupos distintos e integradores: (1) grupo saúde e (2) grupo qualidade do ar. O grupo saúde é constituído por professores do Centro de Ciências da Saúde da UFES juntamente com colaboradores de outras instituições de ensino e objetiva o acompanhamento da saúde de crianças e adolescentes com asma a fim de obter os dados longitudinais necessários para a análise de possíveis associações causais. A coleta de dados da saúde é feita diretamente em contato com os indivíduos, bem com seus pais ou responsáveis. Esses dados são constituídos de várias covariáveis, incluindo análise de genes que, em outras populações, mostraram associação com o aparecimento ou gravidade da doença. O grupo qualidade do ar é constituído por professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico juntamente com colaboradores de outras instituições de ensino e objetiva o monitoramento, modelagem e análise da qualidade do ar interior e na região de interesse (MP_{10}, $MP_{2.5}$, SO_2, CO, O_3, e NO_x) a qual a população investigada está exposta.

Organização geral deste manuscrito

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. Após esta Introdução, são apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo. O Capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica sobre qualidade do ar de interiores, as principais fontes, poluentes e trabalhos correlatos a este estudo com a finalidade de apresentar uma revisão de literatura sobre o tema. O Capítulo 4 descreve a Metodologia aplicada no estudo para o cumprimento dos objetivos propostos, apresentando a região de estudo, as escolas selecionadas considerando suas características gerai, a população de interesse e da faixa de renda dos bairros onde estão localizadas as escolas. Além disso, o Capítulo 4 descreve ainda o planejamento do experimento de campo, as amostragens e as análises laboratoriais. Os Resultados obtidos são apresentados no Capítulo 5 e as conclusões e recomendações para trabalhos futuros no Capítulo 6.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a qualidade do ar no ambiente interior em escolas municipais de ensino fundamental.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar os níveis de concentrações de poluentes (NO_2 e MP) em ambientes internos de escolas municipais de ensino fundamental em Vitória no estado do Espírito Santo;
- Identificar a composição química do material particulado (MP_{10} e $MP_{2.5}$) nesses ambientes internos;
- Quantificar e identificar a contaminação microbiológica por fungos nesses ambientes internos;
- Avaliar a relação entre a qualidade do ar nesses ambientes internos e no ambiente externo.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos e o estado da arte referentes a qualidade do ar em ambientes internos, principais fontes internas de contaminação, poluentes representativos na poluição de ambientes internos e seus efeitos na saúde.

3.1. Qualidade do ar interior e a síndrome da edificação doente (SED)

O ar interno refere-se ao ar que circula em áreas não industriais, como residências, hospitais, escolas, escritórios e outros. Estudar a sua qualidade é o primeiro passo para garantir o bem-estar e, consequentemente, a saúde dos ocupantes dos edifícios e, ao mesmo tempo, um bom desempenho das suas atividades (SCHIRMER et al., 2011).

O termo qualidade do ar interior tornou-se conhecido nos anos 70 do século passado, a partir da crise energética e da construção de edifícios com ventilação artificial nos países desenvolvidos, principalmente os de clima frio. Ao longo dos anos, identificou-se que a troca de ar nesses ambientes mais vedados, era uma das causas do aumento da concentração de poluentes no ambiente interno. Além da redução da troca de ar, as atividades realizadas pelos ocupantes dos prédios influenciam o aumento da concentração de poluentes biológicos e não biológicos no ar interno (SCHIRMER et al., 2011).

O ser humano passa boa parte de seu tempo respirando o ar de espaços fechados que podem ter sua qualidade deteriorada devido a geração de poluentes a partir de diversas fontes, constituindo um importante fator de risco para a saúde da população em geral. As pessoas passam mais do 80% de seu tempo em ambientes internos (residências, escolas, escritórios, hospitais, além de meios de transporte) de modo que a qualidade do ar dos ambientes interiores se torna um fator de muita influência na afetação da saúde dos habitantes (CARAZO et al., 2013).

A qualidade do ar que respiramos é de muita importância para nossa qualidade de vida, pois essa pode ser a causadora de muitas doenças que prejudicam tanto a saúde quanto o conforto. Em grande parte, as residências são os locais onde os níveis de poluentes são maiores, sendo que muitos dos materiais de construção dos prédios e as atividades executadas nos lares são as principais fontes de contaminação, além da influência do ar exterior, muitas pessoas não estão cientes de que o ar interno pode estar entre 2 a 5 vezes mais poluído que o ar externo (HIGUERO et al., 2016).

Os efeitos na saúde devido à poluição atmosférica podem se agravar dependendo da susceptibilidade da população, sendo, portanto, importante ter uma avaliação das populações em risco, tais como, crianças, idosos, jovens, pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares, pessoas com ambientes de trabalho poluídos e fumantes. Geralmente, essas grupo de pessoas mencionadas anteriormente são mais sensíveis aos níveis de poluição do que pessoas consideradas saudáveis (GODISH, 1997).

O ar poluído dentro de ambientes fechados é a terceira causa da redução dos anos de vida das pessoas em todo o mundo (OMS, 2016). Nos lares, existem inúmeras fontes de poluição do ar que diferem de um lugar para outro. Essas fontes podem estar relacionadas, por exemplo, com o ato de fumar em ambientes fechados, materiais de construção utilizados em reformas ou construções, aquecimento e iluminação, combustíveis utilizados para cozinhar, uso de incenso, repelentes, pesticidas, fragrâncias artificiais, produtos químicos de limpeza, entre outras fontes que geram poluentes que afetam a qualidade do ar interior (APTE; SALVI, 2016). Os fatores que afetam a qualidade do ar em ambientes internos (Tabela 1) considerados nesse tipo de estudos podem ser classificados de acordo com sua natureza biológica, química e física. A contaminação em ambientes fechados e a exposição humana são processos altamente dinâmicos (BASIŃSKA et al., 2019). A Figura 1 apresenta os principais mecanismos de ação das partículas finas às doenças, enquanto a Figura 2 mostra os efeitos de outros poluentes presentes na atmosfera nas diferentes partes do corpo humano.

Quadro 1. Fatores ambientais

FATORES BIOLÓGICOS	FATORES QUÍMICOS	FATORES FÍSICOS
Mofo	Monóxido de carbono	Temperatura
Bactérias	Compostos orgânicos Voláteis COVs	Umidade relativa
Fungos	Dióxido de enxofre	Ventilação
Leveduras	Ozônio	Acústica
Ácaros	Dióxido de nitrogênio	Iluminação
Vírus	Húmus	Gás radônio
	Gases	Eletricidade estática
	Odores	Campo elétrico alternado
		Campo eletromagnético

Fonte: Higuero, (2016).

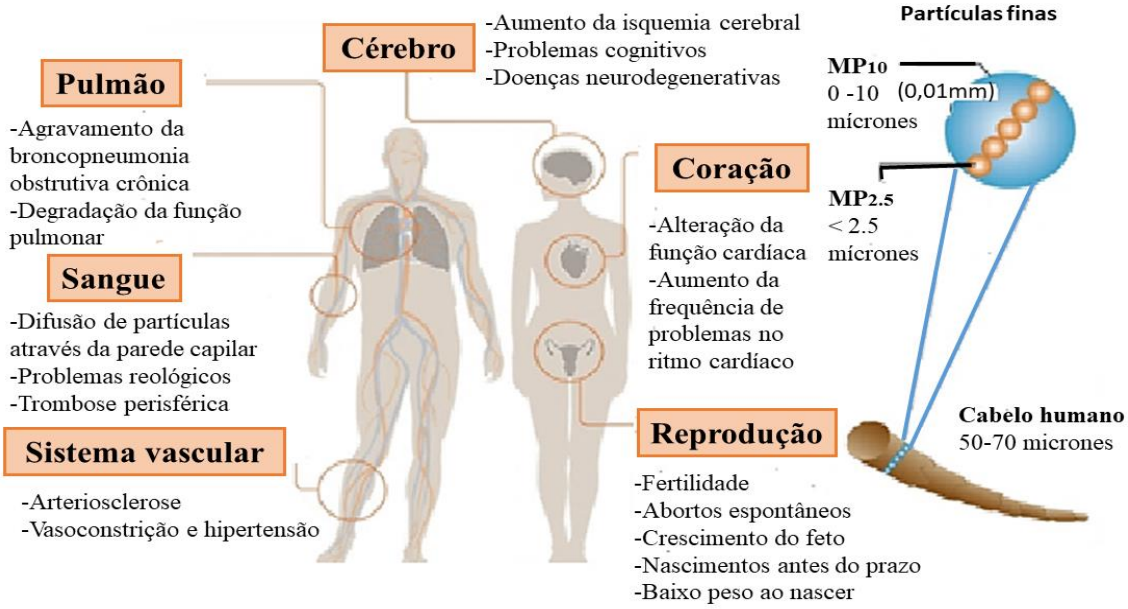


Figura 1. Sintomas e doenças relacionadas as partículas finas no ar interior.
Fonte: Agencia Europeia de Meio Ambiente, (2014).

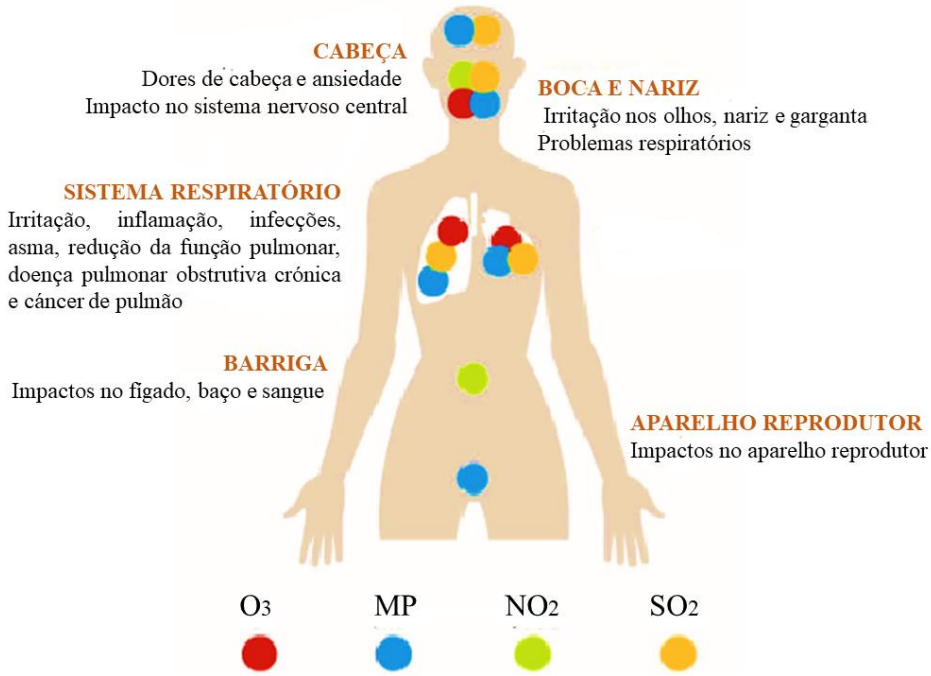


Figura 2. Efeitos dos poluentes atmosféricos no corpo humano.
Fonte: Divisão de Vigilância em Saúde Ambiental-DVISAM, (2018).

Utilizar edificações seja como residência, lugar de trabalho, lugar de ensino entre outros torna possível o desenvolvimento de moléstias e sintomas, um plano de manutenção deficiente das edificações pode reduzir a qualidade de ar interior, a presença de diferentes poluentes podem

afetar a saúde das pessoas e sua qualidade de vida (SÁEZ, 2017). A síndrome da edificação doente (SED) faz referência a uma série de circunstâncias que levam os ocupantes dos prédios a perceberem efeitos na saúde ou desconforto relacionados ao tempo de exposição dentro da edificação, isso pode ocorrer numa sala específica ou na edificação completa (EPA, 1991) trazendo como consequência no caso de ambientes de trabalho e/ou estudo, afastamento e baixa produtividade (LOAIZA, 2014) que torna um problema de saúde ocupacional (SOUSA, 2017).

Uma edificação é considerada doente quando mais de 20% das pessoas que moram ou trabalham na edificação expressam ter sintomas que afetam as vias respiratórias, problemas dermatológicos, oculares e sistémicos como (congestão nasal, coceira nos olhos, pele seca), que desaparecem ou reduzem ao sair da edificação (INSHT, 1991), isso pode afetar a qualquer pessoa que permaneça na área ou edificação (PASSARELLI, 2009). A SED pode se produzir, por exemplo, pela escassa renovação de ar interior, presença de materiais voláteis, compostos químicos e biológicos (dióxido de carbono, monóxido de carbono, fibras, partículas suspensas) atividades internas, hábitos das pessoas, o entorno exterior do edifício, entre outras (SÁEZ, 2017).

Para detectar o problema, é importante fazer uma análise da edificação e dos seus ocupantes, para minorar consequências é preciso avaliar o desenho, construção e manutenção dos sistemas de ventilação, do ambiente interior/exterior e dos aspectos psicossociais das pessoas que frequentam a edificação (LOAIZA, 2014). A síndrome não pode ser diagnosticada para somente uma pessoa, mas para as pessoas (ou uma parte das pessoas) ocupantes da edificação (SOUSA, 2017).

3.2. Principais fontes de emissão

São inúmeras as fontes de poluição presentes em ambientes fechados que afetam a qualidade do ar interior como pode ser observado na Tabela 2. Essa fontes podem estar relacionadas a sistemas de ventilação inadequados, atividades dos habitantes e produtos utilizados nas edificações (ato de fumar, efluente do corpo, compostos químicos de móveis, equipamentos, materiais de limpeza, além de cortinas, carpetes, etc), infiltração proveniente do ambiente exterior, (veículos, emissões industriais), microrganismos (bactérias, fungos) e materiais de construção (tintas, etc) (DA COSTA; FERREIRA, 2006).

Muitos dos problemas da poluição do ar nos lares estão ligados à atividades e situações como o fumo do tabaco; produtos de combustão para cozinhar e aquecer; o uso de biomassa; baixa ventilação, além da presença de móveis; produtos domésticos, tais como fontes de metais pesados (chumbo e mercúrio), como pó de chumbo emitido por tinta antiga (MOLINA; CUBA, 2006), o mercúrio pode se encontrar em produtos como baterias, termômetros barômetros, interruptores, relés elétricos, lâmpadas, etc (WHO, 2011).

Quadro 2. Principais fontes de poluição.

Categoria	Característica e elementos relacionados	Origem	Poluente
Poluentes procedentes do ambiente exterior	* Localização do edifício	Combustão (trânsito, caldeiras)	CO, CO_2, NOx, SOx partículas, metais
		Indústrias	NOx, SOx, COVs
		Terra	Randon, poeira,
		Lixões, bacias hidrográficas, obras civis	Odores, poeira, insetos, bactérias
Poluentes gerados no ambiente interior	* Distribuição do edifício		
	Áreas reprográficas	Fotocopiadoras	Ozônio
	Restaurantes e cozinhas	Combustão	Nox, odores
	Áreas de recreação	Combustão	CO, partículas, mofos
	Área de asseio e vestiários	Umidade / drenos	Odores
	* Materiais de construção e elementos decorativos	Isoladores, aglomerados, tapetes, vernizes, tintas	Amianto, Randon, COVs, poeira, formaldeído, ácaros
	*Instalações e infraestrutura	Climatização e ventilação	Legionella, odores, fibras, amianto, COVs, bactérias, fungos, roedores
		Rede distribuição de água	
		Rede de saneamento	
		Lixeiras	
Poluentes gerados pelos habitantes e suas atividades	* Hábitos	Respirar, fumar	CO_2, fumaça de cigarro
	* Manutenção e reformas	Limpezas, desinfecção, detização, ambientadores	Amianto, poeira, biocidas, químicos, fungos, ácaros, bactérias, roedores
Desconforto térmico	* Ar condicionado e aquecimento	Ar condicionado, ventilação e aquecimento	Umidade relativa, temperatura, barulho
	* Equipamentos	Equipamentos informáticos, telas, fiação elétrica	Vibrações e campos eletromagnéticos

Fonte: Adaptada de DGSP (2018).

Alguns poluentes, como o monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio em grandes quantidades em ambientes internos, geralmente vêm de fontes de processos de combustão em ambientes mal ventilados e baixa manutenção dos equipamentos, além do consumo de tabaco. Se aquecedores de ar a gás e aquecedores de água funcionam normalmente, não liberam os produtos da combustão, no entanto, pode haver um escape e refluxo de gases em aparelhos defeituosos quando a sala é despressurizada devido à confluência dos sistemas de exaustão e das condições meteorológicas.

A fumaça do cigarro emite milhares de contaminantes que dependerão do tipo de cigarro e das condições de produção de fumaça, os principais poluentes são a nicotina, HAP (hidrocarboneto aromático policíclico), CO, CO_2, NO_x, acroleína, formaldeído e cianeto de hidrogênio (GUARDINO, 2010).

Guardino (2010) menciona que entre os materiais de construção que produzem poluentes no ar em interiores, foram identificados painéis baseados em madeira contendo resina de formaldeído úrico, além de materiais isolante de paredes. Vários revestimentos de piso, parede e móveis emitem em sua maioria compostos orgânicos voláteis (COV), hidrocarbonetos geralmente alifáticos e aromáticos. Os compostos usados para preservar a madeira da exposição atmosférica e também os biocidas para protegê-la de insetos são uma importante fonte de pentaclorofenol e lindano no ar e na poeira dentro dos edifícios.

Alguns produtos como aerossóis, solventes, adesivos, tintas além de todo tipo de inseticidas também influenciam os níveis de compostos orgânicos voláteis no ambiente interno. Vale também ressaltar que a intervenção do ambiente externo tem grande influência nos tipos de poluentes presentes no ar interior e as concentrações médias observadas (GUARDINO, 2010). A Figura 3 ilustra as diferentes fontes e poluentes gerados no meio externo e interno.

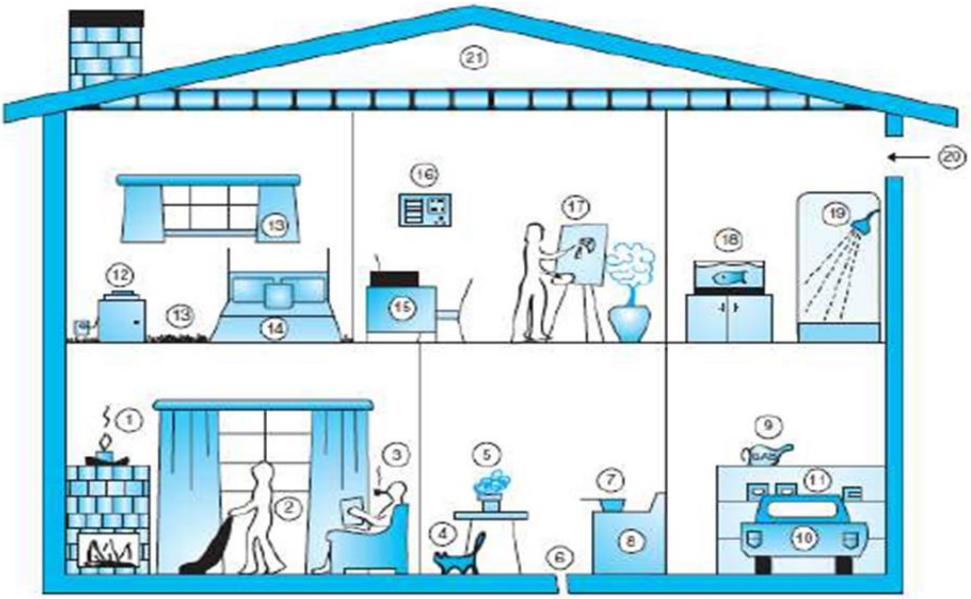


Figura 3. Principales fuentes de contaminantes en ambientes internos. 1: chimeneas, velas e inciensos; 2: pasar la aspiradora y limpiar; 3: humo de cigarrillo; 4: mascotas; 5: macetas de plantas; 6: insectos, radón y metano; 7: cocción; 8: aparatos a gas; 9: combustible almacenado; 10: vehículos; 11: pinturas, solventes, etc.; 12: humidificadores; 13: cortinas y alfombras; 14: ropa de cama y mobiliario; 15: computadoras/impresoras; 16: aires acondicionados; 17: hobbies; 18: peceras; 19: duchas; 20: aire externo; y 21: aislamiento
Fonte: (PHALEN; PHALEN., 2013).

3.3. Principais poluentes

De forma geral, tem-se classificado como poluentes do ar interno os seguintes elementos: material particulado (MP), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), ozônio (O_3), radônio, chumbo, compostos orgânicos voláteis (COV) e contaminantes microbiológicos como fungos, bactéria, ácaros e outros. Nesta seção são discutidos apenas os poluentes alvo do presente estudo: material particulado (item 3.4.1), dióxido de nitrogênio (item 3.4.2) e fungos (item 3.4.3).

Material particulado

Aerossóis ou partículas suspensas são um grupo de substâncias ou materiais sólidos ou líquidos de dimensões relativamente pequenas para se manter em suspensão na atmosfera durante algum tempo. Segundo Seinfeld e Pandis (2006), denominam-se partículas primárias aquelas que são emitidas diretamente da fonte e secundárias aquelas que se originam mediante aglomeração com outras partículas ou condensação de gases aquecidos. Os aerossóis têm diversos tamanhos, propriedades físico-químicas diferenciadas e níveis de toxicidade variados.

Existem várias modas referentes aos tamanhos das partículas e seu processo de formação (PACYNA, 1995) como pode ser observado na Figura 4:

- Nucleação: composta de partículas de diâmetro inferior a 0.08 µm, sendo conhecidas como ultrafinas as menores que 0.01 µm. Nessa faixa, as partículas são produzidas por processos de condensação de vapores quentes ou transformação de gases para partículas.
- Acumulação: composta por partículas de diâmetro entre 0.08 µm e 2.5 µm contendo a maioria do aerossol em massa, são produzidas na coagulação de partículas da faixa de nucleação além da condensação de vapores em partículas já existentes, provocando o crescimento do tamanho da mesma.

Na Figura 5, pode-se observar uma distribuição granulométrica do material particulado associado à sua composição química ou biológica.

O material particulado dependendo de seu tamanho pode atingir porções mais profundas do trato respiratório, sendo causa principal de muitas doenças (CÉSAR et al., 2016). Assim, o potencial de prejuízo à saúde do homem está diretamente relacionado ao tamanho da partícula, isto é, partículas com diâmetros menores geram maiores efeitos na saúde. As partículas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm são representadas como MP_{10} e denominadas "partículas inaláveis" essas tendem a ficar no trato respiratório superior enquanto que as partículas de diâmetro menor ou igual a 2.5 µm ($MP_{2.5}$), chamadas "partículas respiráveis" ou “partículas finas”, podem penetrar mais profundamente até chegar aos bronquíolos (EPA, 2011). A Figura 6 amostra a deposição das partículas no aparelho respiratório.

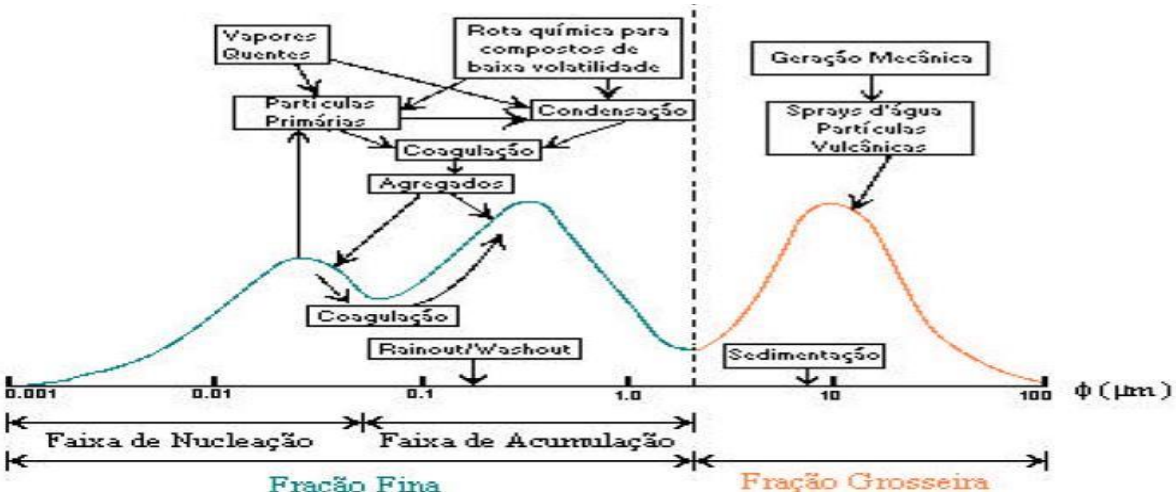


Figura 4. Distribuição dos aerossóis, mecanismos de formação.
Fonte: Sienfeld, Pandis (2006)

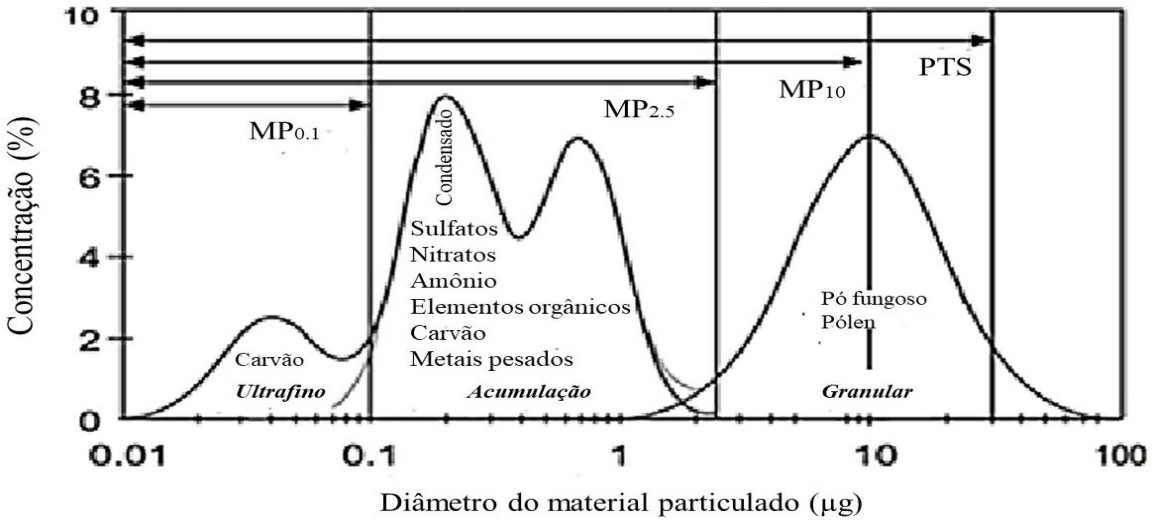


Figura 5. Distribuição típica das partículas na atmosfera.
Fonte: Watson & Chow (2000).

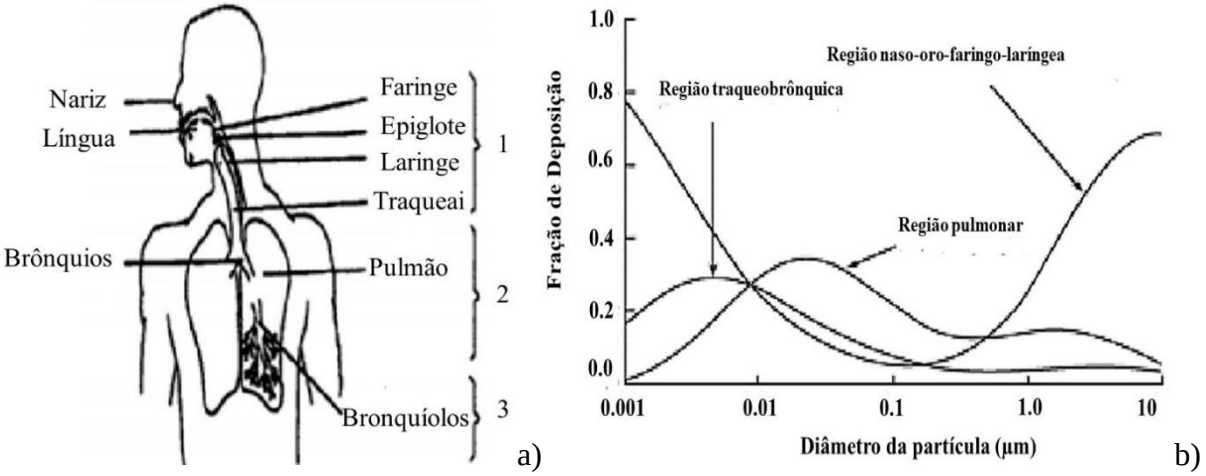


Figura 6. (a) Regiões do sistema respiratório e (b) frações depositadas em diferentes porções do sistema respiratório.
Fonte: Brickus & Aquino (1999) e Yeh et al. (1996).

Caracterização química do material particulado

O material particulado pode ser composto por sulfatos, nitratos, amônio, material orgânico, espécies crustais, sal marinho, óxidos metálicos, íons hidrogênio e água, dos quais sulfato, amônio, carbono orgânico e elementar e certos metais de transição estão presentes no material particulado fino, já metais da crosta terrestre como, silício, cálcio, magnésio, alumínio e ferro, e partículas orgânicas biológicas (pólen, esporos, fragmentos de plantas) são próprias das partículas grossas. Aproximadamente 40 oligoelementos são achados em bio-aerossóis, elementos como ferro, chumbo e cobre registram concentrações maiores que elementos como cobalto, mercúrio e antimônio que presentam concentrações menores. De acordo com o tamanho da partícula e a fonte a composição química das partículas são diferentes, nos

processos mecânicos são geradas as partículas grossas as que consistem em poeira do solo, sal marinho, cinzas volantes, partículas de desgaste de pneus, já as partículas Aitken e modo de acumulação estão compostas por partículas primárias de fontes de combustão e material secundário de aerossol (sulfato, nitrato, amônio, orgânicos secundários) desenvolvidos por reações químicas que procedem da conversão de gás em partícula (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Assim como é importante caracterizar as partículas por tamanho é fundamental realizar sua caracterização química sendo possível avaliar os níveis de toxicidade em sua composição e identificar suas possíveis fontes (VIANA; DÍEZ; RECHE, 2011).

Elementos químicos no material particulado e sua influência na saúde

Como foi mencionado anteriormente metais também são componentes do material particulado principalmente dentro do material particulado fino (MPF ≤ 2.5 μm) o qual provavelmente seja o mais tóxico (CHEN, Lung Chi; LIPPMANN, 2009) associado com a combustão de combustíveis como gasolina, diesel, carbão, petróleo, madeira, além de materiais da costra terrestre (pó do caminho e partículas do chão), sal marinha e partículas biológicas (GENT et al., 2009), o foco de estudo geralmente é centrado em metais como ferro (Fe), vanádio (V), níquel (Ni), cromo (Cr), cobre (Cu) e zinco (Zn) devido a sua potencial atividade oxidativa e a sua capacidade para gerar espécies reativas de oxigênio (ROS) (CHEN, Lung Chi; LIPPMANN, 2009).

Estudos realizados indicam a presencia de metais dentro do ar ambiente (material particulado), menciona-se entre os elementos que afetam a saúde humana o chumbo (Pb) e Zn, a evidencia é baseida em dados de concentração dos componentes do material particulado do ar ambiente, análises feitos de dados disponíveis levam a conclusão de que o Ni é um dos componentes influentes do MPF ao falar de respostas cardíacas devido a inalação de MPF no ar ambiente, assim como o V de indústrias siderúrgicas, já outras misturas de acordo a fontes como combustão de carvão que contém geralmente Se, Fe e Mn e ressupensão do solo são determinados menos tóxicos. (CHEN, Lung Chi; LIPPMANN, 2009). Entre os efeitos na saúde relacionados ao pó da crosta terrestre, solo, estradas e fontes veiculares de material particulado está que acrescentaram sintomas respiratórios principalmente na população vulnerável como crianças asmáticas (GENT et al., 2009) além de uma diminuição do pico de fluxo expiratório

em pessoas adultos com asma, relacionadas com material gerado por fontes de combustão locais (Cu, Mn, Fe, Zn) (PENTTINEN et al., 2006).

Dióxido de nitrogênio

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um gás avermelhado e tóxico que pode ser emitido diretamente para a atmosfera ou se formar a partir da oxidação do monóxido de nitrogênio (NO), a soma do NO_2 e NO é representada como óxidos de nitrogênio (NOx). Os NOx são compostos gerados por fontes naturais como vulcões, queima natural de biomassa e atividade bacteriana, mas também por fonte antropogênicas como veículos, usinas termoelétricas e processos de combustão nas indústrias. Esse poluente participa na formação chuva ácida, além do *smog* fotoquímico (ALLOWAY; AYRES, 1994). Nos ambientes internos, geralmente a presença do poluente está relacionado principalmente a infiltração do ar exterior na edificação, somando também as fontes internas como fogões a gás, cigarro e aquecedores com querosene (BRAGA et al., 2001).

De acordo com a OMS (2013) e EPA (2015), o dióxido de nitrogênio pode promover ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral, o composto reage com todas as partes do corpo exposta, mucosas e pele sendo que pode provocar lesões celulares (DÍAZ et al., 2004), um dos seus principais efeitos adversos está relacionado às vias respiratórias, sobretudo atinge as porções mais periféricas do pulmão por sua baixa solubilidade (BRAGA et al., 2001; MARTIN et al., 2016). No caso de uma intoxicação grave, pode ocasionar traqueítes e bronquites crônica, broncopneumonias químicas ou infecciosas (DÍAZ et al., 2004) ou ainda edema pulmonar, hemorragias alveolares e insuficiência respiratória até chegar ao óbito. A população mais sensível as altas concentrações de NO_2 são as crianças e as pessoas asmáticas os quais podem sofrer graves complicações respiratórias (DE SOUSA, 2007), foram também evidenciadas internações pediátricas por pneumonia devido a uma exposição a NO_2 (NEGRISOLI; NASCIMENTO, 2013).

Fungos

Os contaminantes microbiológicos são qualificados como material particulado de origem biológica, também chamado de bioaerossol, abarcando bactérias, fungos, ácaros, vírus e outros com tamanhos entre 0.01 a 100 µm (BARDANA, 2003). Os ambientes internos geralmente contêm um grande número de material biológico, entre eles os mais comuns são os fungos e

bactérias. Os esporos fúngicos estão presentes nos ambientes externos e internos (HERRERA et al., 2015). Espécies de fungos comuns no ar exterior e interior (Tabela 3) como *Alternaria, Penicillium, Aspergillus y Cladosporium spp*, estão ligadas com doenças alérgicas respiratórias como a asma (OMS, 2009). De acordo com Johanning e Yang (2007), os esporos estão presentes em muitos ambientes internos, que podem oferecer condições ideais de umidade e temperatura para germinação e crescimento. A própria presença de pessoas dentro das edificações pode ser um parâmetro de muita importância na concentração de fungos na ausência de fontes internas ou externas relevantes (KALOGERAKIS et al., 2005). A proliferação dos fungos no interior das edificações é uma das principais razões pelas quais as pessoas desenvolvem várias doenças tais como alergias, rinites, asma e outras (SARICA et al., 2002), além disso a presença de fungos causa danos abundantes nas edificações, principalmente na madeira (OMS, 2009), espécies como *Clasdosporium* e *Penicillium* infestam todo tipo de superfícies de madeira (KHAN; KARUPPAYIL, 2012). A maior parte dos fungos dos ambientes internos são saprófitos que obtém o que precisam para seu metabolismo dos materiais mortos, matéria orgânica e substratos da madeira, papel, pintura, solo, pó, pele e alimentos (ALBRIGHT, 2001).

O impacto na saúde humana dos bioaerossóis fúngicos, depende de vários fatores, incluindo: a capacidade infecciosa do microrganismo, seu gênero, seu tamanho de partícula (fragmento de esporos ou hifas) e sua concentração no ar (BLAIS-LECOURS et al., 2015). Os poluentes biológicos afetam negativamente as vias respiratórias altas e baixas mediante reações imunológicas ocasionando infecções (OYARZÚN, 2010). Cao et al. (2014), Nieguitsila et al. (2007), Spicer e Gangloff (2010) e Uk Lee et al. (2016) concordam que a exposição a esporos de fungos ou fragmentos de hifa está associada a vários tipos de problemas de saúde humana, tais como: irritação, rinite alérgica, asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, aspergillose, infecções, entre outros.

Quadro 3. Principais fungos causantes de asma e rinites.

Alternaria	*Geotrichum*	*Serpula*
Aspergillus	*Mucor*	*Stachybotrys*
Cladosporium	*Penicilium*	*Stemphylium/Ulocladium*
Eurotium	*Rhizopus*	*Wallemia*
Fusarium	*Rhodotorula/Sporobolomyces*	

Fonte: Guardino, 2010.

Em ambientes saudáveis pode haver uma variação na ordem entre os gêneros encontrados, mas sempre o *Cladosporium* predomina sobre outros. Por outro lado, os edifícios dominados pelos gêneros *Penicillium e Aspergillus* indicam a existência de um número significativo de fontes internas e prováveis edifícios doentes (CABRAL, 2010a; HAAS et al., 2014). O Quadro 4 apresenta os principais fungos de interesse encontrados em ambientes internos e identifica suas fontes prováveis.

Quadro 4. Poluentes microbiológicos fúngicos de interesse no ar interior.

Nome da categoría	Fungos na categoría	Características
Fungos da superfície foliar (filoplano)	*Altenaria spp.* *Cladosporium spp.* *Epicoccum spp.*	Fontes externas (crescimento em superfícies foliares).
		Fontes internas possíveis, mas menos comuns do que para as outras categorias de fungos.
		A presença no ar interno geralmente reflete a ventilação de ar externo.
Fungos do solo	*Aspergillus spp.* *Penicillium spp.*	Fontes externas (crescimento no solo) e possíveis fontes internas
		Presença no ar interior geralmente refletido por ventilação do ar externo e a contribuição de fontes interna no caso existam
Necessidade de água (fungos hidrofílicos)	*Aspergillus fumigatus spp.* *Botrytis spp.* *Fusarium spp.** *Stachybotrys spp.** *Sporobolomyces spp.* *Ulocladium spp.* *Zygomycetes*	Fontes externas (crescimento na matéria orgânica) e possíveis fontes internas
		Presença no ar interior geralmente refletido por ventilação do ar externo e a contribuição de fontes interna no caso existam
		Uma maior concentração interna pode indicar a presença de água em excesso
Fungos potencialmente toxigênicos	*Aspergillus flavus* *Aspergillus versicolor* *Fusarium spp.** *Stachybotrys spp.** *Aspergillus fumigatus**	Presença no ar interior geralmente refletido por ventilação do ar externo e a contribuição de fontes interna no caso existam
		Uma concentração interna é preocupante para a saúde dos habitantes
		Externas e possíveis fontes internas

*Grupos fúngicos incluídos tanto como fungos que requerem água como potencialmente toxigênicos: *Aspergillus, Fumigatus, Fusarium spp. e Stachybotrys spp.*
Fonte: EPA, 2018.

Legislação nacional e internacional

A qualidade do ar interior (IAQ) aos quais estão expostas as pessoas leva a uma preocupação de organizações governamentais, regionais e influentes em todo o mundo por causa de seu

impacto na saúde, fatores negligenciados e sem controle podem diminuir os níveis do IAQ. Assim, organizações, países e comitês influentes no mundo estabeleceram valores-padrão e diretrizes na procura do IAQ desejado, com a finalidade de limitar a exposição das pessoas a certos ares poluídos (ABDUL–WAHAB et al., 2015). As normativas nacionais e internacionais (Tabela 5) são fontes legais que estabelecem os limites permitidos de concentração de um poluente no ar durante um tempo médio de amostragem determinado com a finalidade de proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente (KORC et al., 2000).

Na atualidade são poucas as normativas estabelecidas em quanto a Qualidade do ar em ambientes internos não laboráveis, para ambientes laboráveis a base é muito maior pelo qual pode se tomar como referencia na hora de estabelecer limites.

Quadro 5. Principais padrões de ar interior

Poluente	BRASIL ANVISA (2003)	WHO (2010)	USEPA	CANADÁ (2014)	PORTUGAL (2009)
CO	1000 ppm	90 ppm (15 min) 25 ppm (1h) 10 ppm (8h) 50 ppm (30min)	9 ppm (8h) 35 ppm (1h)	25 ppm (1h) 10 ppm (24h)	10,7 ppm
CO_2					984 ppm
SO_2		20 µg/m^3 (24h) 500 µg/m^3 (10min)	0.030 ppm (1ano) 0.14 ppm (24h)		
NO_2		40 µg/m^3(1ano) 200 µg/m^3 (1h)	0.053 ppm (1ano)	480 µg/m^3 (1h) 100 µg/m^3 (24h)	
O_3		100 µg/m^3 (8h)	0.08 ppm (8h) 0.12 ppm (1h)	40 µg/m^3 (8h)	200 µg/m^3
COV					600 µg/m^3
MP_{10}		20 µg/m^3 (1ano) 50 µg/m^3 (24h)	50 µg/m^3 (1ano) 150 µg/m^3 (24h)		150 µg/m^3
$MP_{2.5}$		10 µg/m^3 (1ano) 25 µg/m^3 (24h)	15 µg/m^3 (1ano) 65 µg/m^3 (24h)	10 µg/m^3 (1ano) 28 µg/m^3 (24h)	
Fungos	750 UFC/ m^3	500 UFC/m^3		>50 UFC/m^3 Única espécie até 150 UFC/m^3 Diversas espécies até 500UFC/m^3 domínio Cladosporium	500 UFC/m^3

*ppm= partes por milhão ppb= partes por bilhão µg/m³ = micrograma por metro cúbico de ar UFC/m³= unidades formadoras de colônia por metro cúbico de ar.

Os poluentes comuns do ar interno que freqüentemente afetam as pessoas nos ambientes internos e que são considerados no momento de estabelecer normativas são o dióxido de carbono (CO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre

(SO_2), partículas em tamanhos < 2.5 e 10 μm ($MP_{2.5}$ e MP_{10}), além de poluentes de origem biológico como bactérias e fungos. O Quadro 5 apresenta os padrões de qualidade de ar interior estabelecidos pelas principais organizações ambientais e países que tem estabelecidos normativas de qualidade de ar interior.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) no ano de 1987 desenvolveu as primeiras diretrizes e seus padrões para a qualidade do ar interior estabelecidos em função dos riscos a saúde são dirigidos a todos os países do mundo, as primeiras publicações da OMS faz referência aos riscos biológicos aos quais estão expostos os habitantes em ambientes fechados abordando parâmetros como umidade, mofo, bactérias e fungos, logo foram estabelecidas diretrizes para os poluentes químicos internos, no caso do material particulado se recomenda utilizar os padrões estabelecidos para o ambiente externo. Contudo a OMS para todos os poluentes estabelece apenas diretrizes e não padrões obrigatórios, tendo os países a possibilidade de estabelecer o seu.

No continente americano Canadá é um dos países que desenvolveu diretrizes para IAQ baseado em estudos científicos que avaliam os riscos que ocasionam certos poluentes no ar interior analisando assim os níveis de exposição recomendado para não gerar efeitos negativos na saúde dos habitantes (HEALTH CANADA, 2014).

A Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) é uma agencia reguladora que reconhece a IQA mediante publicações onde apresenta detalhes técnicos, operacionais e legais que são necessários para implementar leis, as mesmas que são requisitos obrigatórios que podem se aplicar á pessoas, comércios, industrias, governos estatais e locais, entre outros (EPA, 2012).

Na Europa muitos países organizaram regulamentações próprias, por exemplo o Portugal o qual criou um programa de Certificação Energética de Climatização e Ar Interior onde os edifícios novos são auditados para comprovar que as concentrações de poluentes físico-químicos e microbiológicos estejam dentro dos limites estabelecidos (SCE, 2009).

Brasil desenvolveu a primeira medida de IAQ através da Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle de Qualidade de Ar de Interiores em 1995, porém foi até 1998 onde surgiu a necessidade de combater o chamado Síndrome do Edifício Doente devido ao falecimento do Ministro das Comunicações nessa época, o qual apresento um quadro clinico agravado pela

presencia de fungos instalados em dutos do sistema de climatização (INMETRO, 2013). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou em 2000 a Resolução nº 176 com a finalidade de avaliar a qualidade de ar interior utilizando parâmetros físicos, químicos e biológicos, já no ano 2003 a Resolução foi atualizada criando a Resolução nº 9 em substituição a anterior, a mesma que determina para ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo Padrões de Referência de Qualidade do Ar Interior em relação aos níveis de concentração de CO_2, material particulado total, fungos, temperatura, umidade e velocidade do ar (ANVISA, 2003).

3.4. Trabalhos correlatos

Aproximadamente nos anos de 1970 foram realizados os primeiros estudos científicos para determinar a qualidade do ar em ambientes internos (GUARDINO, 2010) a partir dessa década é possível encontrar trabalhos publicados os quais com o passar do tempo foram aumentando consideravelmente, atualmente esse tipo de estudos incluem técnicas mais complexas e acuradas de medição, entretanto, a quantidade de estudos especialmente vinculados com a qualidade do ar em escolas são menos frequentes. Esta revisão da literatura pretende abordar os trabalhos considerados mais relevantes relativamente aos objetivos desta dissertação.

Branco et al. (2019) realizou um estudo com o objetivo de quantificar poluentes do ar (CO_2, CO, HCOH, NO_2, O_3, COVs, MP_1, $MP_{2.5}$, MP_{10}, PTS) além de parâmetros meteorológicos/conforto em 63 microambientes (50 salas de aula, 2 quartos e 11 cantinas) na estação fria (outubro a março) e estação quente (abril a setembro) em creches e escolas primárias de áreas urbanas e rurais ao norte do Portugal avaliando características físicas, ocupação e padrões de atividade por 24 horas durante 9 dias consecutivos não simultâneos em cada sala selecionada considerando também o final semana. As medições para os compostos gasosos, parâmetros de conforto e partículas foram realizadas a cada minuto calculando ao final médias horárias e padrões diários para estabelecer diferença entre períodos de ocupação e não ocupação.

Os resultados obtidos por Branco et al. (2019) mostraram que as crianças apontaram desconforto térmico e foram detectados níveis de umidade inadequados, além de altos níveis de poluentes principalmente $MP_{2,5}$ e CO_2 na escolas nas áreas urbanas. As concentrações de CO_2, O_3 e $MP_{2.5}$ foram significativamente maiores na estação fria, enquanto as concentrações de CO,

NO_2 e COV foram significativamente maiores na estação quente. Somente valores de CO_2 e COV não mudaram significativamente segundo a localização da escola (urbano ou rural). As concentrações de CO_2, NO_2, COVs, MP, T e RH, variaram entre as salas de aula para lactentes, pré-escolares ou escolares primários. O MP não apresentou diferenças entre cantinas e salas de aula, o CO_2, CO, HCOH e COVs foram maiores nas salas e o NO_2 e O_3 nas cantinas. Nos períodos de ocupação as concentrações foram maiores na maioria dos poluentes com excepção da RH, NO_2 e O_3 que pareciam não ser dependentes da ocupação. Os autores realizaram uma correlação do Rank de Spearman que mostrou que não houve correlações fortes entre os parâmetros de conforto e os poluentes do ar interior (IAP), exceto entre frações de material particulado. Em suma, as crianças estão mais expostas nas áreas urbanas dependendo da época e dos padrões de ocupação. A atividade das crianças e os poluentes mais representativos foram $MP_{2,5}$ e CO_2, dentro dos determinantes significativos do $MP_{2.5}$ e CO_2 estiveram as características de construção, as salas de aula, além do aquecimento, matérias de pavimentação e níveis de T e RH.

Na investigação de Majd et al. (2019) foram avaliadas as concentrações internas de $MP_{2.5}$, NO_2 e CO em 16 escolas públicas urbanas da cidade Baltimore em duas salas de aula e duas áreas comuns (cafetaria, academia, biblioteca) durante três épocas (outono, inverno e primavera), duas semanas de amostragem para cada estação, uma sala e uma área comum por semana durante os cinco dias de atividades escolares, o material particulado foi mensurado por um Personal DataRam (Thermo Electron, Franklin, MA, USA) com registros de 5 min com vazão de 4 L/min, os gases, a temperatura e umidade foram medidos pelo Advanced Sense Pro (GrayWolf Sensing Solutions LLC, Shelton, CT, USA) de leitura direta em intervalos de 1 minuto. Os equipamentos foram colocados 1 m acima do solo, também foram colocados amostradores externos fora de cada escola (no telhado) com a finalidade de avaliar a contribuição do ar externo nos ambientes internos, além disso foi recolhida informação das características físicas da escola (tipo de construção, número de andares, aquecimento e ar condicionado, distância até a calçada, etc.) e nível do quarto (classe de sala de aula, de frente para a rua ou *playground*, sinal de danos por água, móveis usados, número de janelas e aberturas de ar, revestimento de piso, etc.) que foram utilizadas como variáveis explicativas na análise de regressão. Para a análise estatística foram utilizados os dados coletados do horário escolar (8:00 – 16:00 horas).

Os resultados apresentados por Majd et al. (2019) indicaram diferenças estatísticas principalmente nos gases de acordo ao tipo de ambiente interior e não nos valores de MP, as concentrações caíram dentro dos limites recomendados, entretanto, tiveram níveis fora das normativas (Organização Mundial da Saúde - OMS e Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenheiros de Ar Condicionado - ASHRAE) no caso do NO_2 e CO_2. A média horária da concentração de NO_2, teve o valor mais elevado no inverno, as concentrações médias diárias de $MP_{2.5}$ internas que superaram os limites (25µg/m^3) foram observados nas salas de aula. Semelhante ao ambiente interno, as concentrações de $MP_{2.5}$ e NO_2 no ambiente externo foram maiores no inverno; os ambientes dos andares superiores pareciam ter concentrações mais elevadas de $MP_{2.5}$ iguais que as salas de aula de crianças mais novas. Verificou-se que a exposição ao NO_2 no ambiente interior foi influenciada por fatores envolvidos nas características da edificação (rachaduras e buracos nas paredes, janelas quebradas e papel de parede ou pintura descascada), tipo de ventilação e por aumento do intervalo interquartil (IQR) no comprimento de todas as estradas em um raio de 100 m das escolas. Os níveis de CO foram associados com a proximidade aos locais de liberação toxica (industrias e ruas principais dentro de 2 km). A cerca dos parâmetros microclimáticos, a temperatura teve associação positiva com os níveis internos de MP e a umidade com o CO e também com $MP_{2.5}$.

Rivas et al. (2014) estudaram a poluição atmosférica interior e exterior em 39 escolas durante as horas escolares em Barcelona, foram avaliados poluentes como $MP_{2.5}$, NO_2, *black carbon* equivalente (EBC, indicador de emissões de tráfego) e partículas ultrafinas (UFP). As amostragens foram realizadas simultaneamente por uma semana no ambiente interno (salas de aulas) e ao ar livre (pátio) em uma escola de área urbana e outra situada bem perto do tráfego. Os equipamentos foram instalados numa altura na faixa dos 0.7 e 1.5 m acima do solo, a qualidade do ar foi monitorada de segunda-feira a sexta-feira de manhã, o $MP_{2.5}$ foi coletado em filtros de fibra de quartzo Pallflex 8 h por dia/filtro de 9:00 a 17:00 horas, a análise química elementar do MP foi feito por cromatografia no HPCL, além disso as UFP foram medidas em tempo real numa base de 5 a 10 minutos, finalmente, o NO_2 foi medido em médias semanais com dosímetros passivos ambientais de Gradko.

Nesse estudo, Rivas et al. (2014) utilizaram os valores médios para as horas escolares e encontraram altos níveis de material particulado ($MP_{2.5}$), dióxido de nitrogênio (NO_2), *black carbon* equivalente (EBC), concentração de partículas ultrafinas (UFP) em número e metais

relacionados ao tráfego rodoviário em playgrounds escolares e ambientes internos. Os valores no ambiente interno foram superiores aqueles no ambiente externo á escola para NO_2, UFP e EBC. Por outro lado, $MP_{2.5}$ foi superior nos ambientes internos onde identificou se fontes internas como fibras têxteis, culinária, além de Ca e Sr do pó de giz. Na parte externa das escolas as concentrações de $MP_{2.5,}$ UFP e NO_2 também são maiores de que as da estação fixa de referência de meio urbano de Palau Reial em Barcelona (UB-PR) a qual está exposta a emissões de tráfego da estrada (200 m); as concentrações de elementos identificados são maiores nos ambientes externos as escolas com exceção do OC, Ca, CO_2 e Sr que registram concentrações mais elevadas no interior. A variação espacial indica níveis maiores de EBC, NO_2, UFP e, parcialmente, $PM_{2.5}$ nas escolas do centro que nas da periferia de Barcelona. Além disso o estudo indicou níveis internos muito próximos aos externos das escolas, advertindo uma fácil penetração dos poluentes em ambiente fechados.

Com a finalidade de determinar a associação da qualidade do ar em 51 escolas com a prevalência de patologias alérgicas e respiratórias das crianças na cidade de Coimbra-Portugal Ferreira & Cardoso (2014) selecionaram as escolas fazendo uma comparação de indicadores genéricos, demográficos e sociais (dimensão, envolvência, atividades humanas, proximidade ao tráfego e atividades industriais), 32 localizadas em áreas urbanas, 17 medianamente urbana e 2 em zonas rurais. As amostragens foram realizadas em duas ocasiões (outono/inverno e primavera/verão) e foram monitorados a temperatura, umidade relativa, CO, CO_2, O_3, NO_2, SO_2, COV, formaldeído, MP_{10} e $MP_{2,5}$. Nos ambientes internos, as medições ocorreram duas horas após o início das aulas na posição central a uma altura de 1 m acima do solo entre 10:30 – 17:30 horas durante 30 min para material particulado, COV 15 s e para os restantes 60 s, durante uma semana, de acordo a dimensão das aulas fizeram-se até duas vezes por dia em cada sala, já no ambiente externo foram feitas as medições no espaço de recreio na mesma altura, os equipamentos utilizados foram portáteis e no tempo real específicos para cada poluente. As informações dos estudantes foram coletadas mediante questionários baseados em características familiares, habitacionais sintomas/doença e atividades físicas; as escolas foram divididas em duas categorias de acordo aos níveis de CO_2 (nenhum risco e risco).

No período de outono/inverno, Ferreira & Cardoso (2014) encontraram valores maiores de CO e CO_2 que na primavera/verão, mencionando que o CO_2 ultrapassou consideravelmente a concentração de referência do Decreto-Lei nº 79/2006 - Regulamento dos Sistemas Energéticos

de Climatização em Edifícios do governo português (984 ppm) indicando risco para a saúde das crianças nas salas de aula, enquanto para o formaldeído, as maiores concentrações foram registradas na primavera/verão. Os outros poluentes não mudaram significativamente nas duas épocas da amostragem. O_3, SO_2, COVs e MP_{10} (redução em primavera/verão) e um incremento bem insignificante do $MP_{2.5}$. As concentrações dos poluentes investigados estavam, em geral, dentro dos limites de referência da Lei Portuguesa nº 79/2006, CO (10.7 ppm), O_3 (0.10 ppm), COV (260 ppb), formaldeído (0.08 ppm), MP_{10} (0.15 mg/m^3). Nos ambientes, exceto para o CO_2 e com menor ultrapassagem COV e MP_{10}. Os sintomas/doenças mais presentes foram espirros, falta de concentração, sibilância tosse e rinite alérgica. Não se verificou uma associação significativa entre presença/ausência de asma e a exposição a salas de aula com/sem riscos à saúde, no entanto, 11.8% do total de crianças avaliadas eram asmáticas. Os autores concluíram que um dos principais inconvenientes nos locais de estudo é a fraca renovação de ar, a dimensão das salas e o excesso de ocupantes em cada sala, que são principalmente associados às concentrações elevadas de CO_2 que prejudicam a saúde das crianças.

Pagel et al. (2017) fizeram um estudo da qualidade do ar na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). A edificação fica a maior parte do tempo fechada com a finalidade de proporcionar aos pesquisadores apoio logístico e abrigo. Foram monitorados os níveis de aldeídos, partículas e fungos na EACF durante o verão Antártico de 2012. A área de estudo foi dividida em compartimentos condicionados (dormitórios, ginásio, biblioteca, sala de estar, cozinha e casas de banho) e não condicionados (oficina de manutenção da estação, geração de energia, incinerador, garagem, armazenamento e uma área de transição (TA) entre os setores operacionais) e locais ao ar livre. Todas as atividades humanas realizadas e materiais utilizados nos ambientes de monitoramento foram registradas. Para as amostragens dos aldeídos foram utilizados amostradores passivos Radiello (cartuchos), com campanhas de 7 dias em todos os ambientes e 3 dias na cozinha. As análises das amostras foram realizadas utilizando cromatografia líquida de alta performance/pressão (Shimadzu, CBM-20A) com detector de UV operando a um comprimento de onda de 365 nm. A qualificação e a quantificação dos 15 aldeídos foram realizadas por meio de comparações com o padrão TO11/IP-6A (código 47285-U – Supelco, Bellefonte, PA, EUA). Para medições de material particulado foi utilizado um espectrómetro óptico de aerossol a laser (LAS) que mede 31 faixas de tamanhos de diâmetros que variam de 0.25 mm a > 32 mm em uma frequência de 1 min. A concentração foi calculada em massa e número de partículas distribuídas por diâmetro durante 24 horas em todos os locais.

As medições dos fungos foram realizadas em três coletas em três dias mediante um amostrador de um estágio CF-6 Andersen impactor (Criffer, Brasil) com fluxo de ar (28.3 L/min) por 5 min utilizando placas Petri com ágar dextrose Sabouraud com 2% de glicose e cloranfenicol as colônias foram identificadas por macro e micromorfologia.

Como resultados, Pagel et al. (2017) obtiveram concentrações médias elevadas de formaldeído nos quartos, provavelmente devido a presença de madeira industrializada nos revestimentos e na mobília. Na cozinha foram detectados altos níveis de acrolelína e material particulado fino. Atividades como limpeza, uso de cosméticos, incineração, movimento de pessoas e veículos aportariam ao aumento das concentrações de partículas. As principais espécies de fungos identificadas foram *Aspergillus* versicolor e *Penicillium sp* provavelmente devido a edificação mostrar meios potenciais de proliferação fúngica.

O estudo de Pujol et al. (2016) teve como objetivo avaliar os efeitos da poluição do ar urbana na maturação cerebral de 263 crianças entre 8 e 12 anos utilizando indicadores de exaustão de veículos (carbono elementar (EC), dióxido de nitrogênio (NO_2) e número de partículas ultrafinas (UFP; 10-700 nm) medidos nas escolas, além de diagnóstico por imagens (ressonância magnética). Duas vezes durante períodos separados por 6 meses foram feitas as amostragens em cada escola (estação quente e fria), em uma sala de aula e no pátio de recreio. Foi avaliado o carbono elementar (EC) no material particulado $MP_{2,5}$ num período de 8 horas coletado em filtros mediante amostradores de grande volume utilizando a metodologia de transmitância ótica. O carbono elementar foi medido adicionalmente em cada sala de aula usando o MicroAeth AE51 (AethLabs). Para determinar as concentrações de dióxido de nitrogênio (NO_2) foram utilizados dosímetros passivos (Gradko) expostos por 4 dias em cada escola durante as duas campanhas obtendo uma medida; além disso, o NO_2 também foi medido com analisadores convencionais de quimiluminescência na estação externa de monitoramento de referência Palau Reial – Barcelona.

A escolha do EC e do NO_2 como indicadores da poluição por tráfego deveu se a sua relação com as emissões veiculares (de escape) em Barcelona. Os resultados obtidos indicam que os ambientes escolares em Barcelona são considerados apresentar valores de concentração desses indicadores de moderados a altos quando comparados com outras áreas. Não foi registrada nenhuma associação significativa entre poluição de ar e qualquer medida anatômica, estrutural ou metabólica do cérebro, mas a análise de imagem funcional mostrou resultados consistentes

nos quais foi descoberto que a poluição do ar estava associada à conectividade funcional mais fraca entre as regiões pertencentes ao DMN (isto é, entre o córtex frontal medial e o giro angular bilateralmente), indicando menor integração intra-rede. Nas escolas com níveis de poluição mais elevados as crianças mostraram menor integração funcional e segregação em redes cerebrais chaves, a idade e o desempenho (velocidade de resposta) apareceram com um efeito oposto ao da poluição na função cerebral, mostrando que maturação cerebral lenta está associada a uma maior exposição de poluentes. Os autores concluem que a poluição atmosférica urbana parece afetar a maturação cerebral em uma idade crítica, com mudanças específicas em relação ao domínio funcional.

Em 73 salas de aulas de escolas primárias na cidade de Porto em Portugal foram avaliados por Madureira et al. (2015), de acordo com o tamanho da escola, duas ou quatro salas foram avaliadas simultaneamente. As salas foram escolhidas preferencialmente pela alta intensidade de ocupação, o tempo de ocupação e diferentes níveis de piso, onde estudam crianças entre 8 e 10 anos. Níveis de concentração de COV, aldeídos, $MP_{2.5}$, MP_{10}, bactérias e fungos, dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), temperatura e umidade relativa foram medidos nos ambientes fechados e ao ar livre. Numa superfície plana e com uma atura de 1 a 1.5 m foram colocados os equipamentos, longe dos quadros, e no mínimo 1 m de distância das paredes e portas, no exterior os ambientes foram livres de alteração. Os COV foram coletados por adsorventes passivos Tenax durante cinco dias consecutivos e quantificados por cromatografia gasosa, para a amostragem dos aldeídos utilizados aparelhos passivos Radiello por uma semana analisados por cromatografia líquida (HPLC), fotômetros portáteis TSI DustTrak DRX (modelo 8533; TSI Inc) foram utilizados para avaliar concentrações de material particulado por 8 horas diárias, para bactérias e fungos utilizou-se um impactador de um estágio com Ágar tríptico de soja (suplementado com 0.25% cicloheximida) e ágar de extrato de malte (suplementado 1% de cloranfenicol) como meio de cultura respectivamente.

Madureira et al. (2015) encontraram concentrações de CO_2 superiores a 1000 ppm limites da ASHRAE-62, 2001, advertindo pouca ventilação. A maioria dos COV apresentava baixas concentrações, abaixo das respectivas diretrizes da OMS. As concentrações de material particulado e bactérias cultiváveis eram frequentemente mais altas que os valores de referência da OMS, $MP_{2.5}$ (25 µg m^{-3}), MP_{10} (50 µg m^{-3}). A variabilidade de VOC, aldeídos, concentrações de bactérias e níveis de CO_2 entre as escolas foi maior que a variabilidade entre as salas de aula

da escola. D-limoneno foi encontrado no interior e exterior (I/O >6) sugerindo fontes internas ou pouca renovação do ar como no caso de níveis altos de CO_2, da mesma maneira para MP_{10} (I/O >1). As concentrações de bactérias internas são mais altas quando comparadas aos níveis externos pode se explicar pela maior ocupação de espaços pequenos e padrão de comportamento das crianças, além de presença de plantas nas salas. A exposição a poluentes do ar interno, especialmente níveis mais altos de TVOC, $MP_{2.5}$ e MP_{10}, pode aumentar os sintomas respiratórios nas crianças. Houve uma diferença significativa entre os níveis interno e externo de bactérias, sendo maior em ambientes fechados (I/O >1), já as concentrações de fungos não tiveram diferenças significativas I/O. Níveis elevados de CO_2, $MP_{2.5}$, MP_{10} e bactérias podem estar associados a fontes de poluição ao ar livre, comportamento do ocupante, atividades de manutenção / limpeza e falta de ventilação.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta dissertação para atingir os objetivos propostos está apresentada em duas etapas: (*i*) Contextualização da área de estudo, contendo uma descrição geral do Município de Vitória e dos bairros Andorinhas e Maruípe onde estão localizadas as escolas selecionadas, com informação sobre a população, faixa etária e faixa de rendas. Apresentação das características principais das Escolas Municipais de Ensino Fundamental Izaura Marques da Silva (EMIM) e Eunice Pereira da Silveira (EMEP) selecionadas para o estudo. (*ii*) Descrição da campanha experimental, realizada no período da primavera do ano 2019, entre os dias 30 de setembro até o 30 de novembro. Apresentação do planejamento experimental, amostragens em campo (quatro semanas por escola), análise laboratorial e tratamento de dados.

4.1. Localização e descrição da área de estudo

A cidade de Vitória e os bairros Andorinhas e Maruípe

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) registra uma população de 1,6 milhões de habitantes, Vitória capital do estado do Espírito Santo faz parte desta região, possui uma população de 327.801 habitantes (IBGE, 2010), é dividida em 2 distritos (Vitória e Goiabeiras), subdividido em 9 regiões administrativas e 80 bairros. Limita-se ao norte com o município da Serra, ao sul com Vila Velha, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com Cariacica. Na Figura 7 pode se observar a Sede Municipal de Vitória e seus respectivos bairros, com destaque para a localização dos bairros de estudo: Andorinhas e Maruípe.

Andorinhas é um bairro de Vitória localiza-se ao nordeste da cidade, as margens do Canal de Camburi, próximo a ponte da passagem. O manguezal propriedade da Marinha foi invadido e recebeu o nome de Andorinhas pela existência de pedras no mangue onde pousavam muitas andorinhas, as primeiras moradias eram de madeira e aloja migrantes do interior do Estado do Espírito Santo, do Norte de Minas Gerais e do sul da Bahia (PREFEITURA VITÓRIA, 2018).

Segundo o censo 2010, a população total de Andorinhas é de 2.031 habitantes, a população masculina, representa 977 um total de 48.1% homens, e a população feminina, 1.054 um total de 51.9%. A faixa etária predominante é entre 25 e 64 anos de idade (54%), a faixa etária de interesse de 0 até 14 anos de idade representa o 20%, e a renda mensal do bairro é de R$1.673,92 (IBGE, 2010).

Já a ocupação do bairro Maruípe está relacionada principalmente à urbanização da Vila Maria, às parcelas da fazenda Maruípe, às glebas de herdeiros e invasão de morros e mangues. A origem do nome do bairro é atribuída ao mosquito de picada forte - Maruí de Maruim, sendo Maruípe "caminho de mosquitos". O bairro tem uma população de 3.859 habitantes, distribuída entre uma população masculina, representada por 1.789 habitantes em porcentagem 46,36% de homens, e a população feminina, 2.070 mulheres o seja um 53,64%.

A faixa etária predominante é dos 25-64 anos (56%), a faixa etária de interesse de 0 até 14 anos de idade representa o 15%, e a renda mensal do bairro e a renda mensal de R$3.961,52 no bairro de Maruípe (IBGE,2010).

As escolas selecionadas para o estudo

Nosso estudo faz parte integrante do projeto denominado ASMAVIX 23068.022266/2017-81 o qual tem como objetivo avaliar a associação entre a qualidade do ar e sintomas de asma em crianças e adolescentes residentes na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo. O projeto é conduzido por dois grupos distintos e integradores: (1) grupo saúde e (2) grupo qualidade do ar da UFES, a escolha dos bairros Andorinhas e Maruípe foi baseada na disponibilidade do sistema de saúde na localidade para participar do projeto, portanto, foram escolhidas escolas frequentadas pelas crianças que são atendidas nos postos de saúde participantes do ASMAVIX.

Na Figura 8, pode ser observada a localização das Escolas selecionadas, a estação de monitoramento da qualidade do ar, além as principais indústrias do entorno. As escolas selecionadas para este estudo são as Escolas Municipais de Ensino Fundamental Izaura Marques da Silva (EMIM) e Eunice Pereira da Silveira (EMEP) (Quadro 6).

Foram selecionados 6 ambientes internos por escola, EMIM (sala de aula 3, sala de aula 4, sala de aula 5, laboratório de informática, refeitório e biblioteca) (Figura 9) e na EMEP (sala de aula 1, sala de aula 2, sala de aula 3, laboratório de informática, refeitório e biblioteca) (Figura 10) totalizando nas duas escolas 12 ambientes monitorados. As salas foram escolhidas em função da disponibilidade, características e das diferentes atividades realizadas em cada uma delas (Quadro 7).

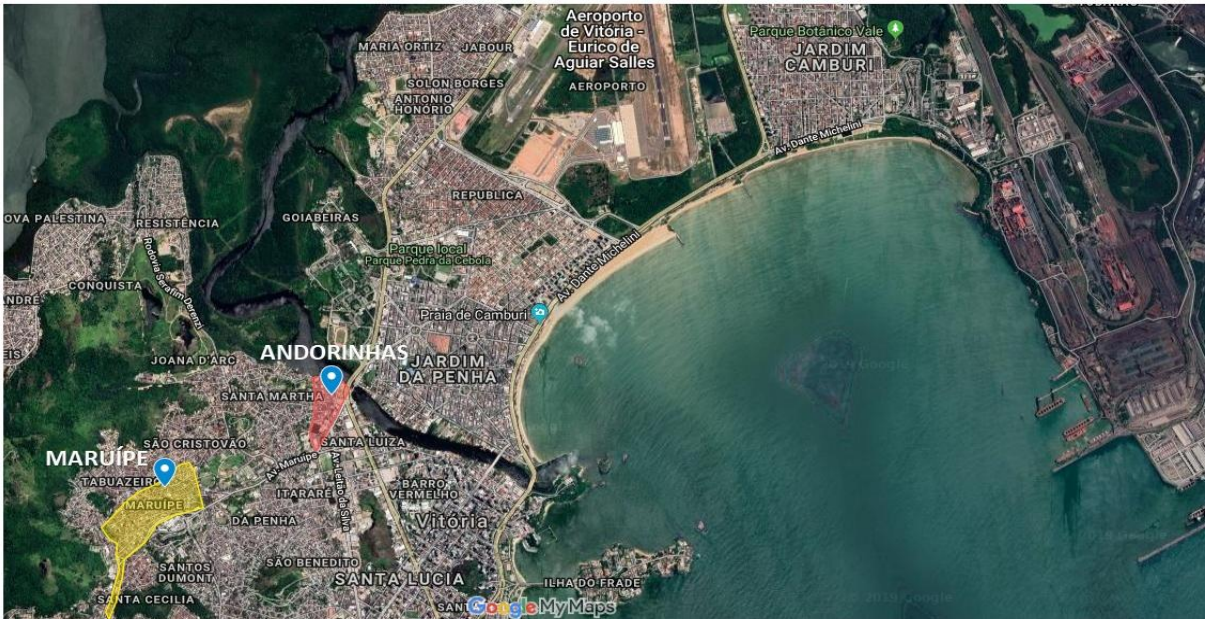


Figura 7. Localização dos Bairros de estudo na cidade de Vitória/ES

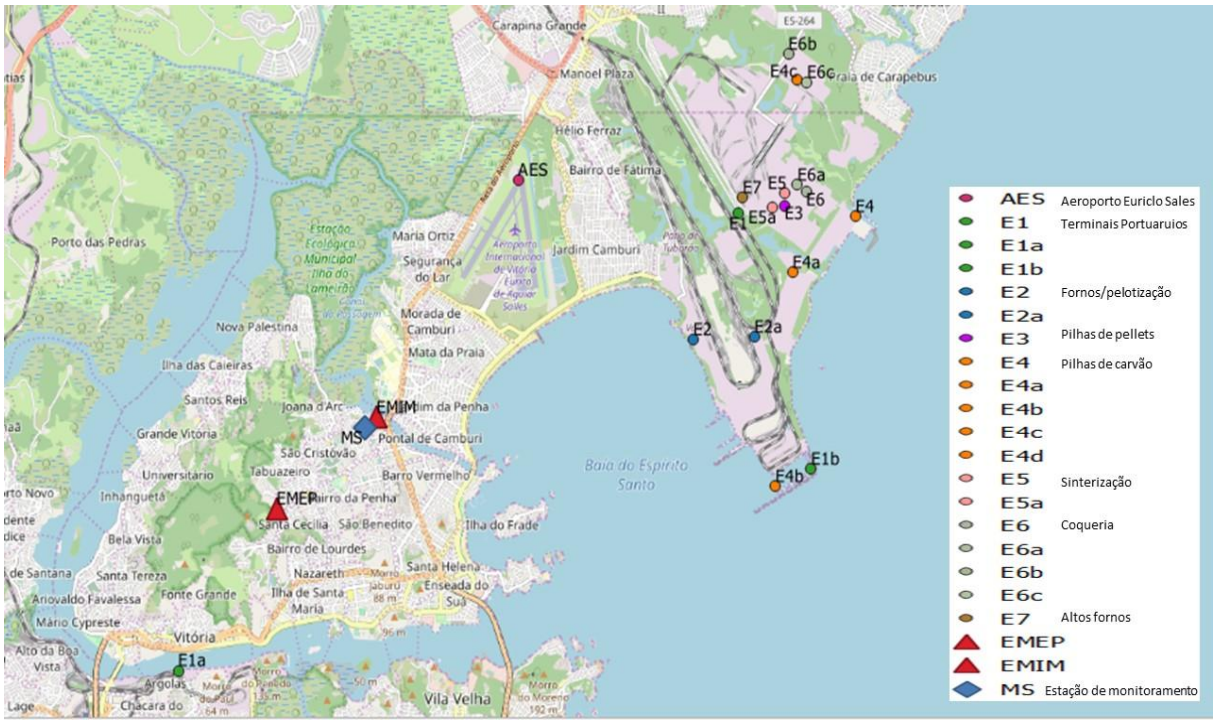


Figura 8. Localização das escolas amostradas, da estação de monitoramento e das principais indústrias.

Quadro 6. Características gerais das escolas.

	"Izaura Marques da Silva" **EMIM**	**"Eunice Pereira da Silveira"** **EMEP**
Tipo	Ensino Fundamental	Ensino Fundamental Integral
Ano de construção	1993	2014
Ano de última reforma	2013	Não teve
Andares acima do solo	1	3
Número de estudantes	439	301
Número de professores	42	25
Área total (m^2)	3309 m^2	7881,09 m^2
Ventilação	Natural & ar condicionado (Laboratório de informática, biblioteca, auditório, sala de aula 2, sala de ciências, salas administrativas)	Natural & ar condicionado (Laboratório de informática, biblioteca, auditório, sala de aula 2 e 3, sala de ciências, salas administrativas)
Tipo de janela	Maxim ar & vidros simples incolor 6 mm	Maxim ar & vidros simples incolor 6 mm
Tipo de tintas	Solúvel em água & esmalte	Solúvel em água & esmalte
Chão	Cerâmicas, granitina & cimento	Cerâmicas, granitina & cimento
Materiais da mobília	Madeira & metal	Madeira & metal
Pátio na escola	Sim	Sim
Horário e tempo de limpeza	12:00 e 17:00 horas – 20 min por sala	06:00 e 15:50 horas – 20 min por sala
Características gerais do ambiente externo	Braço de mar próximo, ruas no contorno transitadas principalmente por veículos leves, residências de baixa renda geralmente de um até três andar no máximo.	Avenida principal próxima com tráfego intenso, morro na frente da escola, sem residências por perto, rua da frente transitada só nos horários de entrada e saída dos estudantes.
Características gerais do ambiente interno	Prédio com grande número de janelas, salas administrativas além da sala de informática e a biblioteca contam com ar condicionado, as salas de aula utilizam ventiladores e as janelas abertas, pátio da escola grande, ambiente geralmente bem ventilado.	Prédio com grande número de janelas, salas administrativas, além da sala de informática, biblioteca e algumas salas de aula contam com ar condicionado, outras salas utilizam ventiladores e janelas abertas, pátio da escola pequeno, ambiente geralmente pouco ventilado.

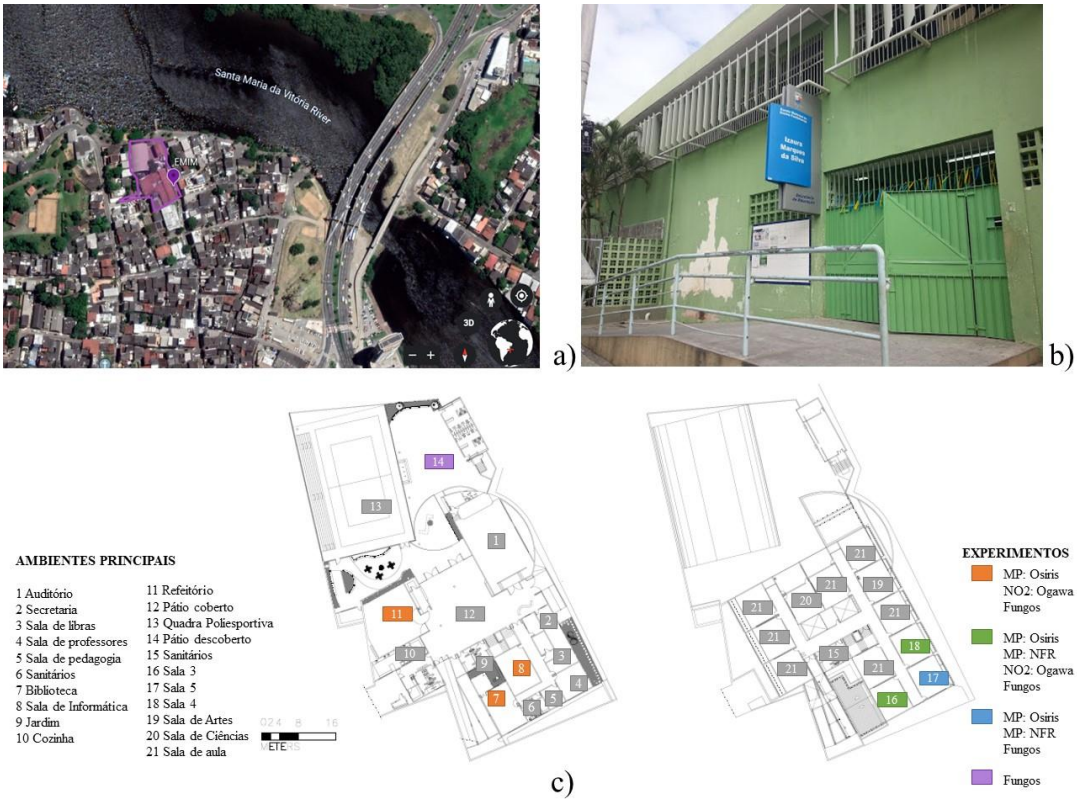


Figura 9. Escola "Izaura Marques da Silva": a) Localização, b) Fachada, c) Planta.

Figura 10. Escola "Eunice Pereira da Silveira ": a) Localização, b) Fachada, c) Planta.

Quadro 7. Descrição geral dos ambientes monitorados.

"Izaura Marques Da Silva" EMIM		"Eunice Pereira Da Silveira" EMEP	
Sala 3 S3_EMIM	Atividades de ensino, leitura, escritura e artesanato, 1º andar, ventilação natural, ventiladores comumente ligados, porta e janelas geralmente abertas, 22 alunos, chão de granitina. Área: 50.05 m^2.	**Sala 1 S1_EMEP**	Atividades de ensino, leitura, escritura e artesanato, localizada no 1º andar, ventilação natural, ventiladores comumente ligados, janelas e portas abertas com vista para a rua, 21 alunos, piso de granitina. Área: 66.82 m^2.
Sala 4 S4_EMIM	Atividades de ensino, leitura, escritura e artesanato, 1º andar, ventilação natural, ventiladores comumente ligados, porta e janelas geralmente abertas com vista para a rua principal, 22 alunos, chão de granitina. Área: 50.05 m^2.	**Sala 2 S2_EMEP**	Atividades de ensino, leitura, escritura e artesanato, 1º andar, ar condicionado, porta e janelas fechadas, 20 alunos, chão de granitina. Área: 66.60 m^2.
Sala 5 S5_EMIM	Atividades de ensino, leitura, escritura e artesanato, 1º andar, ventilação natural, ventiladores comumente ligados, porta e janelas geralmente abertas com vista para a rua principal, 17 alunos, chão de granitina. Área: 50.05 m^2.	**Sala 3 S3_EMEP**	Atividades de ensino, leitura, escritura e artesanato, 2º andar, ar condicionado, porta e janelas fechadas, 24 alunos, chão de granitina. Área: 51.36 m^2.
Informática INF_EMIM	Atividades de ensino computacional, leitura, térreo, ar condicionado, porta e janelas fechadas, chão de cerâmica. Área: 60.45 m^2.	**Informática INF_EMEP**	Atividades de ensino computacional, leitura, 1º andar, ar condicionado, porta e janelas fechadas, chão de granitina. Área: 66.01 m^2.
Refeitório REF_EMIM	Área de alimentação, próximo a cozinha, térreo, ventilação natural, ventiladores comumente ligados, janelas abertas com vista para o pátio, ambiente escuro, chão de granitina. Área: 137.90 m^2.	**Refeitório REF_EMEP**	Área de alimentação, próximo a cozinha, térreo, ventilação natural, ventiladores comumente ligados, janelas abertas com vista para a rua principal, ambiente claro, chão de granitina. Área: 171.75 m^2.
Biblioteca BIB_EMIM	Atividades de leitura, térreo, ar condicionado, janelas e portas geralmente fechadas, acumulo de livros em estantes, espaço relativamente reduzido, chão de granitina. Área: 61.38 m^2.	**Biblioteca BIB_EMEP**	Atividades de leitura, 1º andar, ar condicionado, janelas e portas geralmente fechadas, acumulo de livros em estantes, possui espaço maior, chão de granitina. Área: 134.12 m^2.

4.2. Campanha experimental

Foi realizado o monitoramento de MP_{10}, $MP_{2.5,}$ NO_2 e fungos nos ambientes internos, também fungos no exterior das escolas, além de MP_{10}, $MP_{2.5}$ e NO_2 na Estação de Monitoramento (NQUALIAR-UFES) no período da primavera de 2019. Esta seção se divide na descrição do planejamento experimental e das metodologias para a determinação dos poluentes no interior das escolas selecionadas.

4.2.1. Planejamento de experimentos

Os experimentos foram realizados no período de primavera do ano 2019, durante 4 semanas laboráveis (não simultâneo) em cada escola; de segunda-feira até sexta-feira foram feitas as amostragens dos poluentes nos ambientes internos das escolas.

A amostragem do material particulado foi realizada de duas formas. A primeira utilizando um monitor contínuo de partículas PTS, MP_{10}, $MP_{2.5,}$ MP_1 (Osiris) que é um detector portátil ideal para amostragens a curto prazo e monitoramento de ambientes fechados. Em ambas escolas, esse monitoramento foi realizado durante a semana 1 por 5 dias consecutivos numa das salas comums, na EMIM (Sala 4) e na EMEP (Sala 1), gerando 5 repetições de 24 horas para cada sala. Á partir da semana 2 até a semana 4 os ambientes internos foram monitorados 24 horas contínuas cada um deles, na EMIM (sala de aula 3, sala de aula 4, laboratório de informática, refeitório e biblioteca) e na EMEP (sala de aula 1, sala de aula 3, laboratório de informática, refeitório e biblioteca), um dia para cada ambiente cobrindo os cinco dias (segunda até sexta-feira) com a finalidade de determinar a concentração do material particulado, gerando 3 medições por sala ao final das quatro semanas de amostragem.

A segunda forma consistiu na coleta em filtros de politetrafluoroetileno (PTFE) de MP_{10} e $MP_{2.5}$ através de dois impactadores do tipo N-FRM-ARA utilizados nos três ambientes comuns, EMIM (sala de aula 3, sala de aula 4, sala de aula 5), EMEP (sala de aula 1, sala de aula 2, sala de aula 3) de segunda-feira até sexta-feira trocando o filtro a cada 48 horas, obtendo ao final duas amostras por sala gerando 6 amostras para cada faixa de material particulado. Essa coleta objetiva a identificação química do material particulado.

O poluente gasoso NO_2 foi monitorado mediante amostradores Ogawa continuamente de segunda-feira até sexta-feira durante três semanas na EMIM em 5 ambientes (Sala de aula 3, sala de aula 4, refeitório, laboratório de informática e biblioteca), ou seja, 3 repetições por

ambiente ao final da campanha, gerando 15 amostras. Na EMEP a amostragem não foi realizada devido a faltante de stock de filtros.

Os fungos foram coletados mediante três impactadores de um estágio CF-6 Andersen (Criffer, Brasil) em três dias diferentes durante as duas primeiras semanas em cada ambiente, 5 vezes no dia (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 horas) coletando também uma amostra para identificação dos fungos, além de uma amostra externa diariamente e um branco obtendo para contagem de colônias três repetições por sala durante os cinco horários, gerando um total de 15 placas por sala e um total de 90 placas por escola. Nas coletas, foram utilizadas placas com meio de cultura BDA (Ágar Dextrose Batata) + Cloranfenicol (antibiótico).

O plano amostral executado nas oito semanas de coleta de amostras para as duas escolas está descrito nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Planejamento amostral para a escola “Izaura Marques da Silva”.

BAIRRO	ANDORINHAS			EMIM " IZAURA MARQUES DA SILVA"																							
Semanas	**Data**		**Dia**	**Sala 4**				**Sala 3**				**Sala 5**				**Refeitório**				**Informática**				**Biblioteca**			
1	**30/09-04/10**	30	S	**OS**	**O**	**F**			**O**	**F**			**O**	**F**			**O**				**O**				**O**		
		1	T															**F**				**F**				**F**	
		2	Q			**F**				**F**				**F**													
		3	Q															**F**				**F**				**F**	
		4	S																								
2	**07/10-11/10**	7	S	**OS**	**O**	**F**	**A**		**O**	**F**			**O**	**F**			**O**				**O**				**O**		
		8	T					**OS**										**F**				**F**				**F**	
		9	Q													**OS**											
		10	Q																	**OS**							
		11	S																					**OS**			
3	**21/25-11/10**	21	S	**OS**	**O**				**O**		**A**		**O**				**O**				**O**				**O**		
		22	T					**OS**																			
		23	Q													**OS**											
		24	Q																	**OS**							
		25	S																					**OS**			
4	**28/10-01/11**	28	S	**OS**											**A**												
		29	T					**OS**																			
		30	Q													**OS**											
		31	Q																	**OS**							
		1	S																					**OS**			

ARAS	**(A)**	Coletor de material particulado, MP_{10} e $MP_{2.5}$ com fluxo de 16,7 L/min
OSIRIS	**(OS)**	Registra a concentração de material particulado MP_1, $MP_{2.5}$ e MP_{10}
OGAWA	**(O)**	Cartuchos amostradores de poluentes gasosos (NO_2)
FUNGOS	**(F)**	Impactador Andersen fluxo de 28,3 L/min

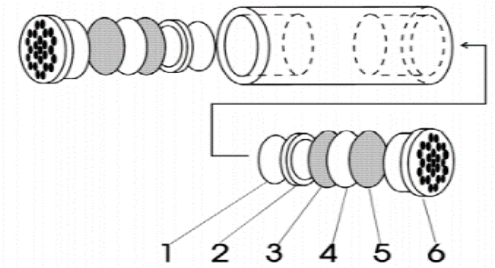
Tabela 2. Planejamento amostral para a escola “Eunice Pereira Da Silveira”.

BAIRRO	MARUÍPE			EMEP " EUNICE PEREIRA DA SILVEIRA"																							
Semanas	**Data**		**Dia**	**Sala 1**				**Sala 2**				**Sala 3**				**Refeitório**				**Informática**				**Biblioteca**			
1	**04/11-08/11**	4	S	**OS**		**F**	**A**			**F**				**F**													
		5	T															**F**				**F**				**F**	
		6	Q			**F**				**F**				**F**													
		7	Q															**F**				**F**				**F**	
		8	S																								
2	**11/11-15/11**	11	S	**OS**		**F**				**F**				**F**													
		12	T									**OS**						**F**				**F**				**F**	
		13	Q													**OS**											
		14	Q																					**OS**			
		15	S	**Feriado Dia da Proclamação da República**																							
3	**18/11-22/11**	18	S	**OS**							**A**																
		19	T									**OS**															
		20	Q													**OS**											
		21	Q																					**OS**			
		22	S																	**OS**							
4	**25/11-30/11**	25	S	**OS**	**O**				**O**						**A**		**O**				**O**				**O**		
		26	T									**OS**															
		27	Q													**OS**											
		28	Q																					**OS**			
		29	S																	**OS**							
		30	S																	**OS**							

ARAS	**(A)**	Coletor de material particulado, MP_{10} e $MP_{2.5}$ com fluxo de 16,7 L/min
OSIRIS	**(OS)**	Registra a concentração de material particulado MP_1, $MP_{2.5}$ e MP_{10}
OGAWA	**(O)**	Cartuchos amostradores de poluentes gasosos (NO2)
FUNGOS	**(F)**	Impactador Andersen fluxo de 28,3 L/min

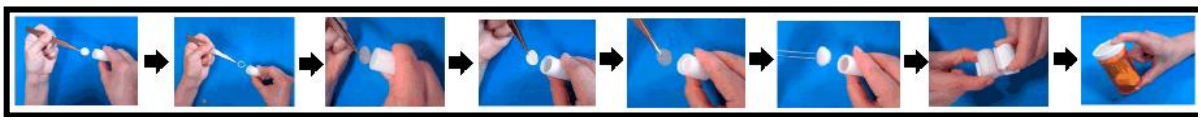
4.2.2. Técnicas de amostragem e análises laboratoriais: dióxido de nitrogênio

Para a determinação do dióxido de nitrogênio foram utilizados amostradores passivos Ogawa®, seu sistema é baseado no princípio de difusão das moléculas em uma camada estática de gás (GERBOLES et al., 2006). O amostrador passivo Ogawa® (Figura 11) é composto de um corpo de plástico com uma entrada de ar em ambos os lados, para amostragens de NO_2 os filtros utilizados são impregnados com uma solução a base de trietanolamina (OGAWA, 2019).



1. Almofada sólida
2. Anel de retenção de almofada
3. Tela inoxidável
4. Filtro de Coleta Revestida
5. Tela inoxidável
6. Tampa da extremidade do difusor

(a)



Anel de retenção → Tela de aço inoxidável → Pastilha – Filtro pré-revestido → Tela de aço inoxidável → Tampão Final.

(b)

(c)

Figura 11. (a) Estrutura do amostrador Ogawa®. (b) Processo de montagem do amostrador Ogawa®. (c) amostrador Ogawa®.
Fonte: Ogawa USA (2019)

O amostrador passivo Ogawa® contém duas almofadas de coleta de gás em sua configuração de entrada dupla, as almofadas têm 14,5 mm de diâmetro e são especialmente revestidos para reagir quimicamente com um gás ou gases selecionados. Os componentes do amostrador devem ser enxaguados com água ultra-pura e secos à temperatura ambiente, amostradores de campo e

branco devem possuir mesma data de montagem, período, condições de exposição e data de análise (OGAWA, 2019). Sua montagem é apresentada na Figura 11(b).

O NO_2 foi coletado somente na EMIM devido a falta de stock de filtros para a segunda escola analisada. A coleta é iniciada ao retirar o amostrador de sua embalagem e posicionando-se no ponto de coleta em uma altura entre 1,5 m até 2 m (Figura 11 c), sendo submetido os amostradores em branco as mesmas condições de temperatura e umidade que os amostradores expostos (no mínimo de 3 amostradores em branco para cada lote analisado). Os tempos de exposição dos amostradores (Tabela 3) foram de dias consecutivos de coleta, totalizando um total de 5.760 minutos. Depois do tempo de coleta estabelecido (segunda até sexta-feira) os amostradores foram recolhidos e armazenados em sua embalagem original conforme prática laboratorial aceita e transportados até o laboratório NQUALIAR na Universidade Federal do Espírito Santo com auxílio de uma caixa térmica para reduzir a exposição a temperaturas mais elevadas durante o processo.

Tabela 3. Monitoramento de NO_2 com Ogawa na EMIM. Local, data e hora do início e fim da coleta.

Escola "Izaura Marques da Silva" - EMIM		
Local	**Início (data e hora)**	**Fim (data e hora)**
Sala de aula 4	30/09/2019 08:05	04/10/2019 08:05
Sala de aula 3	30/09/2019 08:40	04/10/2019 08:40
Biblioteca	30/09/2019 09:15	04/10/2019 09:15
Informática	30/09/2019 09:25	04/10/2019 09:25
Refeitório	30/09/2019 09:35	04/10/2019 09:35
Sala de aula 4	07/10/2019 08:30	11/10/2019 08:30
Sala de aula 3	07/10/2019 08:32	11/10/2019 08:32
Informática	07/10/2019 08:37	11/10/2019 08:37
Biblioteca	07/10/2019 08:40	11/10/2019 08:40
Refeitório	07/10/2019 08:42	11/10/2019 08:42
Sala de aula 4	21/10/2019 08:52	25/10/2019 08:52
Sala de aula 3	21/10/2019 08:54	25/10/2019 08:54
Informática	21/10/2019 08:50	25/10/2019 08:50
Biblioteca	21/10/2019 08:46	25/10/2019 08:46
Refeitório	21/10/2019 08:51	25/10/2019 08:51

A análise para determinação do NO_2 foi realizada por meio de três procedimentos principais: preparo das soluções, método analítico e cálculo. Nesses procedimentos estão inclusos a desmontagem dos amostradores OGAWA®, seguido das extrações dos filtros (com 8 mL de

água ultra-pura), resfriamento das amostras, adição do reagente de cor, leitura de suas absorbâncias em espectrofotômetro U2M (QUIMIS®) e preparo das soluções padrões. Sendo a inclinação da curva padrão preparada através da medição da absorbância (em 545nm) de 6 amostras padrão, com concentrações de 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 e 0.8 µg / mL de solução de NO_2. Após a inclinação para a curva padrão ter sido preparada, calculou-se a concentração das amostras coletadas através de suas absorbâncias. Foram utilizados 3 (três) espaços em branco para cada lote analisado e os mesmos foram submetidos aos mesmos procedimentos de análise.

Os procedimentos para a determinação da concentração dióxido de nitrogênio de forma passiva estão disponíveis em OGAWA-USA (2019) e descritos no Anexo A.

4.2.3. Técnicas de amostragem e análises laboratoriais: material particulado

Nas avaliações de material particulado no ar interno das escolas foram realizados dois tipos de experimentos: (*i*) Monitoramento contínuo de 24 horas utilizando um monitor de partículas PTS, MP_{10}, $MP_{2.5}$ e MP_1 (Osiris) com a finalidade de quantificar a concentração em diferentes faixas de tamanho de diâmetro das partículas. (*ii*) Coleta de $MP_{2.5}$ e MP_{10} através de impactador de baixo volume, N-FRM- ARA com filtros de politetrafluoroetileno (PTFE) de 47mm por 48h por uma semana (segunda – quarta, quarta- sexta-feira) em cada sala comum, EMIM (Sala de aula 3, sala de aula 4 e sala de aula 5), EMEP (Sala de aula 1, sala de aula 2, sala de aula 3) resultando em 2 amostras para $MP_{2.5}$ e 2 para MP_{10} por sala. A coleta por impactação tem como finalidade caracterizar a composição química do material particulado nessas faixas de diâmetro, obtendo ao final para cada escola (12 amostras) ou seja 6 de $MP_{2.5}$ e 6 para MP_{10} além dos 6 brancos (12 filtros) por escola.

4.2.3.1.Método contínuo: Laser Aerosol Spectrometer (OSIRIS)

OSIRIS utiliza um fotômetro que oferece medição contínua e indicação simultânea das frações de massa PTS, $MP_{10,}$ $MP_{2.5}$ e MP_1. A técnica de espalhamento de luz determina a concentração de material particulado do ar, a amostra de ar passa através de um feixe de laser em um fotômetro e, em seguida, através de um filtro com a finalidade de extrair as partículas antes de atingir a bomba. A luz espalhada pelas partículas é convertida em um pulso elétrico que é proporcional ao tamanho da partícula (TURNKEY INSTRUMENTS, 2002).

Uma característica única desse fotômetro é que apenas a luz dispersa através de ângulos muito estreitos é medida. Essa dispersão de ângulo estreito é praticamente o mesmo para partículas

pretas ou brancas do mesmo tamanho, ou seja, não depende da composição química da partícula.

A intensidade do pulso de luz é, portanto, um indicador de tamanho de partícula e assim, o microprocessador é capaz de calcular a massa esperada da partícula. A densidade da partícula é assumida igual a 1.5, para a maioria das partículas transportadas por via aérea é uma boa aproximação. Os resultados são expressos em microgramas por metro cúbico com uma resolução de até 0,1 micrograma (TURNKEY INSTRUMENTS, 2002).

(a) **(b)**

Figura 12. (a) Instalação Osiris no Refeitório na Escola "Izaura Marques da Silva". **(b)** Osiris registrando concentração de material particulado na biblioteca da Escola "Eunice Pereira da Silveira".

As coletas foram realizadas durante quatro semanas em cada escola de maneira não simultânea, (Tabela 4):

-Escola "Izaura Marques da Silva" (EMIM), durante a semana 1 foram coletadas amostras continuas numa sala comum de segunda até sexta-feira (Sala de aula 4), a partir da semana 2 até a semana 4 foram realizadas coletas de 24 horas em cada um dos 5 ambientes escolhidos (Sala de aula 3, sala de aula 4, laboratório de informática, biblioteca e refectório) (Figura 12 a), gerando para cada sala 3 repetições.

-Escola "Eunice Pereira da Silveira" (EMEP), durante a semana 1 foram coletadas amostras continuas numa sala comum de segunda até sexta-feira (Sala de aula 1), a partir da semana 2 até a semana 4 foram realizadas coletas de 24 horas em cada um dos 5 ambientes escolhidos (Sala de aula 1, sala de aula 3, laboratório de informática, biblioteca e refectório) (Figura 12 b), gerando para cada sala 3 repetições.

Tabela 4. Monitoramento de material particulado utilizando OSIRIS: Local de medição, data e hora de início e fim da coleta.

Escola "Izaura Marques da Silva" – EMIM			Escola "Eunice Pereira da Silveira" – EMEP		
Local	**Início (data e hora)**	**Fim (data e hora)**	**Local**	**Início (data e hora)**	**Fim (data e hora)**
Sala de aula 4	30/09/2019 08:00	01/10/2019 08:00	Sala de aula 1	04/11/2019 14:55	05/11/2019 14:55
Sala de aula 4	01/10/2019 08:05	02/10/2019 08:05	Sala de aula 1	05/11/2019 15:00	06/11/2019 15:00
Sala de aula 4	02/10/2019 08:10	03/10/2019 08:10	Sala de aula 1	06/11/2019 15:05	07/11/2019 15:05
Sala de aula 4	03/10/2019 08:15	04/10/2019 08:15	Sala de aula 1	07/11/2019 15:10	08/11/2019 15:10
Sala de aula 4	04/10/2019 08:20	05/10/2019 08:20	Sala de aula 1	08/11/2019 15:15	09/11/2019 15:15
Sala de aula 4	07/10/2019 08:20	08/10/2019 08:20	Sala de aula 1	11/11/2019 08:25	12/11/2019 08:25
Sala de aula 3	08/10/2019 08:30	09/10/2019 08:30	Sala de aula 3	12/11/2019 08:45	13/11/2019 08:45
Refeitório	09/10/2019 08:40	10/10/2019 08:40	Refeitório	13/11/2019 09:00	14/11/2019 09:00
Informática	10/10/2019 08:50	11/10/2019 08:50	Biblioteca	14/11/2019 09:10	15/11/2019 09:10
Biblioteca	11/10/2019 09:00	12/10/2019 09:00	Sala de aula 1	18/11/2019 08:55	19/11/2019 08:55
Sala de aula 4	21/10/2019 08:40	22/10/2019 08:40	Sala de aula 3	19/11/2019 09:10	20/11/2019 09:10
Sala de aula 3	22/10/2019 08:50	23/10/2019 08:50	Refeitório	20/11/2019 09:15	21/11/2019 09:15
Refeitório	23/10/2019 09:00	24/10/2019 09:00	Biblioteca	21/11/2019 09:30	22/11/2019 09:30
Informática	24/10/2019 09:05	25/10/2019 09:05	Informática	22/11/2019 09:40	23/11/2019 09:40
Biblioteca	25/10/2019 09:15	26/10/2019 09:15	Sala de aula 1	25/11/2019 08:55	26/11/2019 08:55
Sala de aula 4	28/10/2019 08:35	29/10/2019 08:35	Sala de aula 3	26/11/2019 09:10	27/11/2019 09:10
Sala de aula 3	29/10/2019 08:40	30/10/2019 08:40	Refeitório	27/11/2019 09:20	28/11/2019 09:20
Refeitório	30/10/2019 08:50	31/10/2019 08:50	Biblioteca	28/11/2019 09:25	29/11/2019 09:25
Informática	31/10/2019 09:00	01/11/2019 09:00	Informática	29/11/2019 09:30	30/11/2019 09:30
Biblioteca	01/11/2019 09:05	02/11/2019 09:05	Informática	30/11/2019 09:35	01/12/2019 09:35

4.2.3.2.Método não contínuo: N-FRM e caracterização química XRF

Para coletar o material particulado e fazer sua caracterização química foram utilizados dois amostradores portáteis N-FRM (Figura 13) o que permite a coleta de PTS, MP_{10} e $MP_{2.5}$. Um dos equipamentos foi calibrado para separar e coletar o MP_{10} e outro equipamento para coletar o $MP_{2.5}$. Uma bomba succiona o ar ambiente a uma vazão volumétrica constante até o amostrador (que pode ser regulável), o ar passa através de dois separadores inerciais de material particulado lubricados com graxa contendo um meio filtrante para coleta das partículas.

Os equipamentos coletaram amostras em três salas de cada escola (não simultaneamente). Na EMIM, foram monitoradas as salas de aula identificadas como sala de aula 3, sala de aula 4 e sala de aula 5; na EMEP, foram monitoradas as salas de aula identificadas como sala de aula 1, sala de aula 2 e sala de aula 3. O monitoramento foi realizado uma semana em cada sala

trocando o filtro a cada 48 h (Tabela 5) gerando por escola ao final das 4 semanas de amostragem 6 amostras para MP_{10} e 6 amostras para $MP_{2.5}$. No total, foram 18 filtros por escola somando os 6 brancos.

Tabela 5. Monitoramento de material particulado utilizando N-FRM: Local de medição, data e hora de início e fim da coleta.

Escola "Izaura Márquez da Silva" - EMIM			Escola "Eunice Pereira da Silveira" - EMEP		
Local	**Início (data e hora)**	**Fim (data e hora)**	**Local**	**Início (data e hora)**	**Fim (data e hora)**
Sala de aula 4	07/10/2019 09:55	09/10/2019 09:55	Sala de aula 1	04/11/2019 10:30	06/11/2019 10:30
Sala de aula 4	09/10/2019 09:59	11/10/2019 09:59	Sala de aula 1	06/11/2019 10:42	08/11/2019 10:42
Sala de aula 3	21/10/2019 08:51	23/10/2019 08:51	Sala de aula 2	18/11/2019 09:23	20/11/2019 09:23
Sala de aula 3	23/10/2019 08:56	25/10/2019 08:56	Sala de aula 2	20/11/2019 09:27	22/11/2019 09:27
Sala de aula 5	28/10/2019 08:37	30/10/2019 08:37	Sala de aula 3	25/11/2019 08:45	27/11/2019 08:45
Sala de aula 5	30/10/2019 08:45	01/11/2019 08:45	Sala de aula 3	27/11/2019 09:10	29/10/2019 09:10

Os N-FRM funcionaram a uma vazão de 16.7 L min^{-1} e as amostras foram recolhidas em filtros de PTFE (Politetrafluoroetileno) de 47 mm da marca Whatman Inc, EE.UU. Esses filtros foram pré-balanceados a uma umidade relativa entre 30% e 40% (± 5%) e a uma temperatura entre 20°C e 23°C (±2°C) por pelo menos 24 horas (CHOW; WATSON, 1998).

Após cada 48 horas as amostras de material particulado coletadas no N-FRM foram analisadas pela sua composição elementar num Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X de Energia Dispersiva (EDXRF), modelo EDX-720 (Shimadzu, Japão) o que opera com um mínimo manejo de amostras ao vácuo já que as amostras são sólidas. O equipamento trabalha com um tubo de raios X de ródio, 15-50 kV, resolução de 150 eV, 1000 (auto) µA, 1000 segundos de integração por canal e um detector de Si (Li).

O EDX-720 fornece informações sobre a composição elementar da amostra coletada que derrete para criar uma mistura homogênea, esse equipamento identifica automaticamente todos os elementos em uma amostra com base em uma biblioteca de dados de raios X. O raio X é direcionado para a amostra fundida, e sua energia é absorvida pela amostra, com vários átomos que são excitados e movem os elétrons para orbitais de valência mais alta. Cada átomo tem uma energia característica associada à sua excitação e relaxamento. A energia do relaxamento de uma amostra é medida e um software é usado para desambiguar a combinação de elementos que criaram esse espectro.

(a) **(b)**

Figura 13. (a) NFR-ARA coletando MP_{10} e $MP_{2,5}$ em uma sala de aula da Escola "Izaura Marques da Silva" e (b) troca de filtros.

4.2.3.3.Técnica de atribuição de fontes

Aos dados obtidos de porcentagens de elementos químicos no material particulado se aplicou a análise de fator de enriquecimento (EF) o qual avalio o aporte da fonte no material coletado, além da crosta terrestre e sal marinho à concentração elemental (GUÉGUEN et al., 2012), essa analise é normalizado para um elemento de referência (DE PAULA et al., 2015), no nosso caso foi em quanto a crosta terrestre foi utilizado o ferro (Fe) ao ser identificado como um elemento presente em todas as amostras.

Para calcular para calcular o EF em MP_{10} e $MP_{2.5}$ utilizando a seguinte equação:

$$EFx = [Cx/C_{Fe}]_{sample} / [Cx/C_{Fe}]_{crust} \quad (1)$$

onde Cx y C_{Fe} são as concentrações do elemento X e Fe na amostra e na crosta terrestre baseados em (Lide, 2005).

Os elementos para o qual EF > 10 podem ser considerados majoritariamente influenciados por outra fonte que não a fonte de referência, com incerteza desprezível (DE PAULA et al., 2015).

Para realizar a análise estatística dos dados de poluição do ar por material particulado foi utilizado o pacote Openair de R o qual oferece uma variedade de gráficos ilustrativos para apresentar de melhor maneira os resultados obtidos (R CORE TEAM, 2020).

4.2.4. Técnicas de amostragem e análises laboratoriais: fungos

4.2.4.1. Amostragem

Os fungos foram coletados durantes três dias nos seis ambientes das escolas escolhidas (não simultaneamente) “Izaura Marques da Silva” (sala de aula 3, sala de aula 4, laboratório de informática, biblioteca e refectório), “Eunice Pereira da Silveira” (sala de aula 1, sala de aula 3, laboratório de informática, biblioteca e refectório), de acordo como as Normativas ISO 16000-17, 18 e 19 (ISO, 2008; ISO, 2011; ISO, 2012) em cinco horários por dia (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00).

Utilizou-se o impactador de um estágio CF-6 Andersen (Criffer, Brasil) que avalia fungos e microrganismos num tamanho de 0.6 a 22 µm suspensos no ar ambiente através da sucção do ar por uma bomba de vácuo com vazão constante e impactação em meio de cultura adequado em placas petri. Foram utilizadas placas petri esterilizadas e descartáveis de 90 mm de diâmetro e 15 mm de altura com Ágar dextrose de batata (BDA) com adição de Cloranfenicol (antibiótico) para evitar concentrações de bactérias (Apêndice C).

O equipamento foi regulado para trabalhar com uma vazão de 28.3 L/min numa posição central no ambiente a uma altura padrão de respiração humana equivalente a 1.5 m. Os fungos foram coletados por aproximadamente 5 minutos (BOECHAT, 2009). Antes e depois de cada amostragem, o equipamento foi esterilizado com etanol a 75% (ANVISA, 2003c).

Depois do tempo de amostragem as placas petri foram removidas do aparelho e fechadas imediatamente com Parafilm®M, identificadas e guardadas em sacos plásticos estéreis com zíperes, que foram posteriormente colocados em um recipiente a 4°C e transportados ao laboratório para análise (DUNCAN et al., 2010).

Após a amostragem, as placas foram transportadas para contagem ao Laboratório de Saneamento (LABSAN) da Universidade Federal do Espírito Santo e para a identificação ao laboratório do Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento (CPID) do Governo do Estado do Espírito Santo, a temperatura de transporte não excedeu a temperatura de incubação de 25°C, as amostras foram resfriadas no momento do transporte, mas não foram congeladas.

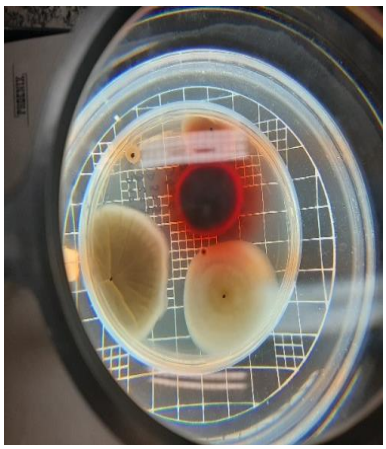
4.2.4.2.Incubação e contagem

No LABSAN, as placas foram deixadas na incubadora livre de vibrações sob observação à temperatura ambiente (25 ± 3°C). As placas de ágar foram examinadas em intervalos regulares e registrado o número máximo de colônias contadas dentro dos 7 dias de incubação (Figura 14 a). Os resultados quantitativos foram calculados em Unidades Formadoras de Colônias (UFC / m^3) dividindo-se o número de colônias contadas na placa pelo volume de ar amostrado (m^3).

4.2.4.3.Identificação de espécies

A identificação de gênero foi baseada em características morfológicas macroscópicas e microscópicas realizada no laboratório do CPID. O exame macroscópico da colônia descreve o tamanho, textura, pigmentação, superfície, bordas, aparência, pigmentação e tempo de crescimento. O exame microscópico consiste na observação do micélio e dos tipos de esporos, para suporte de identificação, foram utilizadas as ISO 16000: 17 (ISO, 2008).

Para identificação dos gêneros, as colônias que crescem no meio foram isoladas e transferidas para meios especiais de identificação, foi utilizado Ágar de extrato de malte (MEA). Na observação microscópica foi utilizado o microscópio biológico vertical N*i*-U (Nikon, Japão) de alta precisão óptica. No processo prévio da observação uma parte do micélio do fungo antecipadamente isolado é colocado numa lâmina de identificação (Figura 14 b) em conjunto com uma gota de Resina Poli Vinil Lacto Glicerol (PVLG) (Apêndice D) e coberto com uma lâmina para finalmente ser observado no microscópio. Foram identificados os gêneros presentes em cada escola, além do ambiente exterior.



(a)

(b)

Figura 14. Fungos: (a) contagem e (b) lâminas para identificação.

4.3. Garantia e controle da qualidade dos resultados

4.3.1. Caracterização química do material particulado

As amostras foram recolhidas em filtros de PTFE (Politetrafluoroetileno) de 47 mm, os quais foram pré-condicionados a umidade relativa entre 30 % e 40 % (± 5 %) e temperatura entre 20 °C e 23 °C (±2 °C) por pelo menos 24 horas, é importante mencionar uma das vantagens da utilização desse tipo de filtro é que são quimicamente estáveis e inertes, de melhor resistência e manipulação, em oposição aos filtros de quartzo e fibra de vidro (HEALTHCARE).

A técnica de ED-XRF possibilita a caracterização tanto qualitativa quanto quantitativa do material particulado. Em comparação com outras técnicas espectrométricas, ED-XRF possui vantagens como a análise não-destrutiva e alta sensibilidade. Além disto, ED-XRF possibilita análise elementar simultânea, com rapidez e custo baixo, em amostras sólidas (incluindo pó) e líquidas, ampla faixa linear e espectro simples (SANTOS et al., 2013).

Por outro lado, os limites de detecção, precisão e exatidão podem ser maiores do que aqueles obtidos através de absorção atômica por chama (FAA) e técnicas como espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) e espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (SANTOS et al., 2013). Além disto, elementos leves (número atômico inferior à 13) têm sensibilidade muito limitada e requererem métodos para correção do efeito de matriz, como absorção e reforço dos raios X característicos, devido às interações entre os elementos componentes da amostra (NASCIMENTO, 1999).

4.3.2. Caracterização biológica do material particulado (fungos)

Na coleta de fungos utilizou-se o impactador de um estágio CF-6 Andersen (Criffer, Brasil), com placas petri descartáveis e esterilizadas de 90 mm de diâmetro e 15 mm de altura com Ágar dextrose de batata (BDA) com adição de Cloranfenicol (antibiótico). O procedimento de coleta, amostragem e transporte das amostras esteve em concordância com as normativas ISO 16000-17, 18 e 19 (ISO, 2008; ISO, 2011; ISO, 2012).

Para a observação microscópica foi utilizado o microscópio biológico vertical N*i*-U (Nikon, Japão) de alta precisão óptica. O exame microscópico consiste na observação do micélio e dos tipos de esporos, para suporte de identificação, utilizando a ISO 16000: 17 (ISO, 2008). A identificação de gênero de fungos, realizada no Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento (CPID), teve por base as características morfológicas macroscópicas e

microscópicas. É importante mencionar uma dificuldade técnica: muitas colônias previamente isoladas, transferidas para crescimento e posterior identificação, na maior parte dos casos, não esporularam.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2. Condições meteorológicas na região durante o período investigado

As campanhas experimentais foram realizadas durante quatro semanas em cada escola de maneira não simultânea. Os experimentos foram realizados no período entre 30/09/2019 e 01/11/2019 na EMIM e entre 04/11/2019 e 30/11/2019 na EMEP.

Durante a primeira campanha correspondente a EMIM no mês de outubro, as variáveis climatológicas no caso da temperatura ficaram entre os 16,8 ºC e 33 ºC, os níveis de precipitação foram baixos, teve poucos dias de chuva fraca 13 mm e a umidade relativa foi mantida entre 43 % e 98 %. No mês de novembro, período de coletas da EMEP a temperatura teve uma maior variabilidade, registrando valores entre 18 ºC e 36,8 ºC. Durante esta campanha teve dias de chuvas fortes com precipitações de até 47 mm, a umidade relativa chegou até 99 %. A direção do vento predominante nos dois períodos foi do setor NE, as velocidades do vento foram maiores no mês de outubro com uma média de 1,7 m s^{-1} e em novembro 1,08 m s^{-1} (Figura 16 (a) e (b)).

As normais climatológicas (1981 – 2010) apontam variação de temperatura média para a RMGV entre 19,5 ºC (julho) e 31,7 ºC (fevereiro) bem como temperatura média anual de 24,8 ºC. A Figura 15(a) apresenta a série temporal para o período quando foram realizadas as campanhas experimentais. Nesse período, a temperatura média foi 24,9 ºC, a temperatura mínima igual a 16,8 ºC e máxima igual a 36,8 ºC.

No que diz respeito a umidade relativa para o período (1981 – 2010), o valor médio, mínimo e máximo são 78 %, 38 % e 99 %, respectivamente (Figura 15(b)). Os valores justificam-se, tendo em vista que o período de outubro a abril é historicamente aquele de maior incidência de precipitação. Nesse período observa-se à atuação de sistemas frontais e zonas de convergência de umidade (LOUGON et al., 2020). No período amostrado, nota-se que a precipitação acumulada foi maior em novembro (Figura 15(c)) que, como os meses de fevereiro, maio e setembro de 2019 apresentou precipitação acumulada superior às normais climatológicas (1981 – 2010).

De acordo com as normais climatológicas (1981 – 2010), a direção dos ventos predominante na RMGV é nordeste (NE) para os quadrimestres janeiro/abril e setembro/dezembro e sudeste (SE) para o quadrimestre maio/agosto (Lougon et al., 2020). Conforme esperado, no período de amostragem, verifica-se a predominância do setor NE e velocidade média dos ventos igual a 1,4 m s^{-1} (1981 – 2010) (Figura 16).

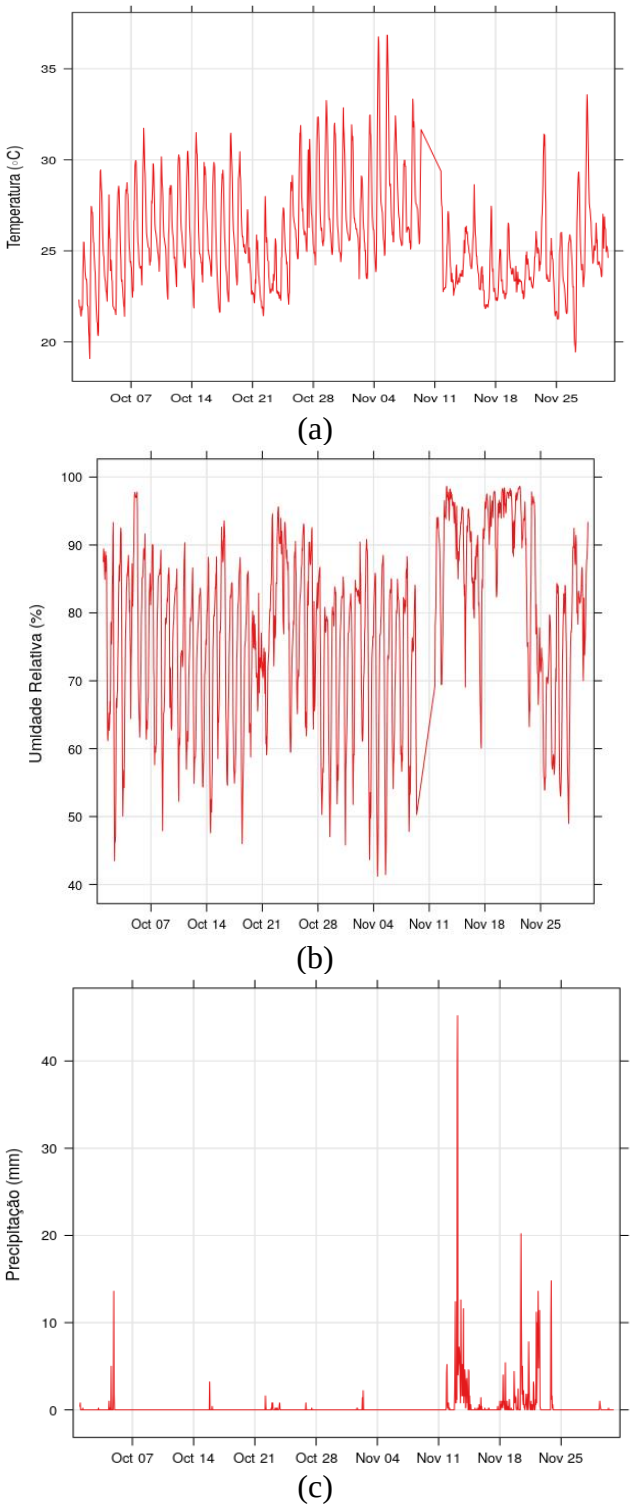
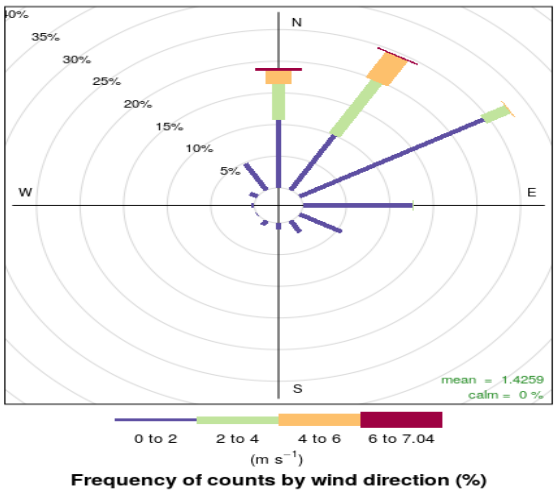
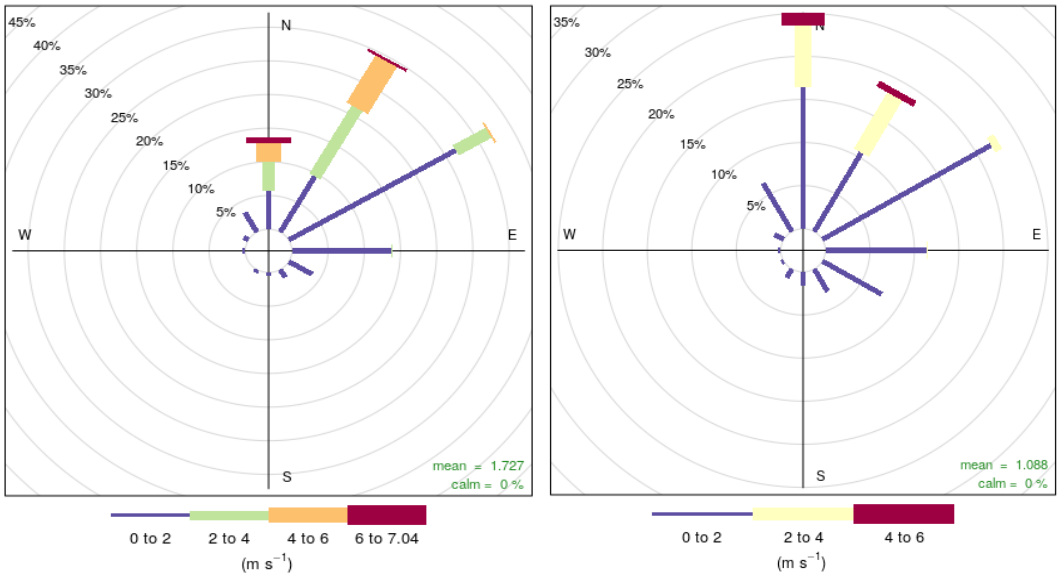


Figura 15. (a) Temperatura, (b) umidade relativa e (c) precipitação pluviométrica registradas na cidade de Vitória no período de estudo.



(a)



(b) (c)

Figura 16. Direção do vento registrada na cidade de Vitória, a) durante todo o período de estudo, b) mês de outubro e c) mês de novembro.

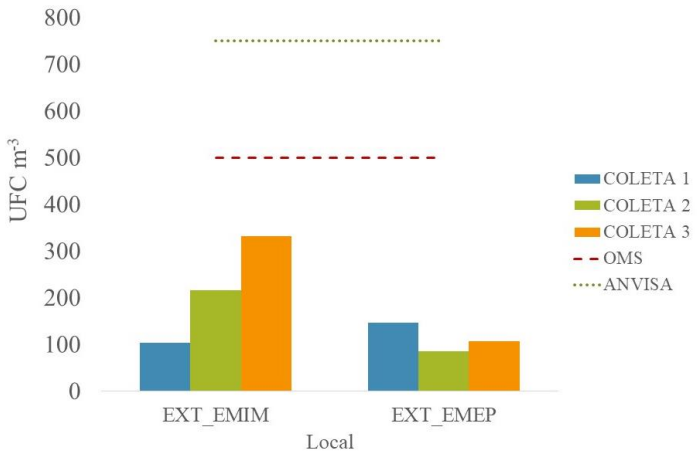
5.3. Qualidade do ar no ambiente exterior na RMGV

5.3.1. Níveis de concentração de fungos

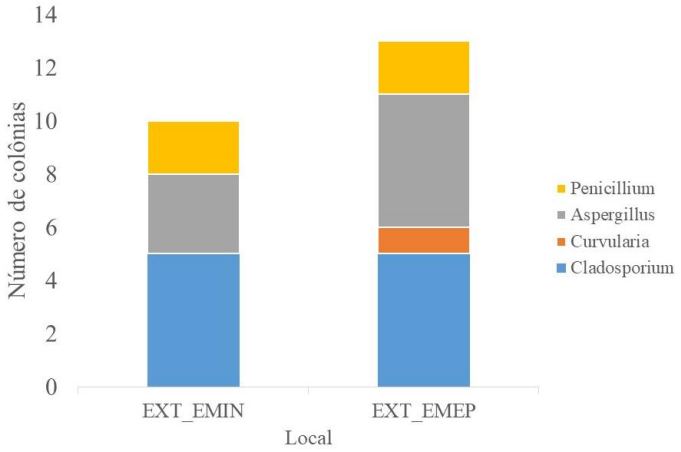
De acordo com a Figura 17 (a), a contagem de fungos nos ambientes externos apresenta valores entre 100 e 300 UFC m^{-3}, e nota-se que os maiores níveis se encontram nas cercanias da EMIM. Fungos são indicadores importantes para o nível de qualidade do ar interior (CABRAL, 2010) e seus níveis em ambientes internos podem ser associados ao observado em ambientes externos

(VORNANEN-WINQVIST et al., 2018). Embora a contagem observada tanto nas cercanias da EMIM quanto da EMEP seja menor do que os limites estabelecidos pela ANVISA e OMS, uma investigação mais detalhada seria valiosa para entender a alta variabilidade encontrada entre as coletas na cercania da EMIM comparativamente a menor variabilidade encontrada na cercania da EMEP.

Com respeito a classificação dos gêneros, de modo supreendente, a comparação entre os ambientes externos nas proximidades da EMIM e da EMEP revela que o número de colônias de *Aspergilus* é maior na cercania da primeira escola, e o gênero *Curvularia* é identificado apenas próximo a essa escola (Figura 17(b)). Essa descoberta corrobora a necessidade de identificação de gênero e espécies de fungos para avaliação precisa do risco de exposição em detrimento da simples contagem de colônias (MADUREIRA, Joana et al., 2015; STARK et al., 2005). Diferentes espécies do gênero *Aspergillus* representam risco para a saúde humana (VORNANEN-WINQVIST et al., 2018) e a espécie *Aspergillus fumigatus* possui inclusive associações com doenças pulmonares, incluindo asma (CABRAL, 2010; ZOU et al., 2013). O gênero *Aspergillus* pode ser associado tanto com poeira doméstica como decomposição de matéria orgânica (incluindo vegetação) (BAXI et al., 2016; KUMAR et al., 2010). O gênero *Curvularia* pode ser identificado em filtros de ar-condicionado residenciais ou veiculares (AQUINO et al., 2018; NITMETAWONG et al., 2019) bem como na parte exterior de estruturas pintadas (AHMED; USMAN; SCHOLZ, 2018; VORNANEN-WINQVIST et al., 2018). De modo geral, o maior nível total de fungos no ambiente externo no entorno da EMIM em relação ao entorno da EMEP pode ter grande contribuição de fontes biogênicas locais (e.g., vegetação morta, oriunda do entorno). Sugere se estudos futuros para verificação dessa relação.



(a)



(b)

Figura 17. (a) Contagem e (b) identificação de gêneros dos fungos nos ambientes externos nas cercanias da EMIN e da EMEP.

5.3.2. Níveis de concentração de dióxido de nitrogênio

Durante o período da amostragem da EMIM, o ambiente externo monitorado pela estação de monitoramento (Figura 18) respeitou os parâmetros estabelecidos pela legislação, médias horárias OMS 200 µg m^{-3}, CONAMA 260 µg m^{-3} registro valores máximos e mínimos de concentração de NO_2 34,86 µg m^{-3} e 0,16 µg m^{-3}. Os dados obtidos no período de coletas da EMEP apresentaram concentrações máximas de 37,26 µg m^{-3} e mínimas de 1,56 µg m^{-3} na escola as coletas de NO_2 não foram realizadas pela falta de stock de filtros. Na maioria dos países, as concentrações de NO_2 são altamente variáveis e estão relacionadas à densidade do tráfego (SALONEN et al.,2019).

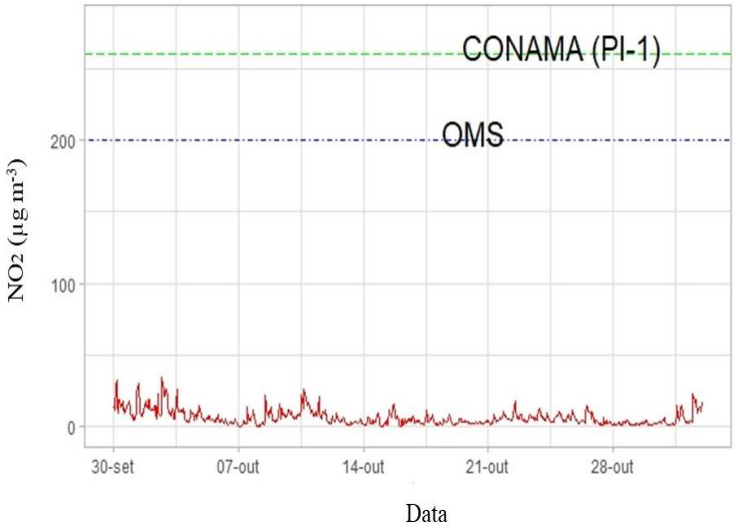


Figura 18. Série temporal da concentração (horária) de NO_2 no ambiente externo durante o período da campanha experimental realizada na EMIM.

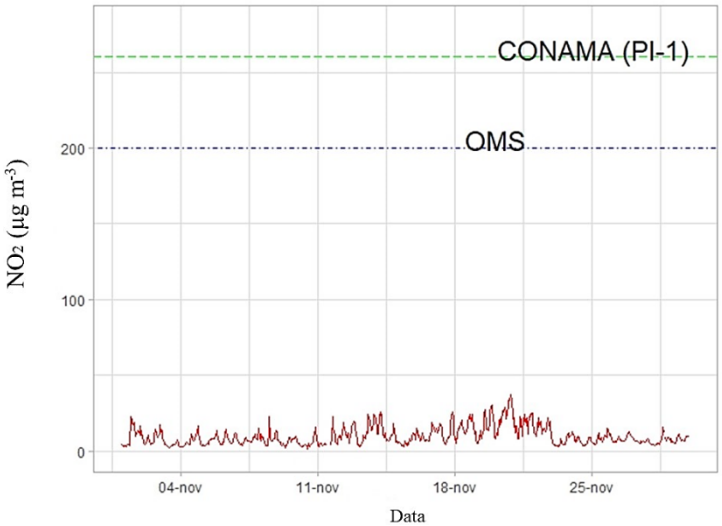
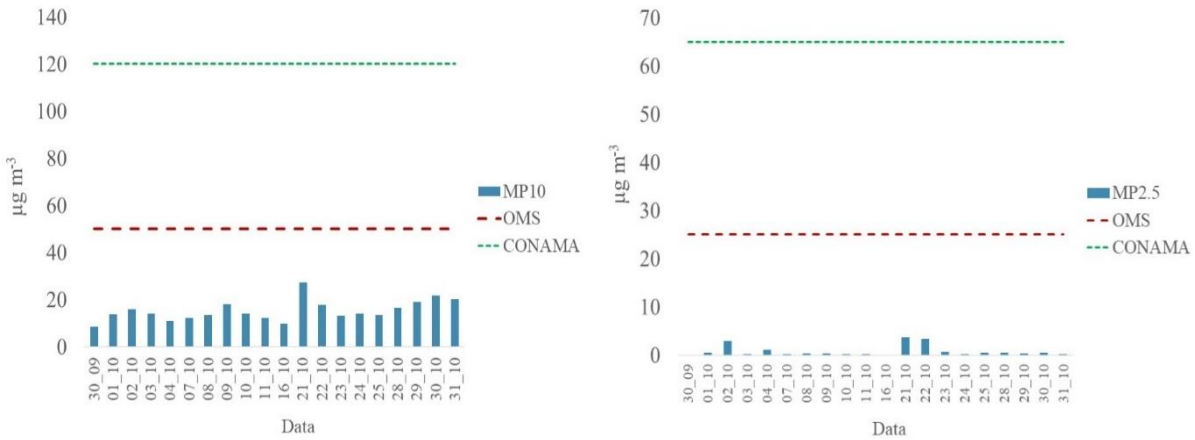


Figura 19. Série temporal da concentração (horária) de NO_2 no ambiente externo durante o período da campanha experimental realizada na EMEP.

5.3.3. Níveis de concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ e sua composição química elementar

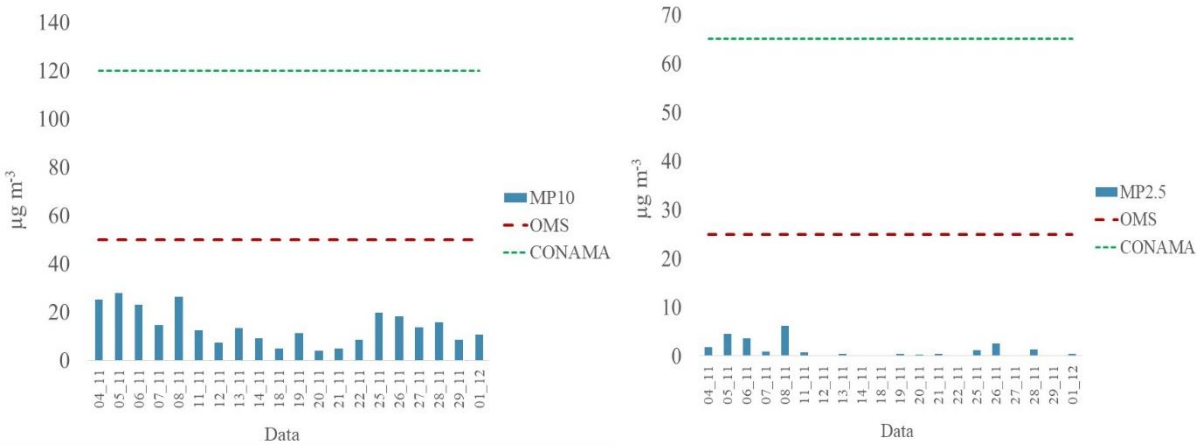
Os níveis de material particulado do ambiente externo podem ser conferidos nas Figuras 20 e 21, onde observa-se que nenhum padrão de qualidade do ar, nacional ou internacional, foi infringido. É possível que esses resultados no caso do período de amostragem da EMEP sejam explicados pela presença de dias chuvosos e remoção dos poluentes da atmosfera. No período de estudo da EMEP, o valor máximo de MP_{10} registrado foi 27,1 µg m^{-3} e mínimo 8,5 µg m^{-3}, para $MP_{2,5}$ 3,7 µg m^{-3} e 0,08 µg m^{-3}, no período da EMEP, o MP_{10} registrou como valor máximo

e mínimo 27,8 µg m^{-3} e 4 µg m^{-3} respectivamente, no caso do $MP_{2,5}$ foram 6,2 µg m^{-3} e 0,04 µg m^{-3} o máximo e mínimo correspondentemente. Sugere se um estudo mais prolongado a fim de permitir a avaliação mais acurada da sazonalidade do MP na localidade.



(a) (b)

Figura 20. Concentração de MP em monitoramento externo, relativo ao período amostral de EMIM: (a) MP_{10} e (b) $MP_{2,5}$.



(a) (b)

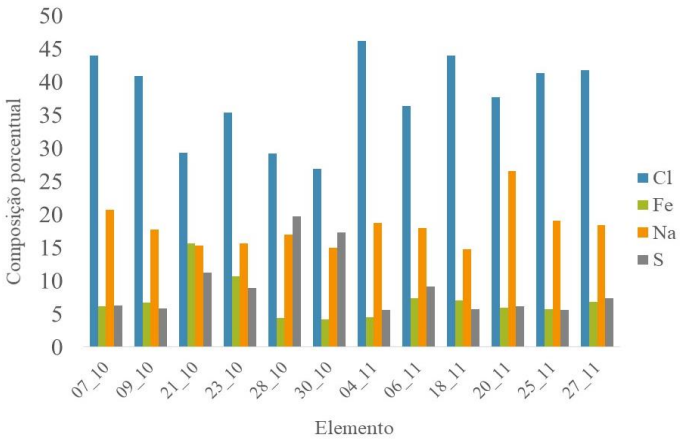
Figura 21. Concentração de MP em monitoramento externo, relativo ao período amostral de EMEP: (a) MP_{10} e (b) $MP_{2,5}$.

Para a melhor observação da composição química do ambiente exterior, os resultados foram classificados entre elementos majoritários e minoritários, baseados na faixa de concentração. Vale também ressaltar que a métrica escolhida para a apresentação dos resultados é a escala percentual, dada pela "composição porcentual". Desse modo, os percentuais apresentados, principalmente para Cl, representam a fração desses elementos baseada na determinação de um

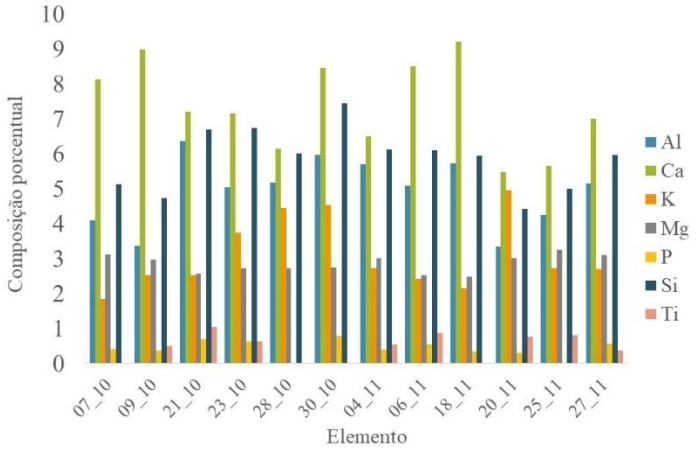
número limitado de elementos, sem contar também com a contribuição da fração orgânica do MP. Dentre os quatro elementos majoritários para MP_{10}, Cl é o de maior concentração e apresenta a maior variabilidade, enquanto Fe apresenta a menor variabilidade (Figura 22(a)). É possível notar, os níveis elevados de Ca entre a faixa de elementos minoritários, até mesmo com relação ao Al (Figura 22(b)). Fósforo e Ti apresentam a menor contribuição percentual. Em geral, espera-se que a composição do MP_{10} tenha esse tipo de perfil e os elementos sejam majoritariamente associados às fontes naturais. Maiores detalhes são fornecidos em seguida à luz de outros gráficos.

Com relação a composição química do $MP_{2,5}$ do ambiente exterior, nota-se que os elementos majoritários são os mesmos apresentados para o MP_{10}, ao passo que a variabilidade e tendência mudam (Figura 23(a)). Observa-se a tendência de aumento da concentração de Cl entre os dias 07/10 e 23/10 e seguida do intervalo 30/10 a 27/11. Nota-se a presença significativa de K com valor máximo de concentração em 28/10 (Figura 23(b)). A similaridade entre os perfis de concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ pode ser devido ao fato de que a concentração do último representa grande parte do primeiro.

Para avaliar a contribuição da composição de $MP_{2,5}$ sobre MP_{10}, calculou-se a relação $MP_{10}/MP_{2,5}$, para a qual valores maiores que a unidade, indicam que um dado elemento tem distribuição minoritária na fração $MP_{2,5}$ (Figura 24(a)) e valores menores do que a unidade indicam que um dado elemento tem distribuição majoritária em $MP_{2,5}$ (Figura 29). Nos dias 23/10, 28/10 e 30/10 observa-se que a concentração de Fe e Cl é majoritariamente distribuída em $MP_{2,5}$. Nos dias 20/11, 25/11 e 27/11 a concentração de Al, Fe e Cl é majoritariamente distribuída em $MP_{2,5}$.



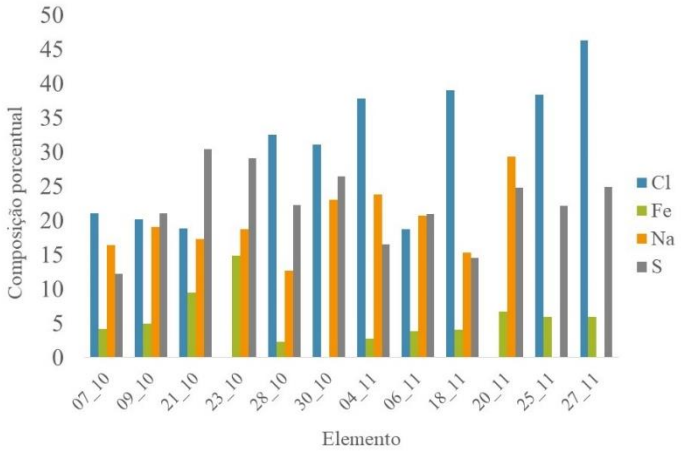
(a)



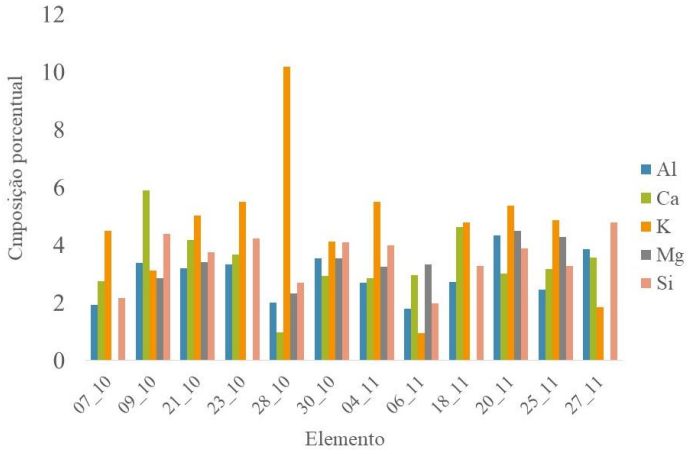
(b)

Figura 22. Composição química elementar do MP_{10} no ambiente externo considerando (a) os elementos majoritários e (b) os elementos minoritários.

A Figura 24(b) apresenta elementos com forte tendência de distribuição em $MP_{2,5}$ ($MP_{10}/MP_{2,5} < 1$), com destaque para S. Todos os elementos têm distribuição majoritária em MP_{10} em alguns dias da série; no entanto, para S a maior parte dos valores aponta para distribuição quase total em $MP_{2,5}$. Considerando-se que a forma mais comum de S na atmosfera é SO_4^{2-} esta observação corrobora a importância de aerossóis secundários na RMGV e direciona a incorporação deste analito em futuras extensões deste trabalho.

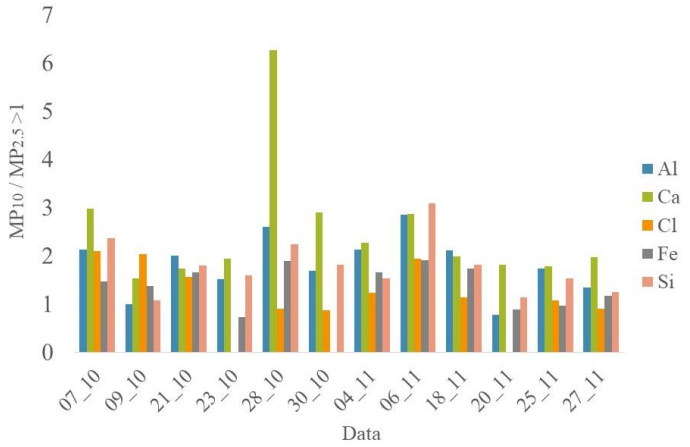


(a)

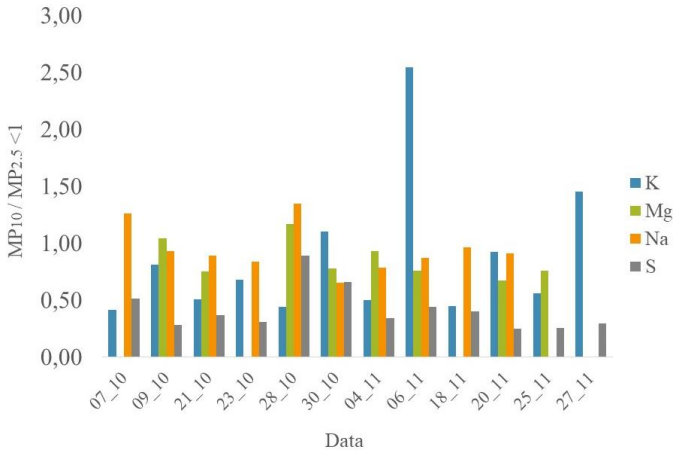


(b)

Figura 23. Composição química elementar do $MP_{2,5}$ no ambiente externo considerando (a) os elementos majoritários e (b) os elementos minoritários.



(a)



(b)

Figura 24. Razão $MP_{10}/MP_{2,5}$ no ambiente exterior (a) maior e (b) menor que a unidade.

5.4. Qualidade do ar nos ambientes interiores das escolas municipais investigadas

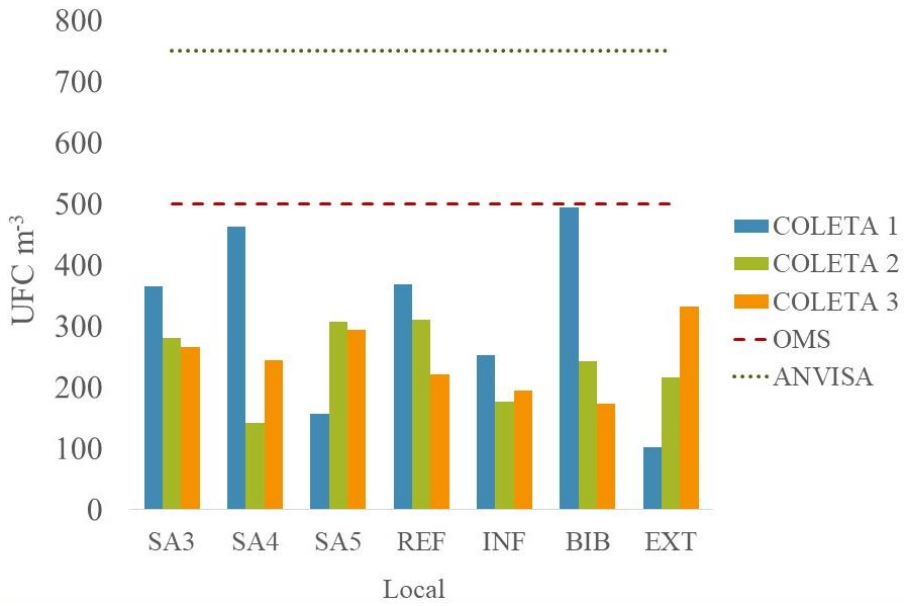
5.4.1. Níveis de concentração de fungos e sua caracterização fenotípica

A concentração média de fungos calculada para cada ambiente monitorado, nas três coletas, não superaram os limites estabelecidos pela ANVISA – Resolução N°9/2003 (750 UFC m^{-3}) e tampouco aqueles estabelecidos pela OMS (500 UFC m^{-3}). Os resultados de EMIM revelam que as maiores concentrações foram registradas durante a primeira coleta na biblioteca (BIB) e sala de aula 4 (SA4) com valores iguais a 494 UFC m^{-3} e 463 UFC m^{-3}, respectivamente (Figura 25 (a)). Para a escola EMEP, as maiores concentrações foram determinadas durante a primeira coleta na primeira sala de aula (SA1) e no refeitório (REF) com valores iguais a 323 UFC m^{-3} e 235 UFC m^{-3}, respectivamente (Figura 26 (a)). As concentrações em EMIM são maiores do que as concentrações em EMEP.

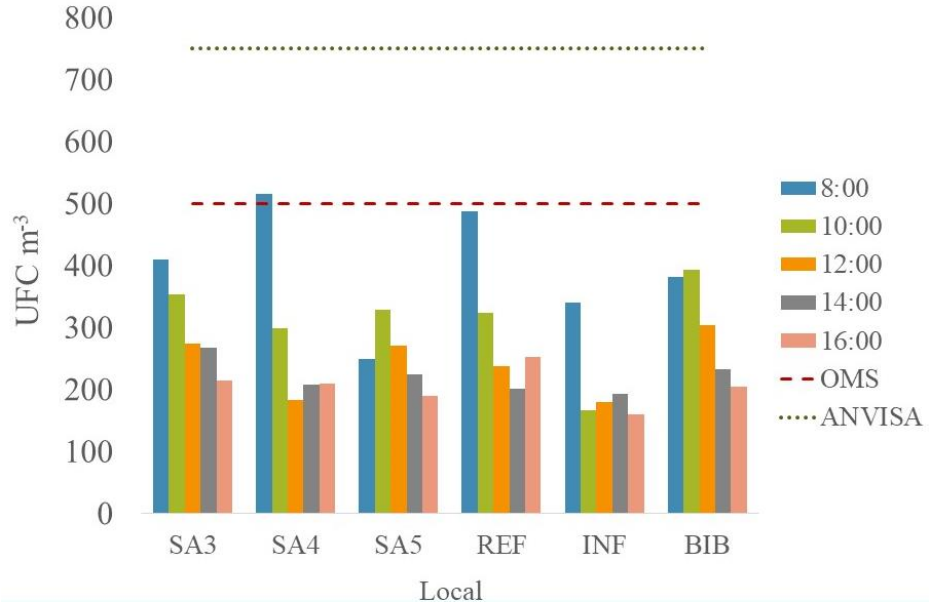
Ambientes com pequenas dimensões, pouca ventilação e acúmulo de livros tendem a apresentar os maiores valores de concentração de colônias de fungos. Um estudo realizado por Pegas et al. (2010) avaliou três escolas localizadas no centro da cidade de Lisboa, encontrou concentração total de fungos igual a 765 UFC m^{-3}, 934 UFC m^{-3} e 1634 UFC m^{-3} que foi atribuída à ventilação limitada e superlotação dos ambientes escolares (salas de aula) as quais utilizavam calefação, ventilação natural e portas e janelas frequentemente abertas. Madureira et al. (2016) reportaram concentrações entre 61 e 1322 UFC m^{-3} em ambientes internos escolares, não encontraram diferenças significativas entre a concentração de fungos externa e interna, ao contrário do nosso estudo. A diferencia nos resultados pode ser atribuído ao tamanho das salas e arquitetura dos edifícios, além do número de estudantes por sala que são fatores com o potencial de influenciar a concentração de microrganismos (MADUREIRA et al., 2016; PEGAS et al., 2010).

O comportamento da concentração de fungos nos ambientes teve relação com a presencia de pessoas dentro da sala, além da ventilação e tamanho das salas, quando os estudantes saíam ao recreio, a sala de artes ou educação física as colônias registradas foram menores, assim mesmo ambientes poucos ventilados comportavam se iguais como por exemplo no caso da EMIM (Figura 25 (a)) a biblioteca, salas de aula, no refeitório ao ser mais movimentado também apresentou concentrações maiores, isso a diferencia da sala de informática que possui ar condicionado com manutenção ao dia e a sala 5 que tem menor número de estudantes. A EMEP

(Figura 26 (a)) tem espaços maiores o qual justifica a menor concentração de fungos, as salas com ar condicionado cuja manutenção foi há pouco tempo também apresenta menores concentrações que a sala sem ar condicionado (sala 1).



(a)

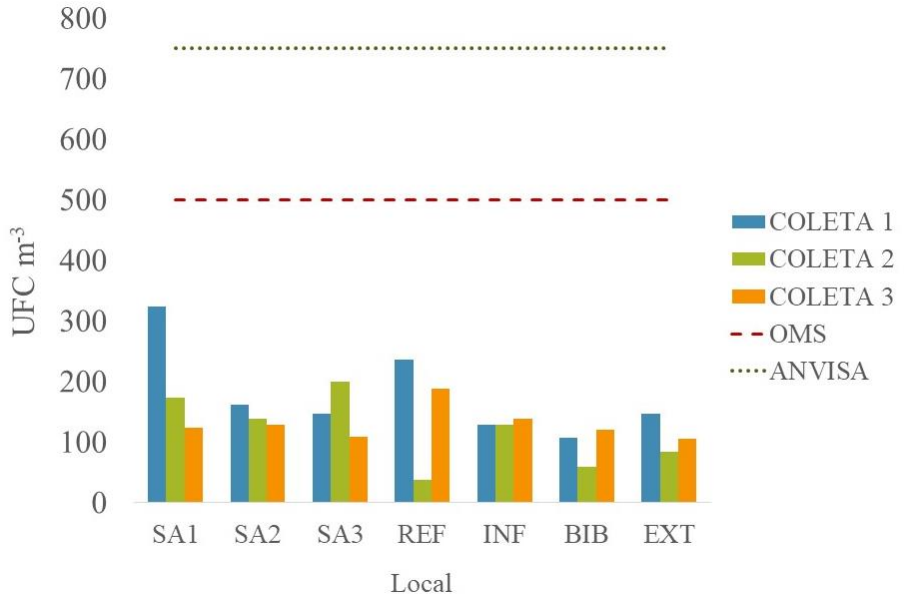


(b)

Figura 25. Contagem dos fungos nos ambientes internos da EMIM: (a) concentração média por coleta do dia (b) concentração média em cada horário de amostragem.

Com respeito as coletas por hora, nota-se que, nas duas escolas, as maiores concentrações ocorreram entre 8:00 e 12:00 h (Figura 30 b, Figura 31 b) e diminuíram entre 14:00 e 16:00 h.

Esse comportamento ocorre em virtude do aumento da circulação entre a abertura da escola e o fim do dia letivo, uma vez que o prédio permanece fechado durante toda a noite (BASIŃSKA et al., 2019). A presencia humana produz incremento na presença de fungos (QIAN et al., 2012) neste estudo é importante mencionar que os horários de coleta nos quais teve presença de alunos registraram valores maiores que quando as salas estavam vazias.



(a)

(b)

Figura 26. Contagem dos fungos nos ambientes internos da EMEP: (a) concentração média por coleta do dia (b) concentração média em cada horário de amostragem.

O maior número de colônias fúngicas foi identificado em EMIM, um total de 27 colônias, ao passo que em EMEP 24 colônias foram identificadas. A despeito do menor número de colônias, a última escola apresentou a maior variabilidade de gêneros (Figura 27). Os gêneros mais presentes nos ambientes internos foram *Aspergillus*, *Clasdosporium* e *Penicillium*. Os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são comumente encontrados em ambientes internos, desde ambientes internos escolares (GODWIN; BATTERMAN, 2007) até estações de pesquisa na Antártida (PAGEL et al., 2017) Os Fungos do tipo *Dematiaceous* e do género *Curvularia* são de saprófitos , estão presentes na matéria orgânica transportados pelo ar (CALIGIORNE et al., 2019), sua presença na EMEP é justificada pela existência de um morro na frente da escola onde se localiza um acúmulo de vegetação, a *Curvularia* identificada na EMIM encontrou se na sala de informática a qual sua janela fica ao lado de um jardim.

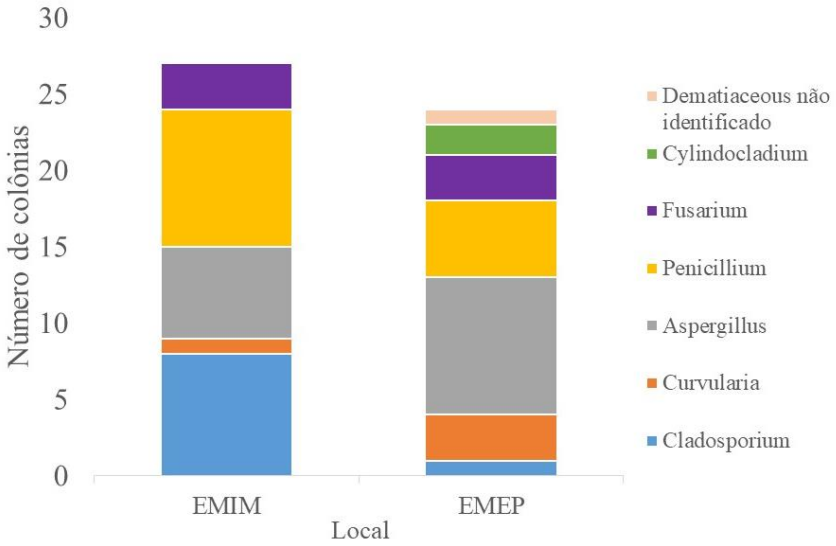


Figura 27. Identificação de fungos nos ambientes internos das escolas.

5.4.2. Níveis de concentração de NO_2

A Figura 28 revela que as fontes de NO_2 indoor são em geral maiores, com exceção da biblioteca, do que os valores observados na estação de monitoramento, que por sua vez encontra-se em área com influência veicular desprezível. Devido a dificuldades técnicas, a medição de NO_2 ocorreu apenas na escola EMIM.

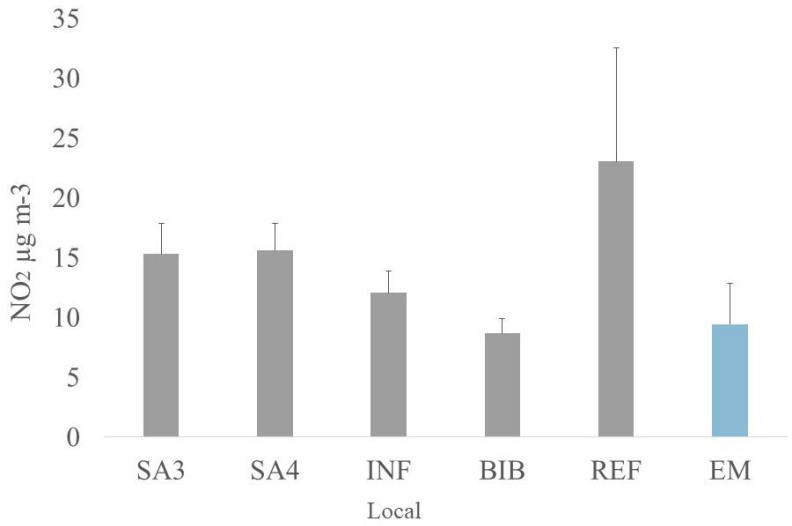


Figura 28. Concentração média horária de NO_2 nos ambientes internos e externo de EMIM.

Dentre todos os ambientes monitorados, o refeitório é aquele que apresenta a maior concentração de NO_2 23 µg m^{-3} e isto pode ser explicado devido à geração do poluente por processos de combustão. No entanto, os dados mostram que a influência de fontes externas sob a concentração interna também não segue uma relação direta para os outros ambientes (Figura 21). Com exceção do refeitório, a concentração de dióxido de nitrogênio, que varia entre cerca de 7 µg m^{-3} a 17 µg m^{-3}, esta em concordância com valores determinados de médias de concentrações internas por exemplo na Escandinávia 10 µg m^{-3} a 15 µg m^{-3} na transição para o segundo milênio (JARVIS et al., 2010).

Postula-se que os elevados níveis no refeitório se relacionam à presença de forno a gás. Simoni et al. (2002) determinaram valores em ambientes internos de NO_2 na área rural do delta do rio Po em Veneza e encontraram médias semanais de 62 µg m^{-3} e 38 µg m^{-3} para as estações de inverno e verão, respectivamente.

5.4.3. Níveis de concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ e sua composição química elementar

Conforme esperado, a concentração de material particulado não ultrapassou os limites da Resolução CONAMA no. 491/2018 (média de 24 horas) para MP_{10} (120 µg m^{-3}) e para $MP_{2,5}$ (65 µg m^{-3}), em nenhuma das duas escolas. Todavia, as diretrizes da OMS para MP_{10} (50 µg m^{-3}) e $MP_{2,5}$ (25 µg m^{-3}) foram ultrapassadas em 2 ambientes na EMIM (SA4 e REF) e na EMEP (SA1 e REF), da mesma maneira ultrapassaram os limites da legislação para ambientes internos do Canadá $MP_{2,5}$ (28 µg m^{-3}) EMIM (SA4) e EMEP (SA1 e REF) (Figuras 29 e 30). Com

respeito ao $MP_{2,5}$, na EMEP, a diretriz da OMS foi ultrapassada nos mesmos locais onde a diretriz para MP_{10} foi ultrapassada. De modo comum, observa-se que os refeitórios escolares apresentam concentrações elevadas de MP. Além das fontes internas características de uma cozinha de grandes dimensões, vale ressaltar que nas duas escolas os refeitórios situam-se no térreo do prédio e podem sofrer maior influência do ambiente externo, enquanto os outros ambientes encontram-se em níveis acima do térreo. Na EMEP, o ambiente SA1 pode ter concentração elevada atribuída à ventilação natural e disposição de janelas com vista para a rua principal.

Ao medir MP_{10} e $MP_{2.5}$ em salas de aula, Madureira et al. (2015) observaram que as diretrizes da OMS para 24 horas são excedidas e as concentrações internas são superiores às concentrações externas. Em salas de aula, onde não existem fontes de contaminação (e.g., fumo, atividades de cozinha), a presença de $MP_{2.5}$, explica-se em função da penetração de ar oriundo do ambiente externo (VAN DER ZEE et al., 2017).

Nos resultados desta dissertação, observa-se também que a concentração de $MP_{2,5}$ no ambiente interno é maior do que a concentração de $MP_{2,5}$ no ambiente externo (Figuras 20 e 21). Essa interpretação é válida para atmosferas urbanas, influenciadas por tráfego veicular e zonas industriais, mas pode não aplicar-se à ambientes rurais (YANG et al., 2015).

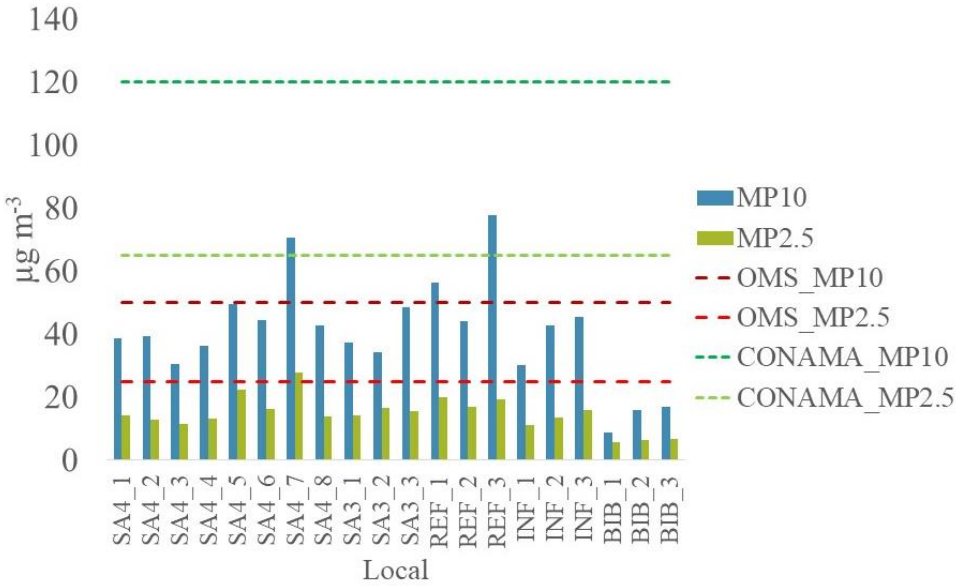


Figura 29. Concentração média de 24 horas de MP_{10} e $MP_{2,5}$ nos ambientes internos da EMIM.

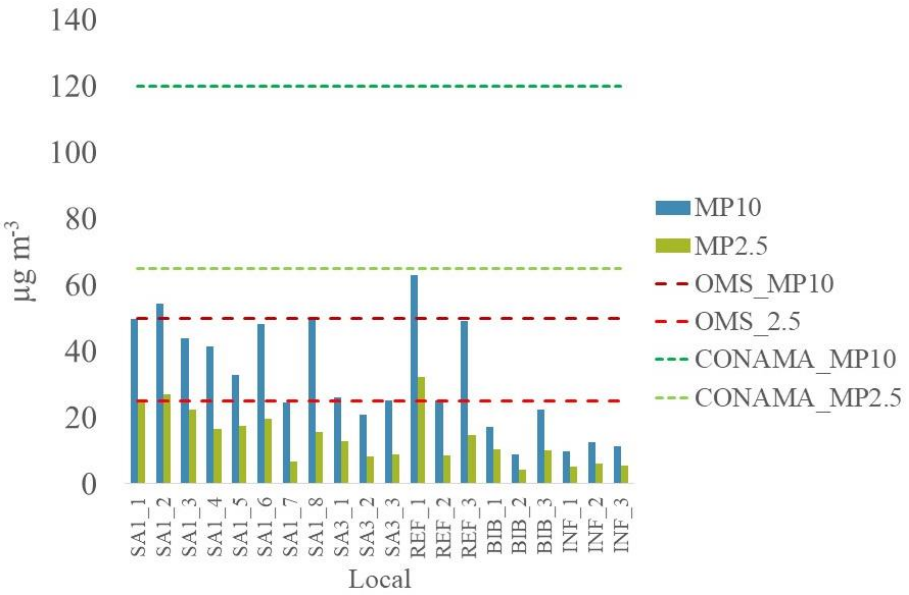
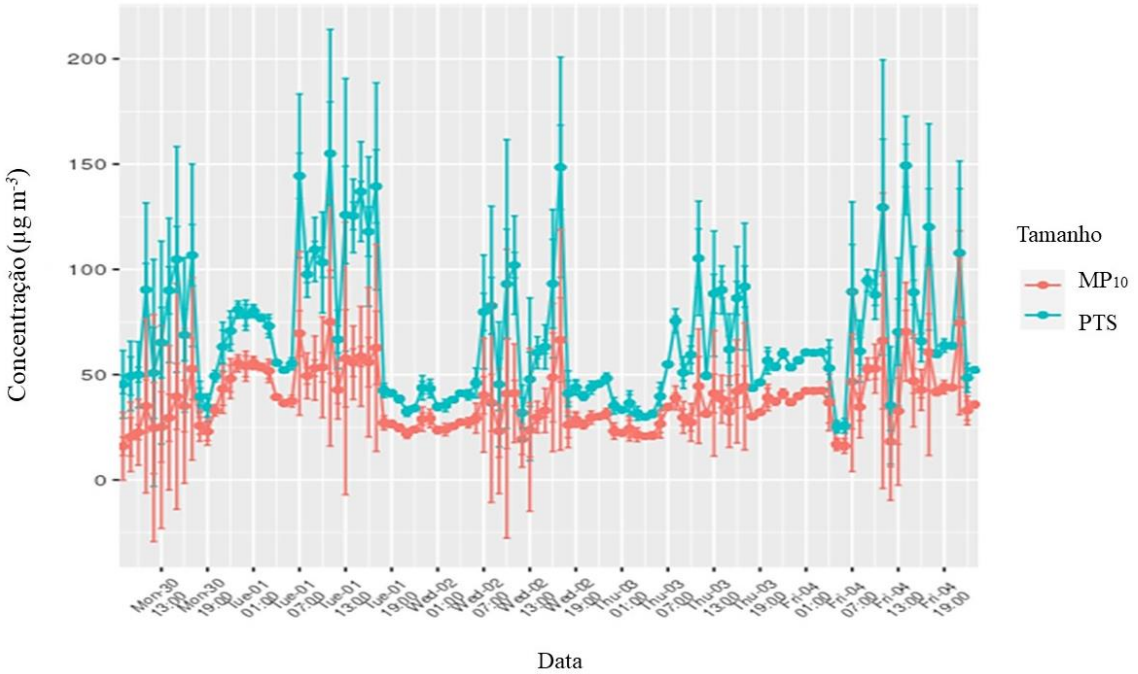


Figura 30. Concentração média de 24 horas de MP_{10} e $MP_{2,5}$ nos ambientes internos da EMEP.

A fim de avaliar detalhadamente a evolução da concentração de MP nas duas escolas, os ambientes SA4 (EMIM) e SA1 (EMEP) foram monitoradas por 1 semana e as médias horárias para PTS, MP_{10}, $MP_{2,5}$ e MP_1 são apresentadas nas Figuras 31 e 32. As diferenças entre os gráficos estão em concordância com os horários de funcionamento de EMIM (07:00 às 21:30 h) e EMEP (07:00 às 16:00 h). Nessas faixas de horário, observa-se os maiores registros de concentração de MP.

A serie temporal permite nos identificar que as concentrações de material particulado estão influenciadas principalmente pela presença das pessoas nos ambientes internos, horários onde os estudantes das salas saiam para receber educação física, artes ou nos momentos da refeição e recreio os níveis diminuíam consideravelmente. Assim, como os picos presentes nos horários de entrada e saída dos alunos onde sua movimentação ocasiona a ressuspençaõ das partículas.

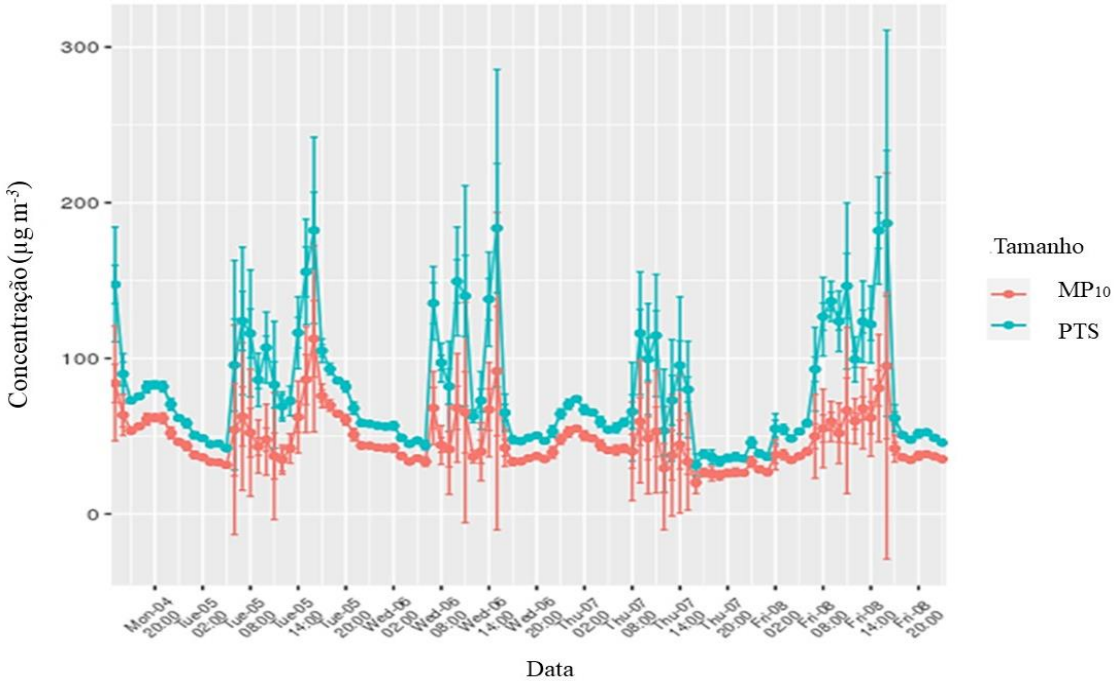
De acordo ao estudo de Rovelli et al., 2014 em Milão que avalio os níveis de material particulado en salas de aula identificou que as partículas mais grossas são as que se incrementam no momento de atividades dentro das salas, já nos horários onde as salas permaneciam vazias a concentração de material particulado diminuía e as partículas mais finas eram as primordiais. Esse resultado concorda com o comportamento das concentrações de nosso estudo.



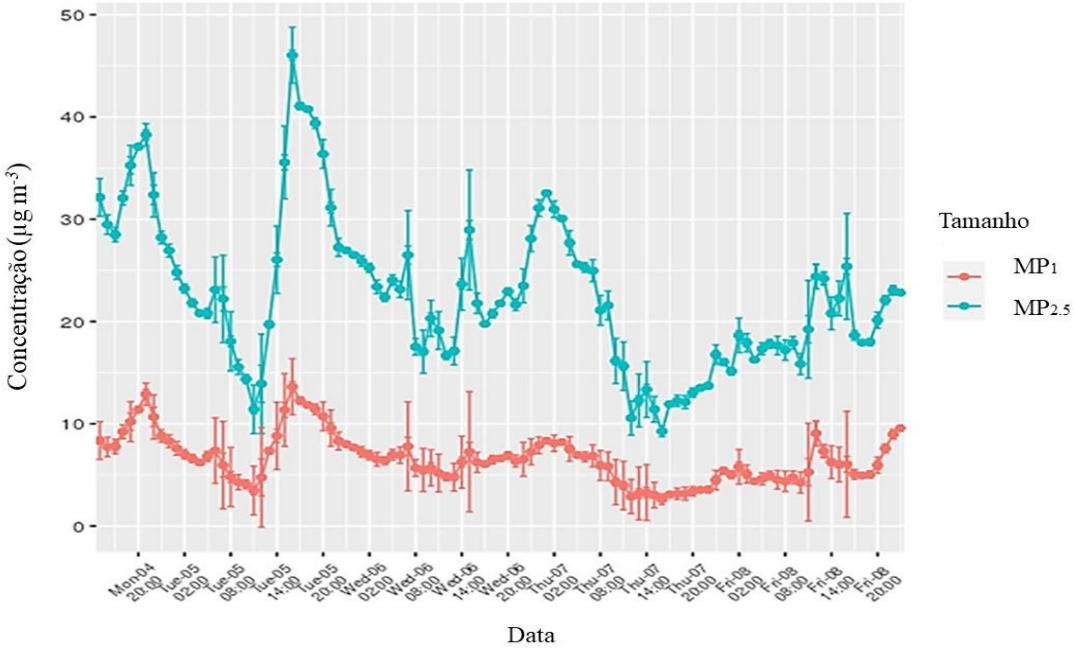
(a)

(b)

Figura 31. Série temporal da concentração média horária na sala de aula SA4 da EMIM (30/09 - 04/10): (a) PTS e MP10 e (b) MP2,5 e MP1.



(a)

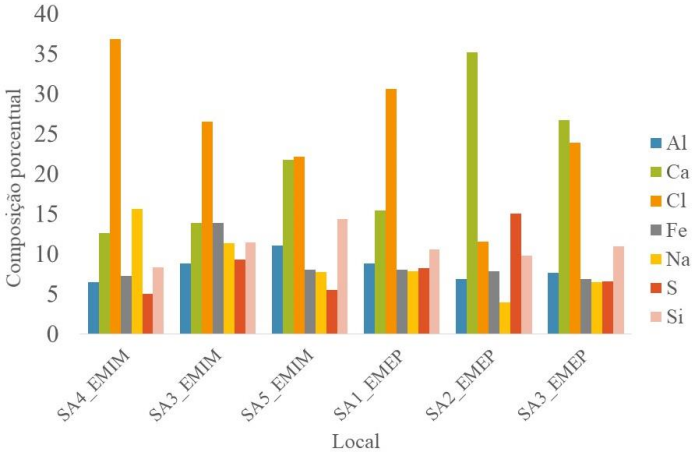


(b)

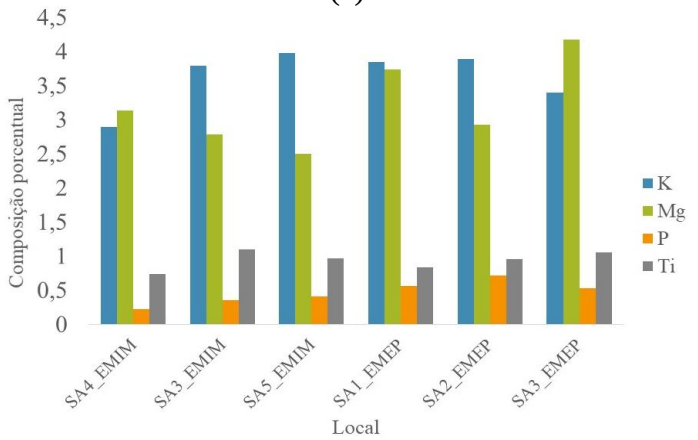
Figura 32. Série temporal da concentração média horária na sala de aula SA1 da EMEP (04/11 - 08/11): (a) PTS e MP_{10} e (b) $MP_{2,5}$ e MP_1.

A composição química do MP_{10} interno aponta Cl e Ca como elementos majoritários ao lado de Si, Na, Al e S (Figura 33). Embora Cl seja comumente associado ao sal marinho, uma fonte significativa desse elemento na RMGV pode ser o processo de sinterização (Galvão et al.,

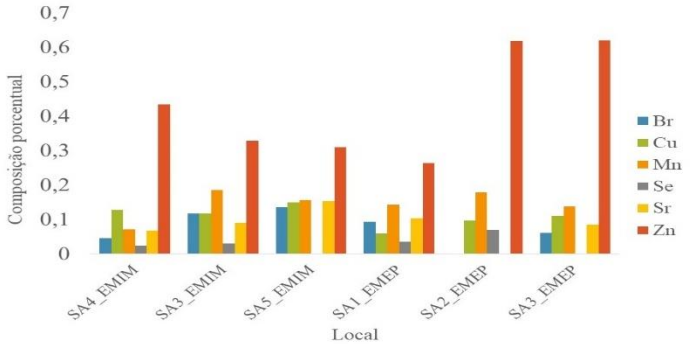
2019). No entanto, a influência de sal marinho não pode ser descartada, especialmente para EMIM, que se localiza próximo ao mar. Entre os elementos minoritários, chama atenção a representatividade de K e Mg, seguida pela presença de P e Ti em menor proporção (Figura 24).



(a)



(b)

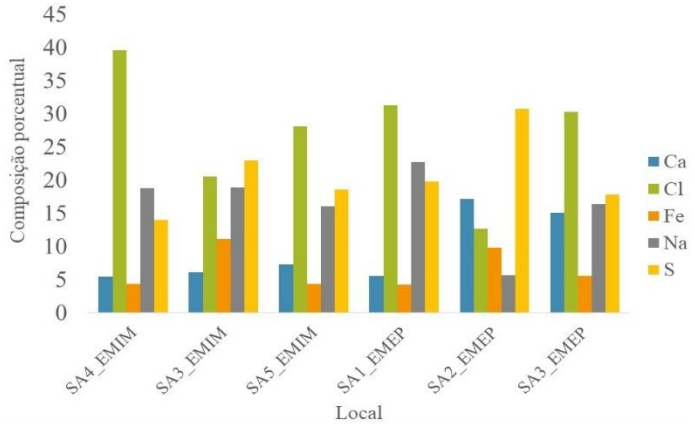


(c)

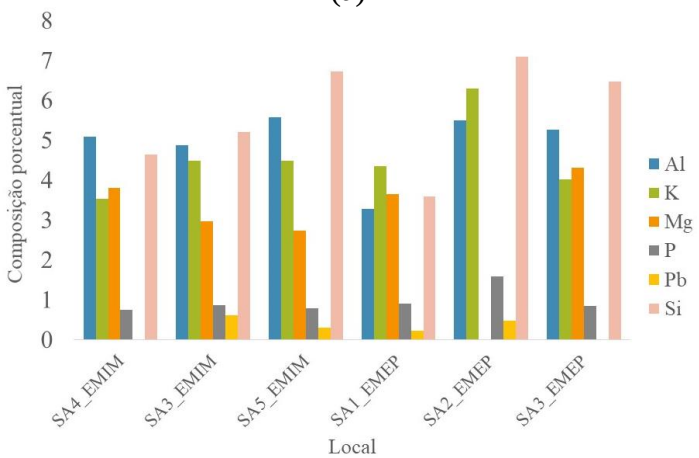
Figura 33. Composição química elementar do MP_{10} nos ambientes internos considerando (a) os elementos majoritários e os elementos minoritários (b) até 4,5% e (c) até 0,7%.

Com respeito a composição de $MP_{2,5}$, nota-se maior variabilidade dos níveis de concentração dos elementos; no entanto, os elementos majoritários permanecem Cl, S, Na e Ca (Figura 34(a)). É de conhecimento comum que a presença do Cl está associada ao sal marinho, esse elemento faz parte de partículas grossas, mas também das finas. Para corroborar esse fundamento, assim como o valor máximo de Cl foi observado no ambiente SA4 (EMIM) para MP_{10}, o comportamento repetiu-se para $MP_{2,5}$.

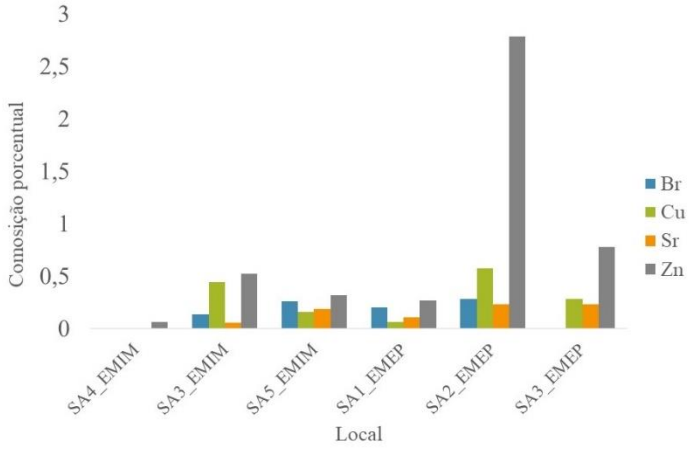
Estudos na RMGV e regiões de características socioeconômicas similares apontam a presença de Cl associada a fontes antropogênicas (BENNETT et al., 2019; GALVÃO, 2018) e essa interpretação é ainda mais imprescindível para as partículas inaláveis finas. Processos industriais como a sinterização e fornos de coque podem ser listados como possíveis fontes de Cl (BENNETT et al., 2019; GALVÃO, 2018). Entre os elementos minoritários associados ao $MP_{2,5}$, vale atentar para a presença de Si, Al, K, Mg, P e Zn (Figura 34(b) e (c)). Zinco é geralmente associado à perfis químicos de siderurgia, altos fornos, fornos de coque e fornos de pelotização (GUO et al., 2017; YANG et al., 2015).



(a)



(b)

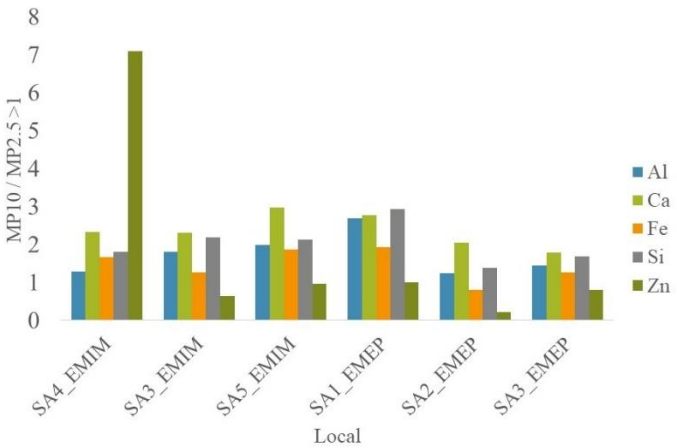


(c)

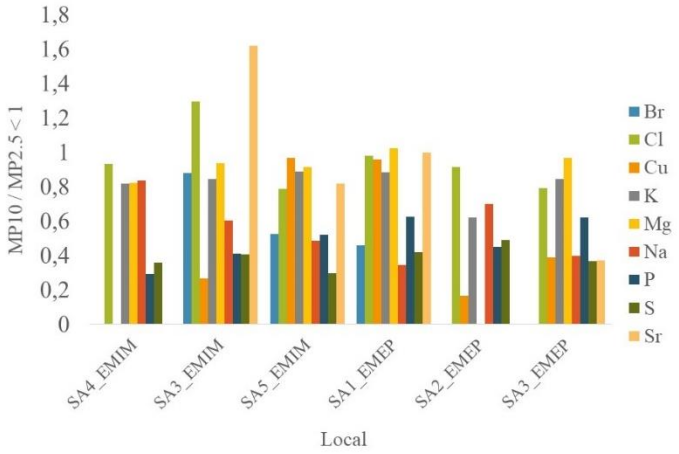
Figura 34. Composição química elementar do $MP_{2,5}$ nos ambientes internos considerando (a) os elementos majoritários e os elementos minoritários (b) até 8% e (c) até 3%.

A Figura 35(a) indica que elementos como Al, Ca, Fe e Si são elementos que vem principalmente do material particulado grosso MP_{10}. De acordo com Bennett et al. (2019) as contribuições dessa fração do MP em ambientes interiores devem-se ao transporte de elementos componentes da crosta terrestre através dos calçados ou roupa dos estudantes, os quais uma vez dentro da sala podem ficar em suspensão no ar devido ao movimento de pessoas dentro da sala.

A literatura reporta experimentos realizados em 17 escolas Finlandesas onde a remoção de calçados melhorou significativamente a qualidade do ar interior (LEPPÄNEN et al., 2020). Na Figura 35(b), nota-se que o S tem contribuição majoritária da fração fina, que pode ser um indicativo de sua presença na forma de aerossóis secundários (partículas de sulfato).



(a)



(b)

Figura 35. Razão $MP_{10}/MP_{2,5}$ nos ambientes internos das escolas investigadas (a) maior e (b) menor que a unidade.

5.4.4. Relações entre a concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ e NO_2 nos ambientes externo e interno

A razão I/O (do inglês, indoor/outdoor) expressa a relação entre a concentração do ambiente interno e externo. A Figura 36 apresenta as relações entre as concentrações de NO_2 do ambiente interno e externo para diferentes ambientes internos na EMIM. Como dito anteriormente, somente foram monitoradas as concentrações de NO_2 no ambiente interno da EMIM e, portanto, não são apresentadas essas mesmas relações para a EMEP. A razão I/O da concentração de NO_2 variou entre 0,92 (Biblioteca) a 2,44 (Refeitório) nos ambientes monitorados, o que reforça a significância de fontes internas, conforme observado na Figura 36.

A literatura relata que a abertura gerada pela instalação de equipamentos como ar-condicionado e janelas possibilitam a infiltração de NO_2 presente no ar externo (JARVIS et al., 2010; LEE et al., 2002), e os níveis de NO_2 determinados na sala de informática e biblioteca podem ter relação com a presença de equipamentos de ar-condicionado nestes ambientes. Quanto as salas de aula (SA3 e SA4), esses ambientes não possuem equipamento de ar-condicionado e os elevados níveis podem ser associados a sinergia entre ao menos dois fatores: 1) ventilação e 2) caraterísticas de superfícies (móveis e janelas) (JARVIS et al., 2010; SALONEN et al., 2019). Alguns matérias podem causar incrementos à concentração de NO_2 devido à infiltração de ar exterior (RIVAS et al., 2015) e a circulação de ar inadequada pode levar ao acúmulo de NO_2 e outros poluentes (SALONEN et al., 2019).

Em ambientes internos, as concentrações de NO_2 podem ser atribuídas ao grau de remoção ocasionado por reações heterogêneas em superfícies, que variam com o tipo de material de construção como drywall, blocos de concreto, tapetes de lã e tijolos assim também umidade relativa na sala, os mecanismos incluíam reações com água e reações com matérias orgânicos (SPICER et al., 1989). Além da toxicidade inata ao NO_2, na presença de Cl_2 e poeira mineral (Al_2O_3), há também a possibilidade de geração de aerossóis secundários (TANG et al., 2018). Uma possível solução para a diminuição dos níveis de NO_2 seria a melhor ventilação das salas, bem como o uso de procedimentos de catálise heterogênea para a remoção de NO_x e O_3 (CHEN, et al., 2018).

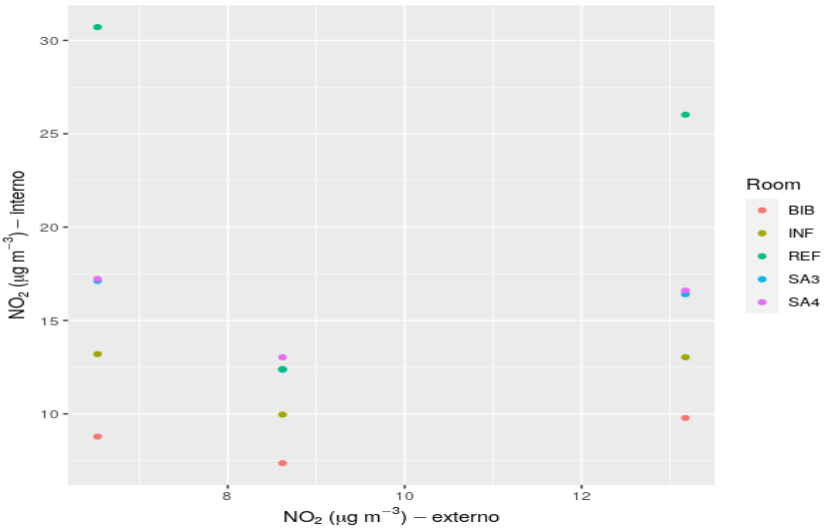
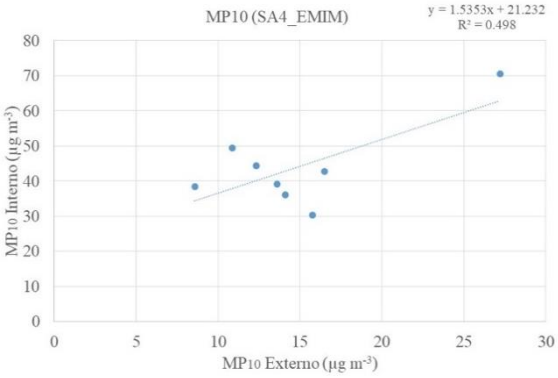


Figura 36. Relação da concentração de NO_2 exterior/interior na EMIM.

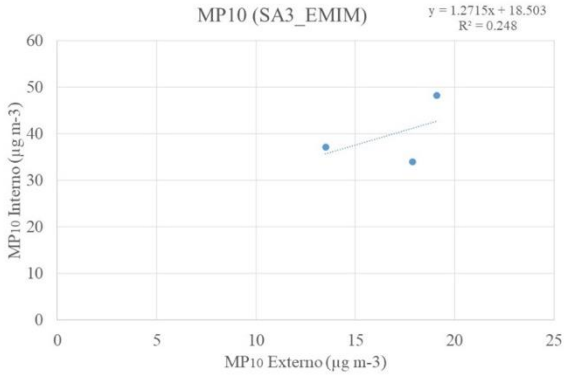
A Figura 37 apresenta a relação entre as concentrações de MP_{10} entre os ambientes interno e o externo para EMIM. Usando o coeficiente angular da equação de regressão como expressão da razão I/O, nota-se que para todos os ambientes há a predominância de fontes internas, especialmente para o refeitório. Para a biblioteca, postula-se que este é um ambiente limpo, com movimentação limitada e influência externa quase desprezível. A Figura 38 apresenta a relação entre as concentrações de MP_{10} entre os ambientes interno e o externo para EMEP. O ambiente SA1 possui razão I/O característica de influência do ambiente externo. O nível de MP_{10} no ambiente SA3 não possui qualquer relação com o ambiente externo, dada sua razão I/O de cerca de – 0.006.

Este fato pode ser justificado pelo afastamento do ambiente do fluxo de estudantes e uso de ar-condicionado para o controle de temperatura. A relação I/O para o refeitório aponta a grande

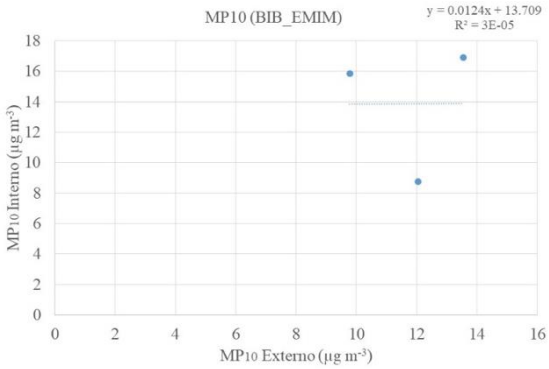
importância de fontes internas. De modo semelhante, a biblioteca apresenta fontes internas mais significativas do que às externas.



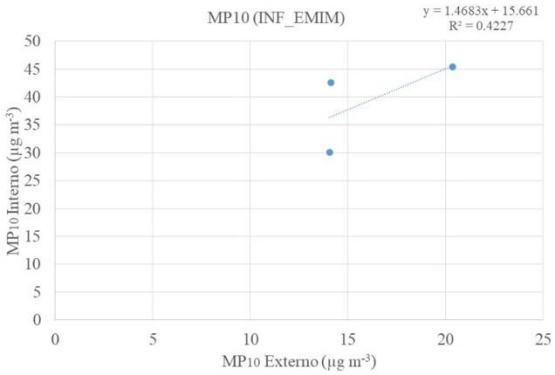
(a)



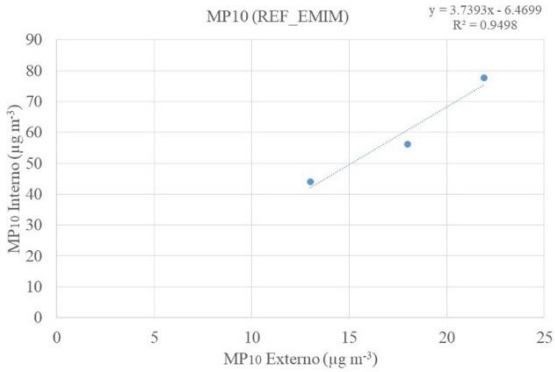
(b)



(c)

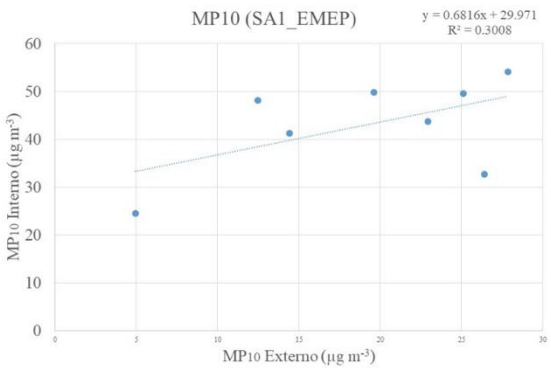


(d)

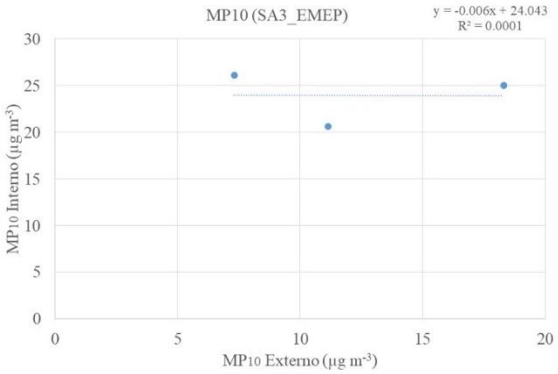


(e)

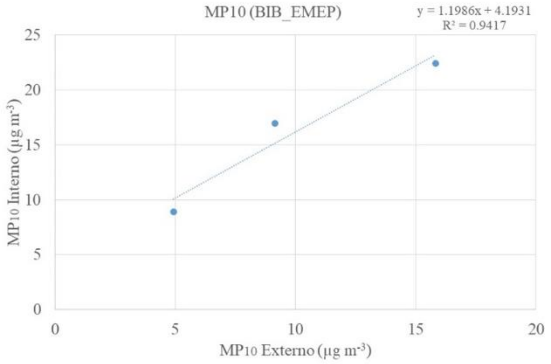
Figura 37. Correlação MP_{10} exterior/interior da EMIM (a) na sala de aula SA4, (b) na sala de aula SA3, (c) na biblioteca BIB, (d) na sala de informática INF e (e) no refeitório REF.



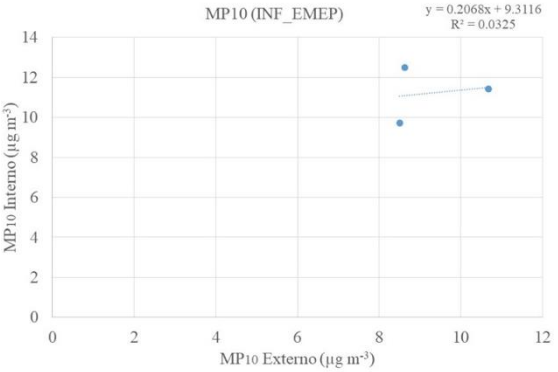
(a)



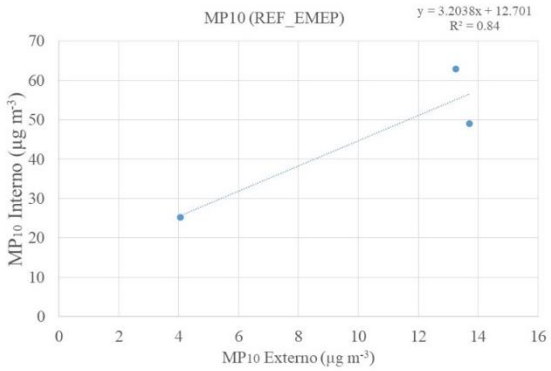
(b)



(c)



(d)



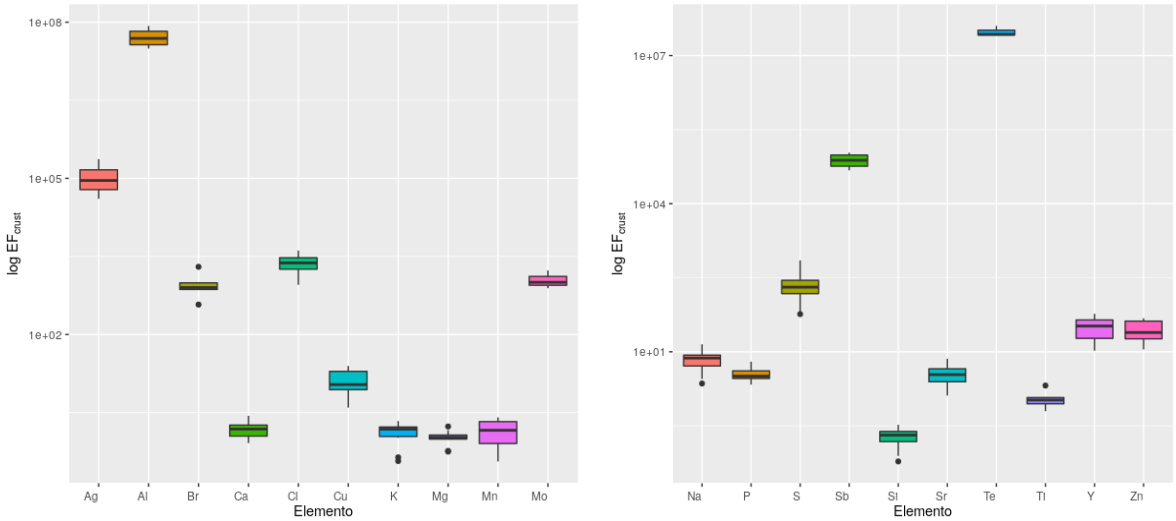
(e)

Figura 38. Correlação MP_{10} exterior/interior da EMEP (a) na sala de aula SA1, (b) na sala de aula SA3, (c) na biblioteca BIB, (d) na sala de informativa INF e (e) no refeitório REF.

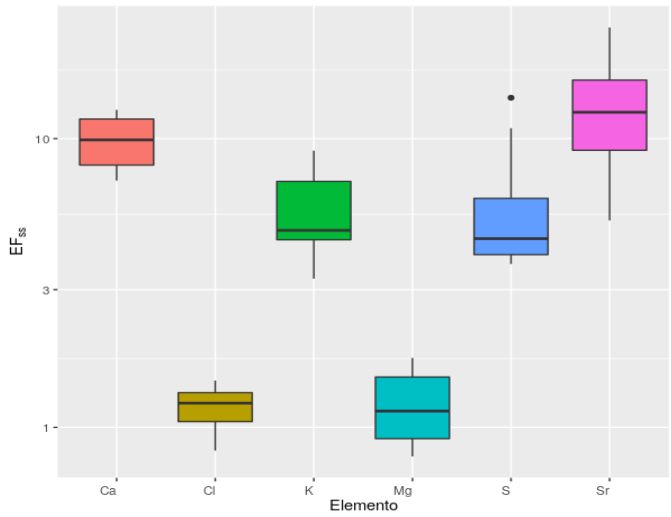
5.5. Atribuição de fontes responsáveis pela contribuição de MP_{10} e $MP_{2,5}$

A fim de verificar a extensão de influência das fontes naturais majoritárias para a composição do MP, os fatores de enriquecimento para solo (EF_crust) e água do mar (EF_ss) foram

calculados. Para a melhor visualização dos dados de EF_crust, os dados são apresentados em escala logarítmica decimal. Os elementos para o qual EF > 10 podem ser considerados majoritariamente influenciados por outra fonte que não a fonte de referência, com incerteza desprezível (DE PAULA et al., 2015; KAVURI et al., 2015). No entanto, é possível inferir enriquecimento uma vez que o EF é maior do que a unidade (BOZLAKER et al., 2017; LEDOUX et al., 2017). Desse modo, pode-se afirmar com boa confiabilidade (Figura 39(a)) que Ag, Al, Cl, Mo, S, Sb, Te, Y, e Zn possuem outras fontes que não a crosta terrestre. Alguns destes elementos já foram associados a emissões de indústria de aço e ferro (MACHEMER, 2004); no entanto, os resultados de caracterização química elementar deste trabalho tem caráter exploratório e devem ser comparados com outras técnicas analíticas. Com respeito aos elementos associados ao sal marinho, nota-se que com exceção do Ca e Sr, os demais elementos tem o spray marinho como principal fonte (Figura 39(b)).



(a)



(b)

Figura 39. Fator de Enriquecimento do MP_{10} no ambiente externo relativamente a (a) crosta terrestre e (b) ao sal marinho.

A partir da análise exploratória da influência de fontes naturais ao MP_{10} externo pode-se de modo mais detalhado avaliar as correlações entre os elementos e construir agrupamentos (Figura 40). Ao menos três grandes agrupamentos podem ser vistos: agrupamento 1 (Si, Al, MP_{10}), agrupamento 2 (S, P, Ti, Fe, Ca, K), e agrupamento 3 (Na, Mg, Cl).

O agrupamento 1 representa os elementos mais relacionados com a massa do MP, os elementos majoritários, que de acordo com o EF_crust tem fontes relacionadas à crosta terrestre (Si) como outras que não a crosta terrestre. O agrupamento 2 é o mais complexo e congrega pares de elementos de classes vizinhas na tabela periódica (S e P; K e Ca) e metais de transição (Ti e Fe). Baseado no EF_ss para K e Ca (Figura 40), este grupo parece ter associação com fontes antropogênicas dominantes na RMGV, mas possui sem dúvidas fontes naturais. O grupo 3 mostra-se inteiramente relacionado ao spray marinho (Figura 39, Figura 40).

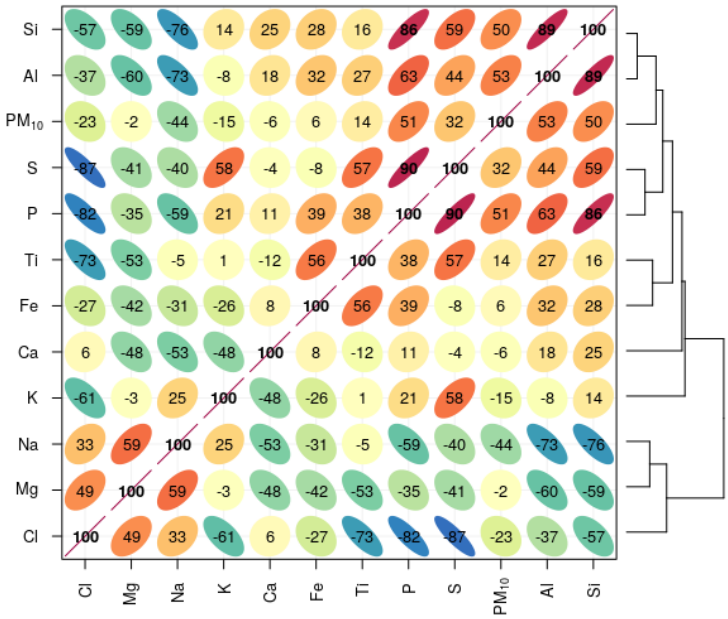


Figura 40. Correlação e clustering dos elementos químicos presentes no MP_{10} no ambiente exterior.

A relação I/O para os elementos durante todo o período de amostragem (30/09/2019 até 01/12/2019) pode ser verificada a partir do coeficiente angular da equação de regressão linear entre as concentrações do ambiente interior (ind) e exterior (out) para o MP_{10} (Figura 41). Elementos como S, P, Ca e Na apontam relação inversamente proporcional entre o ambiente interno e externo. Postula-se que para estes elementos não sejam transportados para o ambiente indoor de modo eficiente, como através de calçados. Em contrapartida, Ti, Fe, K, Mg e Cl são transportados ao ambiente interior efetivamente, o que pode ser inferido na relação I/O < 1 para esses elementos.

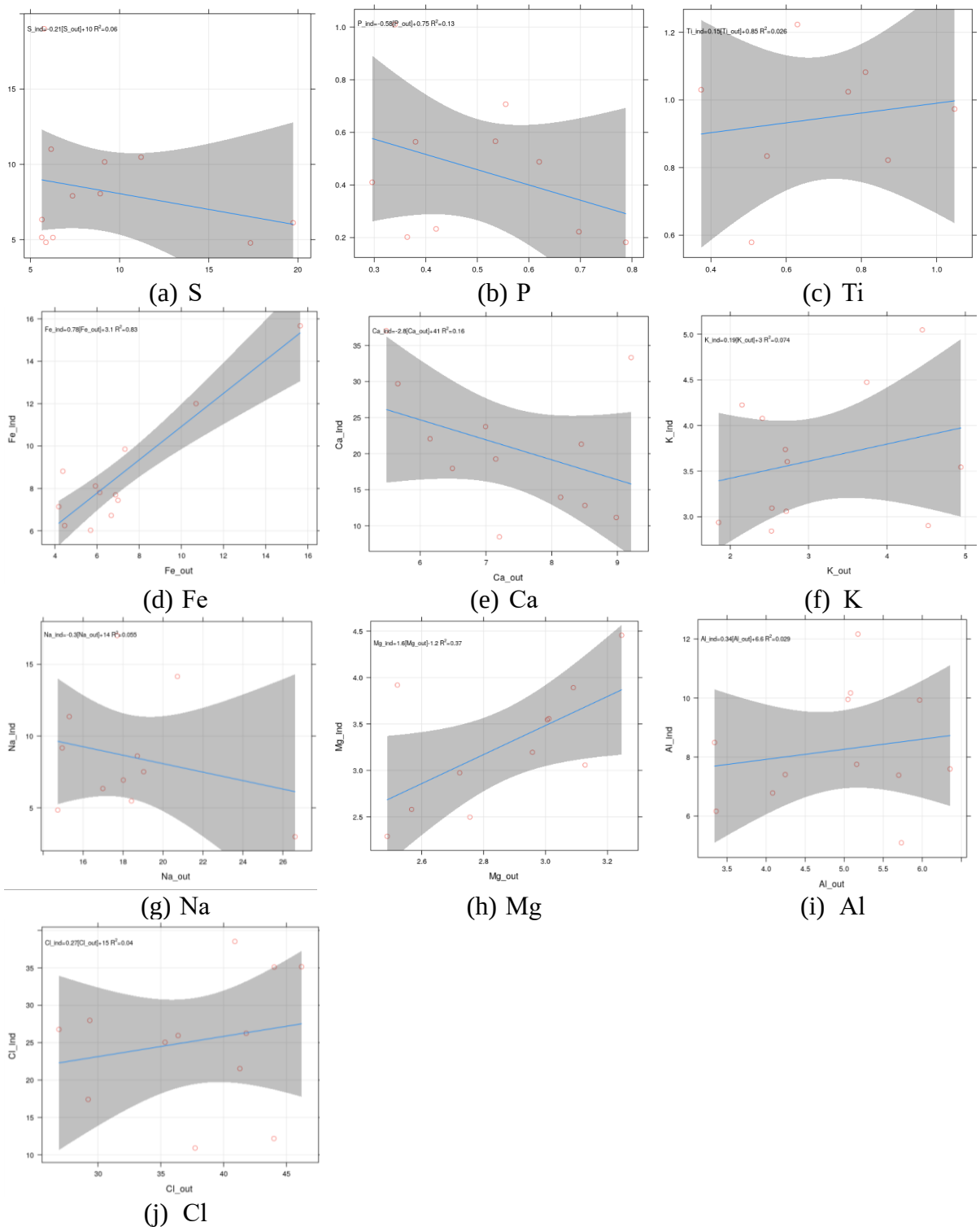
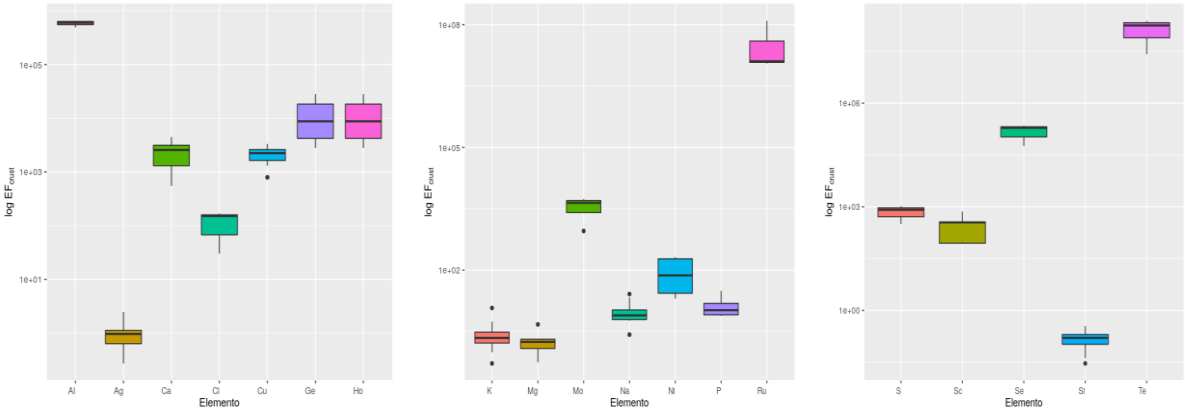
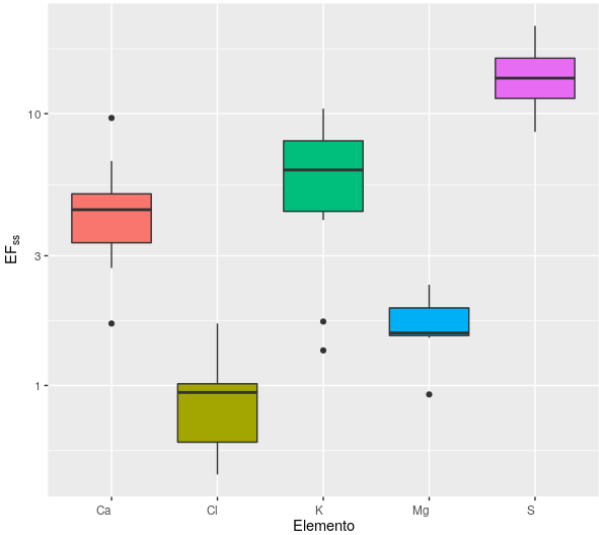


Figura 41. Correlação da concentração de elementos químicos no MP_{10} entre os ambientes interior e exterior.

Os elementos associados a $MP_{2,5}$ que possuem outra fonte que não a crosta terrestre são Al, Ca, Cl, Cu, Ge, Ho, Mo, Ni, Ru, S, Sc, Se e Te (Figura 42(a)). Sugere se com trabalho futuro, a caracterização de elementos relacionados ao tráfego veicular (TRE, do inglês, *traffic related elements*), grupo do qual entre outros elementos Cu, Mo, e Ni fazem parte (MATEUS et al., 2013). Com respeito aos elementos associados ao sal marinho, nota-se que Ca e K apresentam certo grau de enriquecimento e sem dúvidas S possui outras fontes que não o spray marinho (Figura 42(b)).



(a)



(b)

Figura 42. Fator de Enriquecimento do $MP_{2,5}$ no ambiente externo relativamente a (a) crosta terrestre e (b) ao sal marinho.

Baseado na comparação entre as Figuras 40 e 43, nota-se a maior complexidade de atribuição de fontes associadas ao $MP_{2,5}$, uma vez que o número de pares de correlações lineares acima de 0,70 entre os pares é menor. Uma possibilidade é dividir o conjunto de dados em 3

agrupamentos: agrupamento 1 (S, Fe, Si, Al), agrupamento 2 (Na, Mg, Ca), e agrupamento 3 (Cl, $MP_{2.5}$ e K).

O agrupamento 1 congrega elementos com EF_crust de origem natural e antropogênica. O agrupamento 2 é um grupo de cátions que, em extensões desta pesquisa, pode ser investigado para verificação da relação com a neutralização de aerossóis secundários (GALINDO et al., 2011; SQUIZZATO et al., 2013).

O grupo 3 representa relacionados a concentração mássica do MP, e contém dois elementos presentes em fontes tanto naturais quanto antropogênicas.

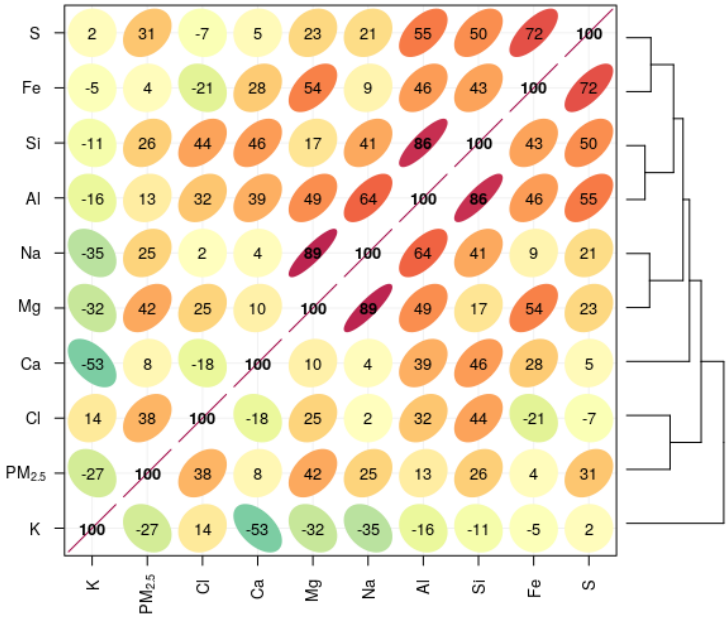
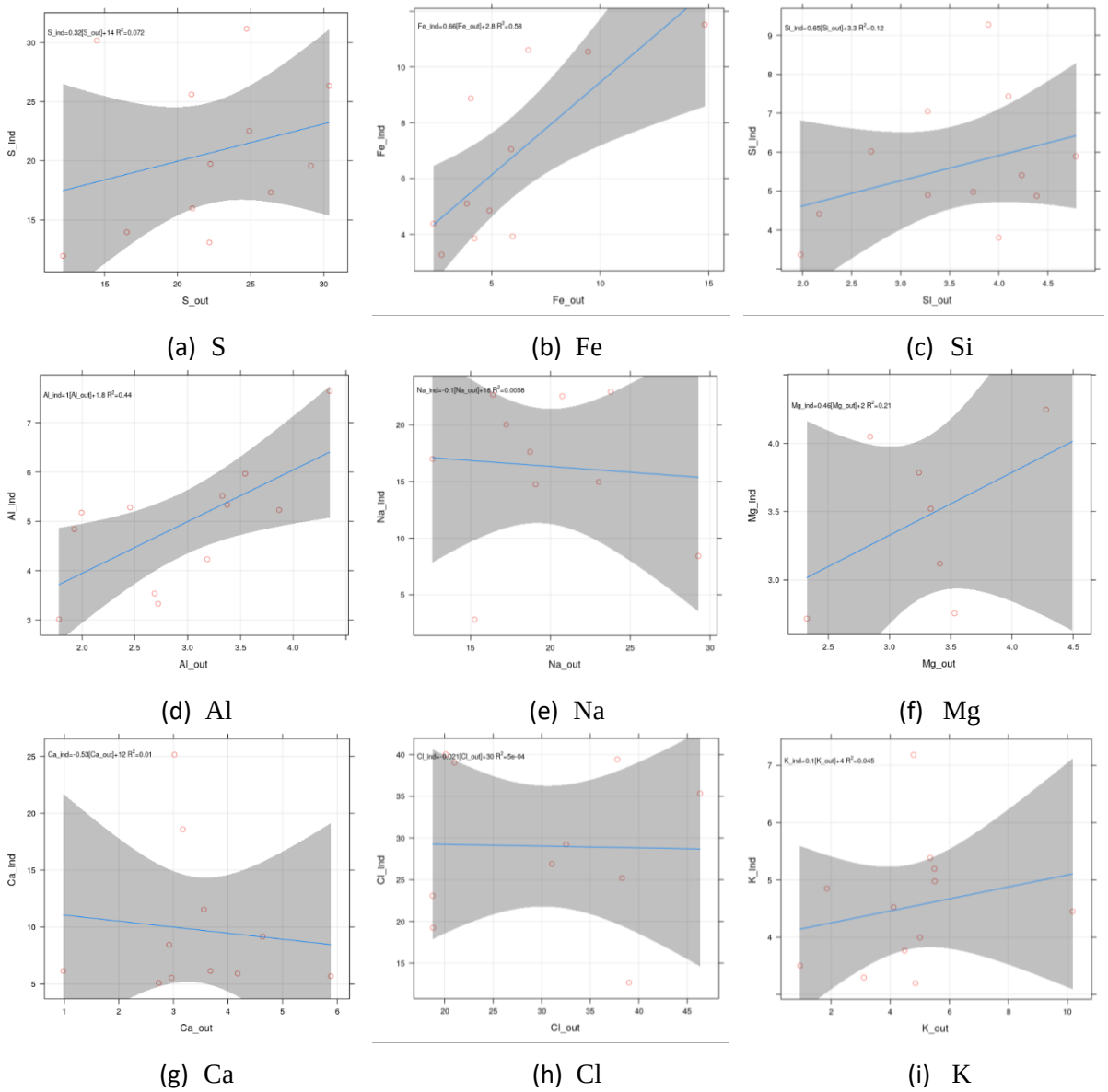


Figura 43. Correlação e clustering dos elementos químicos presentes no MP2,5 no ambiente exterior.

Os elementos Na, Ca, Cl apontam relação inversamente proporcional entre o ambiente interno e externo. Baseado nos dados medidos, não se observa influência ou transporte entre os ambientes. De acordo com os dados, S, Fe, Si, Mg e K são transportados ao ambiente interior efetivamente, tendo em vista a relação I/O < 1, dada pelo coeficiente angular da equação de regressão linear. De modo único, a relação I/O para Alumínio é 1, interpretado como um estado de equilíbrio entre fontes externas e internas para o elemento.



(a) S (b) Fe (c) Si

(d) Al (e) Na (f) Mg

(g) Ca (h) Cl (i) K

Figura 44. Correlação da concentração de elementos químicos no MP2,5 entre os ambientes interior e exterior.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nos ambientes escolares internos analisados neste estudo, a concentração de NO_2 e fungos não ultrapassaram os padrões e diretrizes estabelecidos por organismos internacionais (OMS) e nacionais (ANVISA e CONAMA) com exceção do material particulado MP_{10} e $MP_{2,5}$ que ultrapassaram em algumas coletas as diretrizes da OMS, CONAMA e algumas legislações de outros países para ambientes internos.

No entanto, na escola EMIM a concentração de fungos foi mais elevada do que na EMEP, e essas desigualdades poder sem atribuídas à diferença de tamanho dos ambientes monitorados, o qual influencia na circulação de ar que é um parâmetro importante na contaminação por fungos. Uma vez que as escolas permanecem totalmente fechados durante a noite, o período da manhã registra as maiores concentrações de fungos, que diminuem no decorrer do dia à medida que a ventilação melhora. Os gêneros de fungos predominantes foram *Cladosporium,* associado ao ambiente geral, *Aspergillus e Penicillum*, associados aos ambientes fechados. Os últimos podem representar risco à saúde pública, de acordo com o tipo de espécie (*Aspergillus fumigatus, Penicillium sp e Penicillium marneffei*) associados a reações alérgicas que podem ocasionar aspergilose broncopulmonar, complicações e crise em indivíduos asmáticos, infecções da pele e oculares além de penicilíose.

As concentrações médias horárias de NO_2 foram encontradas bem abaixo dos limites da OMS (200 $\mu g\ m^{-3}$) em todos os ambientes internos. O refeitório foi o local onde as concentrações mais elevadas foram encontradas 23 $\mu g\ m^{-3}$ devido ao uso de gás de cozinha.

As concentrações de MP_{10} e $MP_{2,5}$ foram maiores nos ambientes internos do que no exterior, certas campanhas apresentaram valores superiores aos estabelecidos pela OMS e algumas legislações de outros países para ambientes internos. Os ambientes com maior concentração de material particulado foram na EMIM (refeitório e sala de aula 4) e na EMEP (refeitório e sala de aula 1). As menores concentrações foram encontradas na biblioteca e na sala de informática para as duas escolas. Atividades como limpeza e presença de alunos aumentam a concentração desses poluentes. A correlação de MP_{10} entre os ambientes internos e externos, no caso dos refeitórios, apresenta boa correlação (R^2 = 0,94 para EMIM e 0,84 para EMEP) devido a que são ambientes mais abertos com uma maior troca de ar pelo qual tem influência do meio exterior. Com relação aos outros ambientes, a correlação é entre ambiente externo e interno é fraca (R^2 = 0,001) os ambientes são menos ventilados, tem menos contato com o meio exterior.

É importante considerar que o número de amostras tenha sido pequeno para a identificação dessas correlações que indicaria a infiltração desses poluentes em suspensão no ambiente externo por meio da ventilação natural ou forcada no ambiente interior.

Com respeito a composição química inorgânica do material particulado do ambiente exterior, cabe mencionar que os resultados porcentuais são em relação da massa detectável sem contar com compostos orgânicos. A presença de elementos como Cl e Ca no MP_{10} são atribuídos ao sal marinho característico da cidade, além de atividades como a sinterização que é de importância na região de estudo. Estudos futuros devem usar outras técnicas analíticas e ferramentas de análise de dados para elucidar a influência do sal marinho, com especial atenção ao Cl. Enquanto no $MP_{2,5}$, a presença de Ca e Cl relaciona-se, em parte, à fontes antropogênicas tais como industriais siderúrgicas (Cl) (GALVÃO, 2018) e frota veicular (Ca) (Kelly et al., 2012). Além da preocupação relacionada a penetrabilidade no trato respiratório do $MP_{2,5}$, a literatura reporta relação entre a presença de Ca e Cl com um maior efeito inflamatório (estudos *in vitro*) e mortalidade (Ostro et al., 2007). O $MP_{2,5}$ apresenta presença minoritária de Si, Al, K, Mg, P e Zn. Zinco é geralmente associado à perfis químicos de siderurgia, altos fornos, fornos de coque e fornos de pelotização, que são atividades desenvolvidas na RMGV.

Os elementos Al, Ca, Fe e Si encontrados no MP_{10} nos ambientes interiores está relacionada a poeira impregnada em calçados ou roupas, que uma vez dentro da sala pode ficar em ressuspensão devido ao movimento de pessoas presentes no ambiente. A presença de Al, Ca, Cl, Cu, Ge, Ho, Mo, Ni, Ru, S, Sc, Se e Te no $MP_{2,5}$ nos ambientes interiores está associada a fontes que não são da crosta terrestre, baseado nas análises de fator de enriquecimento.

Apesar dos parâmetros monitorados não terem indicados problemas agudos de qualidade do ar no interior das escolas investigadas, recomenda-se a seguir trabalhos futuros complementares a este estudo exploratório.

Por se tratar de um estudo exploratório em uma dissertação de mestrado que deve ser realizada em um ano, apenas uma campanha em cada escola foi conduzida no período entre outubro e novembro. Seria elucidante a realização de campanhas de amostragem em diferentes épocas do ano para verificar a influência da sazonalidade na qualidade do ar interior;

Além da realização de campanhas em diferentes épocas do ano, seria também importante investigar um maior número de escolas municipais para tornar as conclusões mais representativas da realidade do conjunto de escolas da RMGV;

As condições meteorológicas no ambiente exterior foram monitoradas durante os experimentos, entretanto, seria ainda importante monitorar temperatura, umidade, velocidade e taxa de renovação de ar no interior dos ambientes estudados nas escolas além de poluentes químicos como CO, CO_2, O_3, COV_S, formaldeído.

No presente estudo, dentre os bio-aerossóis, apenas os fungos foram investigados. Agentes como bactérias e ácaros também devem ser investigados por estarem associados a doenças respiratórias e que tem como fontes interiores reservatórios de água, sepertinas de ar condicionado, superfícies úmidas e quentes. Além disso, os níveis de contaminação biológica por agentes como os fungos, bactérias e ácaros podem ser avaliados não apenas em função da caracterização de espécies, mas também em relação a compostos orgânicos produzidos por estes grupos e sua resposta inflamatória e toxicológica. Complementar a técnica de identificação fenotípica que muitas vezes pode resultar imprecisa ajudaria a melhorar a veracidade dos resultados. A identificação genotípica com técnicas como a PCR ofereceria identificações por espécies destacando as mais prejudiciais para a saúde e assim procurando a eliminação das suas fontes.

Apesar da correlação entre as concentrações do material particulado nos ambientes internos e externos não terem sido claramente mostradas pelos resultados obtidos, que demonstraria a infiltração do poluente, o material particulado é transportado para o ambiente interno. Assim, essas formas de transporte devem ser melhor investigadas em trabalhos futuros.

Futuros trabalhos podem beneficiar-se da caracterização de elementos marcadores de tráfego veicular (e.g., Cu, Mo e Ni) através da comparação de resultados entre uma técnica destrutiva (i.e., ICP-MS), com limites de detecção similares aos obtidos por EDXRF, e outra técnica não-preparativa (e.g., WDXRF e INAA). Em um experimento como este, pode verificar-se o efeito da não-homogeneidade do MP sobre a quantificação de elementos em concentração traço no MP.

Realizar amostragens simultâneos ajudaria ao final a analisar as diferenças nos níveis de qualidade do ar de acordo aos distintos ambientes monitorados e assim relacionar a influência

das atividades e a poluição nos ambientes internos. Monitoramentos contínuos de todos os poluentes também nos ofereceriam informações que permitam identificar suas correlações e comportamentos. Coletas de número de partículas complementariam os resultados de concentração de material particulado, analisar um maior número de faixas de tamanho também será um complemento importante neste tipo de estudos. Analisar concentração de gases incluídos em legislações de ambientes internos como Ozônio, Dióxido de enxofre, além de COVs os quais também são gerados em ambientes internos proporcionaria uma ideia mais complementária da qualidade de ar ao qual estão expostos os estudantes.

Finalmente, em uma perspectiva transdisciplinar, seria interessante avaliar o efeito da qualidade do ar nas salas de aula sobre o desempenho estudantil.

REFERÊNCIAS

ABADIE, Marc; LIMAM, Karim; ALLARD, Francis. Indoor particle pollution: Effect of wall textures on particle deposition. **Building and Environment**, v. 36, n. 7, p. 821–827, 2001.

ABDUL–WAHAB, Sabah A. et al. A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. **Atmospheric Pollution Research**, v. 6, n. 5, p. 751–767, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5094/APR.2015.084>.

ACIÉRNAGAS, César. DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10*. **Scielo**, v. 10, n. 34, p. 195–213, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>.

AHMED, Toqeer; USMAN, Muhammad; SCHOLZ, Miklas. Biodeterioration of buildings and public health implications caused by indoor air pollution. **Indoor and Built Environment**, v. 27, n. 6, p. 752–765, 1 jul. 2018. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1420326X17690912>. Acesso em: 13 maio 2020.

ALBRIGHT, D. Human Health Effects of Airbone Mycotixin Exposure in Fungi-Contaminated Indoor Environments. 2001. , p. 26–27.

ANVISA. RESOLUÇÃO-RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003. **Diário Oficial da União**, v. 2003, p. 35–37, 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_1.pdf/629ee4fe-177e-4a78-8709-533f78742798?version=1.0>.

APTE, Komalkirti; SALVI, Sundeep. Household air pollution and its effects on health. **F1000Research**, v. 5, p. 2593, 2016. Disponível em: <https://f1000research.com/articles/5-2593/v1>.

AQUINO, Simone et al. Analysis of fungal contamination in vehicle air filters and their impact as a bioaccumulator on indoor air quality. **Air Quality, Atmosphere and Health**, v. 11, n. 10, p. 1143–1153, 1 dez. 2018.

BARDANA, Emil J. Indoor air quality and health does fungal contamination play a significant role? **Immunology and Allergy Clinics of North America**, v. 23, n. 2, p. 291–309, 2003.

BASIŃSKA, Małgorzata; MICHAŁKIEWICZ, Michał; RATAJCZAK, Katarzyna. Impact of physical and microbiological parameters on proper indoor air quality in nursery. **Environment International**, v. 132, n. August, p. 105098, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412019309365>.

BAXI, Sachin N. et al. Exposure and Health Effects of Fungi on Humans. **Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice**, v. 4, n. 3, p. 396–404, 1 maio 2016.

BENNETT, Julie et al. Sources of indoor air pollution at a New Zealand urban primary school; a case study. **Atmospheric Pollution Research**, v. 10, n. 2, p. 435–444, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.09.006>.

BLAIS-LECOURS, Pascale; PERROTT, Phillipa; DUCHAINE, Caroline. Non-culturable

bioaerosols in indoor settings: Impact on health and molecular approaches for detection. **Atmospheric Environment**, v. 110, p. 45–53, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.039>.

BOECHAT, José. Presença de endotoxinas, fungos e ácaros em prédios de escritórios no Rio de Janeiro e sua influência na prevalência dos sintomas de asma, rinite, atopia e síndrome do edifício doente. 2009. **Universidade Federal Do Rio De Janeiro**, 2009.

BOZLAKER, Ayse; PECCIA, Jordan; CHELLAM, Shankararaman. Indoor/Outdoor Relationships and Anthropogenic Elemental Signatures in Airborne PM 2.5 at a High School: Impacts of Petroleum Refining Emissions on Lanthanoid Enrichment. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 9, p. 4851–4859, 2 maio 2017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b06252>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BRAGA, Alfesio et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, v. 0, n. 51, p. 58–71, 2001. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099>.

BRANCO, P. T.B.S. et al. Quantifying indoor air quality determinants in urban and rural nursery and primary schools. **Environmental Research**, v. 176, n. January, p. 108534, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108534>.

BUONANNO, G. et al. Individual dose and exposure of Italian children to ultrafine particles. **Science of the Total Environment**, v. 438, p. 271–277, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.074>.

CABRAL, João P.S. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 20, p. 4285–4295, 2010a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.005>.

CABRAL, Jõao P.S. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 20, p. 4285–4295, 2010b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.005>.

CALIGIORNE, Rachel B et al. Fungos negros que afetam animais, plantas e o homem. n. September, 2019.

CAO, Chen et al. Inhalable Microorganisms in Beijing ' s PM 2.5 and PM 10 Pollutants during a Severe Smog Event. 2014.

CARAZO FERNÁNDEZ, Luis et al. Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria. **Archivos de Bronconeumología**, v. 49, n. 1, p. 22–27, 2013. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300289612001196>.

CÉSAR, Ana Cristina Gobbo et al. Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 34, n. 1, p. 18–23, 2016. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0103058215001136>.

CHEN, Longwen et al. Catalytic decomposition performance for O3 and NO2 in humid indoor air on a MnOx/Al2O3 catalyst modified by a cost-effective chemical grafting method. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 74, n. 2, p. 58–70, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.02.006>.

CHEN, Lung Chi; LIPPMANN, Morton. **Effects of metals within ambient air particulate matter (PM) on human health**. [S.l: s.n.], 2009. v. 21.

CIRCINELLI, A & MARTELLINI, T. Indoor air quality and health. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 28, p. 4535–4564, 2017.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 491/2018. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p. 7, 2018. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>.

DA COSTA, Maria; FERREIRA, Marco. A qualidade do ar de interiores e a saúde humana. **Interfacehs**, v. 1, n. 2, p. 1–10, 2006. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/2006-v2-art5-portugues.pdf>.

DE PAULA, Pedro Henrique M. et al. Biomonitoring of metals for air pollution assessment using a hemiepiphyte herb (Struthanthus flexicaulis). **Chemosphere**, v. 138, p. 429–437, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.06.060>.

DE SOUSA, Micheline. **Por : Micheline de Sousa Zanotti Stagliório Coelho Orientador : Co-orientador**. 2007. 2007.

DÍAZ, Julia et al. Decomposição catalítica de óxidos de nitrogênio. **Quimica Nova**, v. 27, n. 3, p. 432–440, 2004.

DUNCAN, Shona M. et al. Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica. **Polar Science**, v. 4, n. 2, p. 275–283, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2010.03.008>.

EPA. Indoor Air Facts No. 4 Sick Building Syndrome. **EPA - Air & Radiation (6609J), Research and Development (MD-56)**, p. 1–4, 1991. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf>.

FANG, Guor Cheng et al. Study of particulates and metallic elements at a farm sampling site in central Taiwan. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 19, n. 3, p. 243–258, 2003.

FERREIRA, Ana Maria da Conceição; CARDOSO, Massano. Indoor air quality and health in schools. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 40, n. 3, p. 259–268, 2014.

FREITAS, Clarice Umbelino de et al. Air pollution and its impacts on health in Vitoria, Espirito Santo, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 50, n. 0, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102016000100202&lng=en&tlng=en>.

GALINDO, N. et al. Water-soluble ions measured in fine particulate matter next to cement works. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 12, p. 2043–2049, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.01.059>.

GALVÃO, Elson Silva. Chemical Characterization of Particles in Iron-Rich Atmosphere of Urban and Industrialized Regions Caracterização Química Do Material Particulado Em Chemical Characterization of Particles in Iron-Rich Atmosphere of Urban and Industrialized Regions. 2018.

GALVÃO, Elson Silva. Uncommon chemical species in PM2.5 and PM10 and its potential use as industrial and vehicular markers for source apportionment studies. **Chemosphere**, v. 240, p. 1–9, 2019.

GENT, Janneane F. et al. Symptoms and medication use in children with asthma and traffic-related sources of fine particle pollution. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 7, p. 1168–1174, 2009.

GODISH, Thad. **Air Quality**. Third ed. Boca de Raton: CRC, 1997.

GODWIN, C.; BATTERMAN, S. Indoor air quality in Michigan schools. **Indoor Air**, v. 17, n. 2, p. 109–121, 2007.

GUARDINO, Xavier. Calidad del Aire Interior. **Salud y Seguridad en el Trabajo**, p. 44.1-44.6, 2010. Disponível em: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/44.pdf>.

GUÉGUEN, Florence et al. Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring - Part I: Trace element analysis. **Chemosphere**, v. 86, n. 10, p. 1013–1019, 2012.

GUO, Yangyang et al. Chemical profiles of PM emitted from the iron and steel industry in northern China. **Atmospheric Environment**, v. 150, p. 187–197, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.055>.

HAAS, D. et al. Comparison of background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria. **Atmospheric Environment**, v. 98, p. 640–647, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.039>.

HAGENBJÖRK, Annika et al. The spatial variation of O3,NO,NO2and NOx and the relation between them in two Swedish cities. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 4, 2017.

HEALTHCARE, G E. **Filtros y membranas para monitoreo de aire Whatman**. . [S.l: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.microimport.mx/media/filer_public/c7/52/c75230d2-37c1-42cd-a076-9120b8b2853e/filtros_membranas_ficha_p.pdf>.

HERRERA, K; BARRIOS, R; CHAMALÉ, W; QUAN, J; PAXTOR, J ; MASS, J. Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos colecciones biológicas y dos museos de la ciudad de Guatemala Evaluation of air pollution by microscopic fungi in two biological collections and two museums of Guatemala Resumen. v. 25, n. 2, p. 43–58, 2015.

HIGUERO, Tomás et al. Guía de Calidad del aire interior. **Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid**, p. 1–186, 2016. Disponível em: <https://www.fenercom.com/pages/publicaciones/publicacion.php?id=231>.

IEMA. **Relatorio da Qualidade do Ar - Grande Vitória**. Disponível em: <http://previsao-

qar.web.ua.pt/?lang=pt&page=projeto&cat=modelaa-sect-a-pound-o>.

INSHT. **NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo**. **Notas Técnicas de Prevención. INSHT**. [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.ugt-cat.net/subdominis/ajlleida/images/stories/documents/salutlaboral/lipoatrofia_semicircular/ntp_289__sindrome_del_edificio_enfermo_factores_de_riesgo.pdf>. , 1991

JOHANNING, Eckardt; YANG, Chin S. Airborne Fungi and Mycotoxins. **Man. Environ. Microbiol. Third Ed.** [S.l.]: American Society of Microbiology, 2007. p. 972–988. Disponível em: <http://www.asmscience.org/content/book/10.1128/9781555815882.ch77>. Acesso em: 8 fev. 2019.

KALOGERAKIS, N. et al. Indoor air quality - Bioaerosol measurements in domestic and office premises. **Journal of Aerosol Science**, v. 36, n. 5–6, p. 751–761, 2005.

KAVURI, Naga Chaitanya; PAUL, Kakoli Karar; ROY, Nagendra. TSP aerosol source apportionment in the urban region of the Indian steel city, Rourkela. **Particuology**, v. 20, p. 124–133, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.partic.2014.07.006>.

KELLY, Frank J.; FUSSELL, Julia C. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. **Atmospheric Environment**, v. 60, p. 504–526, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.039>.

KHAN, Haleem; KARUPPAYIL, Mohan. Fungal pollution of indoor environments and its management. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 4, p. 405–426, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.06.002>.

KORC, Marcelo; FARÍAS ELLIES, Fernando; CERDA, Rodrigo. Proceso de fijación y revisión de normas de calidad del aire. p. 65, 2000. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/normas/2_1.pdf>.

KUMAR, Rahul et al. Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, p. 6707–6711, 1 set. 2010.

LEDOUX, Frédéric et al. Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM2.5 at an urban site in northern France. **Chemosphere**, v. 181, p. 713–724, 1 ago. 2017.

LEE, Kiyoung et al. Nitrous acid, nitrogen dioxide, and ozone concentrations in residential environments. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. 2, p. 145–149, 2002.

LEPPÄNEN, Maija et al. The effect of the shoeless course on particle concentrations and dust composition in schools. **Science of The Total Environment**, v. 710, p. 136272, 25 mar. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969719362680>. Acesso em: 4 mar. 2020.

LIDE, D.R., 2005. CRC Handbook of Chemistry and Physics Section 14, Geophysics, Astronomy, and Acoustics; Abundance of Elements in the Earth's Crust and in the Sea, 85th ed. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 14.

LOAIZA, Ricardo. El síndrome del edificio enfermo. **Alternativas**, v. 15, n. 3, p. 62–67, 2014. Disponível em: <http://editorial.ucsg.edu.ec/ojs-alternativas/index.php/alternativas-

ucsg/article/view/32>.

LOUGON, D. R., Cola, I. T. B., Ronchi, P., & Ribeiro, R. S. (2020). Relatório da Qualidade do Ar na Grande Vitória 2019. In Relatório da Qualidade do Ar na Grande Vitória. Retrieved from https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Relatorios_anuais/IEMA_CQAI_Relatório_Anual_da_Qualidade_do_Ar_2019.pdf

MACHADO, Milena et al. Annoyance Caused by Air Pollution: A Comparative Study of Two Industrialized Regions. **World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, v. 2, n. 2, p. 182–187, 2015. Disponível em: <https://www.waset.org/abstracts/15305>.

MACHEMER, Steven D. Characterization of Airborne and Bulk Particulate from Iron and Steel Manufacturing Facilities. **Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 2, p. 381–389, 2004.

MADUREIRA, J. et al. Indoor air quality in Portuguese schools: levels and sources of pollutants. **Indoor Air**, v. 26, n. 4, p. 526–537, 2016.

MADUREIRA, Joana et al. Indoor air quality in schools and its relationship with children's respiratory symptoms. **Atmospheric Environment**, v. 118, p. 145–156, 2015.

MAINKA, Anna et al. Indoor air quality in urban nursery schools in Gliwice, Poland: Analysis of the case study. **Atmospheric Pollution Research**, v. 6, n. 6, p. 1098–1104, 2015.

MAJD, Ehsan et al. Indoor air quality in inner-city schools and its associations with building characteristics and environmental factors. **Environmental Research**, v. 170, n. August 2018, p. 83–91, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.012>.

MARTIN, Ashley N. et al. In-vehicle nitrogen dioxide concentrations in road tunnels. **Atmospheric Environment**, v. 144, n. 2, p. 234–248, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.083>.

MATEUS, Vinícius Lionel et al. Study of the chemical composition of particulate matter from the Rio de Janeiro metropolitan region, Brazil, by inductively coupled plasma-mass spectrometry and optical emission spectrometry. **Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy**, v. 86, p. 131–136, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2013.03.003>.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15, n. 1, p. 27–52, 2005.

MOLINA ESQUIVEL, Enrique; CUBA VALDÉS, Dayamí. **Revista cubana de higiene y epidemiología.** [S.l.]: Editorial Ciencias Médicas, 2006. v. 44. Disponível em: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es>. Acesso em: 9 out. 2018.

MORAWSKA, Lidia et al. The relationship between indoor and outdoor airborne particles in the residential environment. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 20, p. 3463–3473, 2001.

NASCIMENTO, Antônio Paula et al. Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children. **Revista de Saude Publica**, v. 51, n. 1, p. 1–10, 2015.

NASCIMENTO, Virgílio F. Energia (Ed-Xrf) E Por Reflexão Total (Txrf). **Técnicas Analíticas Nucleares De Fluorescência De Raios X Por Dispersão De Energia (Ed-Xrf) E Por Reflexão Total (Txrf)**, p. 1–32, 1999.

NEGRISOLI, Juliana; NASCIMENTO, Luiz. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. Estudo ecológico de série temporal. **Sao Paulo Medical Journal**, v. 133, n. 5, p. 408–413, 2013.

NEWMAN, Nicholas C. et al. Traffic-related air pollution exposure in the first year of life and behavioral scores at 7 years of age. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, n. 6, p. 731–736, 2013.

NITMETAWONG, Tanachai et al. Effect of indoor environmental quality on building-related symptoms among the residents of apartment-type buildings in Bangkok area. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, p. 1–15, 17 out. 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10807039.2019.1676636>. Acesso em: 13 maio 2020.

ODEH, Issam; HUSSEIN, Tareq. Activity pattern of urban adult students in an eastern mediterranean society. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 10, p. 10–15, 2016.

OFFERMANN, F. J. et al. Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners. **Atmospheric Environment (1967)**, v. 19, n. 11, p. 1761–1771, 1985.

OSTRO, Bart et al. The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: Results from CALFINE. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 1, p. 13–19, 2007.

OYARZÚN, Manuel. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. **Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias**, v. 26, n. 1, p. 16–25, 2010.

PACYNA, Jozej M. Sources , Particle Size Distribution and Transport of Aerosols. In: KOUIMTZIS T., Samara C. (Org.). . **Airborne Part. Matter**. [S.l: s.n.], 1995. p. 69–97.

PAGEL, Erica Coelho et al. Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in an antarctic research station. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 463–477, 2017.

PASSARELLI, Guiseppe Ryan. Sick building syndrome: An overview to raise awareness. **Journal of Building Appraisal**, v. 5, n. 1, p. 55–66, 2009.

PEGAS, Priscilla Nascimento et al. Outdoor/indoor air quality in primary schools in lisbon: A preliminary study. **Quimica Nova**, v. 33, n. 5, p. 1145–1149, 2010.

PENTTINEN, Pasi et al. Source-specific fine particles in urban air and respiratory function among adult asthmatics. **Inhalation Toxicology**, v. 18, n. 3, p. 191–198, 2006.

PHALEN, Robert F.; PHALEN., Robert N. Introduction to Air Pollution Science: A Public

Health Perspective. **Jones & Bartlett Learning, LLC**, p. 21–40, 2013.

PUJOL, Jesus et al. Traffic pollution exposure is associated with altered brain connectivity in school children. **NeuroImage**, v. 129, p. 175–184, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.01.036>.

QIAN, J. et al. Size-resolved emission rates of airborne bacteria and fungi in an occupied classroom. **Indoor Air**, v. 22, n. 4, p. 339–351, ago. 2012.

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

RIVAS. Outdoor infiltration and indoor contribution of UFP and BC, OC, secondary inorganic ions and metals in PM2.5 in schools. **Atmospheric Environment**, v. 106, p. 129–138, 2015.

ROVELLI, Sabrina et al. Airborne Particulate Matter in School Classrooms of. p. 1398–1421, 2014.

SÁEZ, Eva. **Análisis de la calidad del aire interior en función de la tipologia de vivienda**. 2017. 1–98 f. Universidad Politécnica de Valencia, 2017. Disponível em: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DCalidad+del+aire+interior+en+edificios+de+uso+público++Comunidad+de+Madrid.pdf&blob%0Aht>.

SALONEN, Heidi; SALTHAMMER, Tunga; MORAWSKA, Lidia. **Human exposure to NO2 in school and office indoor environments**. **Environment International**. [S.l.]: Elsevier Ltd. , 1 set. 2019

SANTOS, E. S.; GAMA, E. M.; FRANÇA, R. DA S.; SOUZA, A. S.; MATOS, R. P. Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na Determinação de Espécies Químicas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 3413–3432, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/espectrometria.pdf>.

SANTOS, Jane Meri et al. Source apportionment of settleable particles in an impacted urban and industrialized region in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 27, p. 22026–22039, 2017.

SARICA, Suzan et al. Monitoring indoor airborne fungi and bacteria in the different areas of Trakya University Hospital, Edirne, Turkey. **Indoor and Built Environment**, v. 11, n. 5, p. 285–292, 2002.

SCE. Nota Técnica - NT-SCE - 02 - Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios existentes no Âmbito do RSECE. **AgendiaPortuguesa do Ambiente**, p. 1–50, 2009.

SCHIRMER, Waldir Nagel et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3583–3590, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232011000900026&lng=pt&tlng=pt>.

SEINFELD, J H; PANDIS, J. **ATMOSPHERIC From Air Pollution to Climate Change SECOND EDITION**. [S.l: s.n.], 2006. v. 51. Disponível em:

<http://adsabs.harvard.edu/abs/1998acpa.conf.....S?>.

SIMONI, Marzia et al. The po river Delta (North Italy) indoor epidemiological study: Effects of pollutant exposure on acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. **Archives of Environmental Health**, v. 57, n. 2, p. 130–136, 2002.

SOUSA, Ángela. **Síndrome do Edifício Doente**. 2017. Universidade de Lisboa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/30896/1/AngelaESSilva.pdf>.

SPICER, C. W. et al. Rates and mechanisms of NO2 removal from indoor air by residential materials. **Environment International**, v. 15, n. 1–6, p. 643–654, 1989.

SQUIZZATO, S. et al. Factors determining the formation of secondary inorganic aerosol: A case study in the Po Valley (Italy). **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 4, p. 1927–1939, 2013.

SRIKANTH, Padma; SUDHARSANAM, Suchithra; STEINBERG, Ralf. Bio-aerosols in indoor environment: Composition, health effects and analysis. **Indian Journal of Medical Microbiology**, v. 26, n. 4, p. 302–312, 2008.

STARK, Paul C. et al. Fungal Levels in the Home and Allergic Rhinitis by 5 Years of Age. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 10, p. 1405–1409, out. 2005. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.7844>. Acesso em: 13 maio 2020.

TANG, Rui; WANG, Zhaojun. Field study on indoor air quality of urban apartments in severe cold region in China. **Atmospheric Pollution Research**, v. 9, n. 3, p. 552–560, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2017.12.004>.

TOLEDO, Giovana Iara Ferreira de Moser; NARDOCCI, Adelaide Cássia. Traffic related air pollution and population health: a review about São Paulo (SP), Brazil. **Revista brasileira de epidemiologia**, v. 14, n. 3, p. 445–54, 2011. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22069012>.

TRASANDE, Leonardo; THURSTON, George D. The role of air pollution in asthma and other pediatric morbidities. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 115, n. 4, p. 689–699, 2005.

TURNKEY INSTRUMENTS, Ltd. DustMate Operating Instructions. **Manual**, 2002.

VAN DER ZEE, S. C. et al. The impact of particle filtration on indoor air quality in a classroom near a highway. **Indoor Air**, v. 27, n. 2, p. 291–302, 2017.

VIANA, M.; DÍEZ, S.; RECHE, C. Indoor and outdoor sources and infiltration processes of PM1 and black carbon in an urban environment. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 35, p. 6359–6367, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.044>.

VORNANEN-WINQVIST, Camilla et al. Ventilation Positive Pressure Intervention Effect on Indoor Air Quality in a School Building with Moisture Problems. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 2, p. 230, 30 jan. 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/2/230>. Acesso em: 4 mar. 2020.

WANG, Shunqin et al. Association of traffic-related air pollution with children's

neurobehavioral functions in Quanzhou, China. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 10, p. 1612–1618, 2009.

WHO. Ambiente ar pollution. **A global assessments of exposure and burden of disease**, 2016. Disponível em: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mould. **Journal of Biomedical Semantics**, v. 5, 2009.

WHO. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. **Biological Trace Element Research**, v. 195, n. 2, p. 491–498, 2005.

YANG, Jinho et al. Characteristics of indoor air quality at urban elementary schools in Seoul, Korea: Assessment of effect of surrounding environments. **Atmospheric Pollution Research**, v. 6, n. 6, p. 1113–1122, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2015.06.009>.

ZOU, Hui et al. Correlation between fungal sIgE and bronchial asthma severity. **Experimental and Therapeutic Medicine**, v. 6, n. 2, p. 537–541, 1 ago. 2013.

APÊNDICE A. Registro fotográfico EMEF “Izaura Marques Da Silva “

Entrada principal

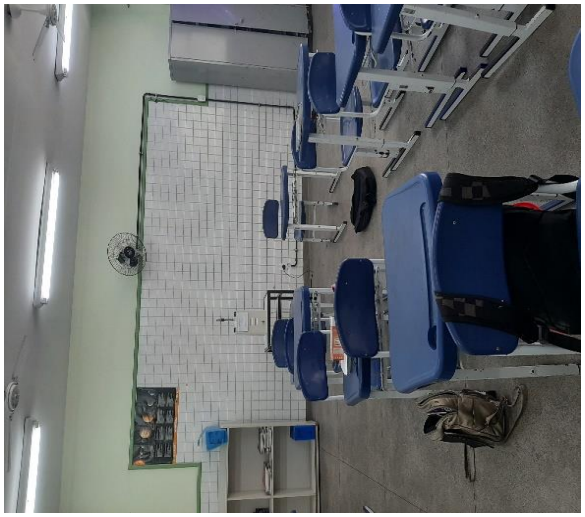
Área comúm

Pátio

Quadra poliesportiva

Sala 3

Sala 4



Sala 5

Laboratório de Informática

Biblioteca

Refeitório

APÊNDICE B. Registro fotográfico EMEF “Eunice Pereira Da Silveira”

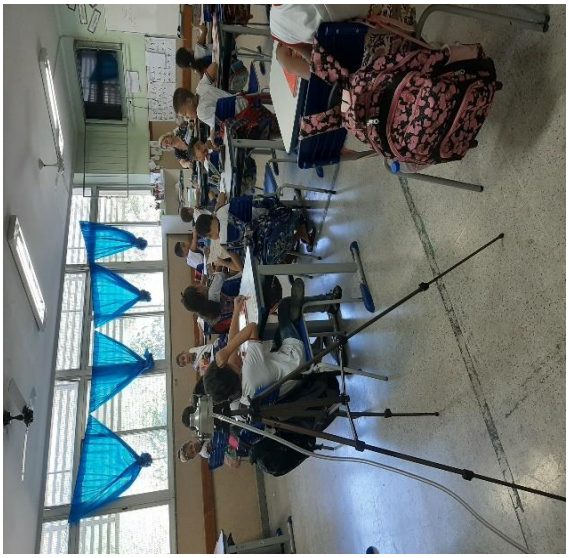
Entrada principal

Área comum

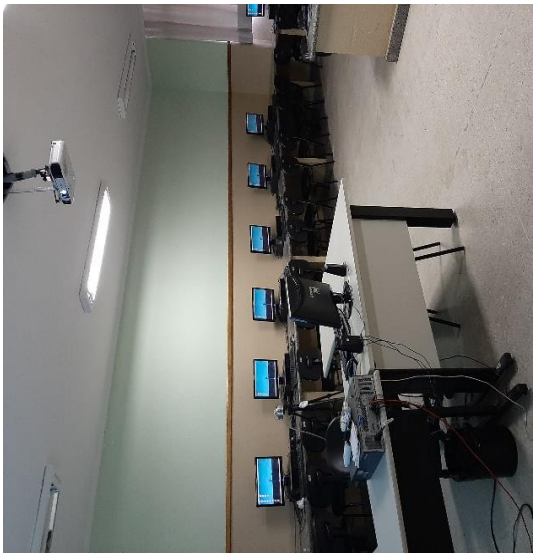
Pátio

Quadra poliesportiva

Sala 1

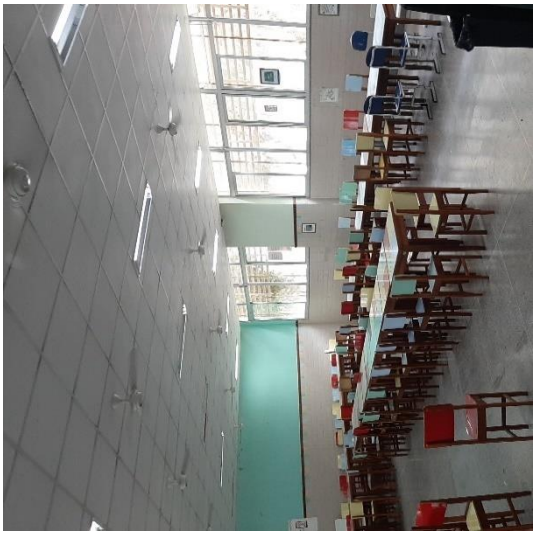


Sala 2



Sala 3

Laboratório de Informática



Biblioteca

Refeitório

APÊNDICE C. Procedimento para preparação do meio de cultura para coleta de fungos.

Para preparar 500 ml de meio de cultura que proporciona aproximadamente uma 25-30 placas petri precisa seguir os seguintes passos:

-Pesar numa balança de alta precisão 19,5 g de BDA + 0,0125 g de Cloranfenicol,

-Colocar a mistura num Erlenmeyer de 1 L,

-Dissolver o meio de cultura e o antibiótico em 500 ml de água destilada,

-Fechar com uma boneca o Erlenmeyer com o meio e autoclavar durante 15 minutos,

-Aguardar alguns minutos para resfriar o meio e colocar nas placas utilizando uma cabine de fluxo laminar,

-Após o meio ficar sólido, fechar as placas, empilhar e guardar as placas invertidas na geladeira até o momento da coleta.

APÊNDICE D. Procedimento para preparação da resina utilizada na identificação dos fungos.

Poli Vinil Lacto Glicerol (PVLG)

Ácido láctico.....100mL

Glicerol.....10mL

Álcool polivinílico (PVL).....16,6g

Água destilada.....100mL

Misturar em água o ácido láctico e o glicerol em um frasco de vidro escuro, após a homogeneização adicionar o PVL e aquecer a solução em banho-maria a 70-80 °C por 4 a 6 horas, tempo necessário para dissolver o PVL. O PVLG dever ser conservado em frasco de vidro escuro e se mantém por aproximadamente um ano (Morton et al., 1993).

APÊNDICE E. Horarios de atividades dos ambientes monitorados.

BAIRRO	ANDORINHAS			EMIM- Ambientes monitorados						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 3**	**Sala 4**	**Sala 5**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
1	**30/09-04/10**	30	Segunda	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40		Inglés				
				8:40 - 9:30					4to A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					3ero A	Refeição
				10:40 - 11:30					6to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				13:00 - 13:50						
				13:50 - 14:40						
				14:40 - 15:30	Artes	Inglés			7mo B	Refeição
				15:30 - 15:50	RECREIO					
				15:50 - 16:40	Informática	Artes			1ero B	Refeição
				16:40 - 17:20						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30	Informática			P. Inicial		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		1	Terça	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40	Informática		Inglés	3ro B		
				8:40 - 9:30	Inglés		Edu. Física	2do A		Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40	Artes		Informática	3ro A	9no A	Refeição
				10:40 - 11:30	Edu. Física		Artes	1ro A	5to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10			Edu. Física			
				13:10 - 14:00			Edu. Física		4to B	
				14:00 - 14:50			Artes		6to B	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00			Informática	5to B		Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. conclusivo		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30				P. inicial		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					

		2	Quarta	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40	Edu. Física	Inglés				
				8:40 - 9:30		Edu. Física			3ero A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40				4to A	7mo A	Refeição
				10:40 - 11:30		Informática	Edu. Física	5to A	2do A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10				1ero B		
				13:10 - 14:00		Edu. Física			3ero C	
				14:00 - 14:50		Edu. Física			2do B	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00					8vo B	Refeição
				16:00 - 16:50						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		3	Quinta	7:00 - 7:50		Artes	Edu. Física			
				7:50 - 8:40	Artes					
				8:40 - 9:30		Edu. Física				Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40						Refeição
				10:40 - 11:30			Artes	1ero A		
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10						
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50		Informática	Edu. Física			Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00	Artes					Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30				P. conclusivo		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		4	Sexta	7:00 - 7:50	Edu. Física					
				7:50 - 8:40		Edu. Física				
				8:40 - 9:30					1ero A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					8vo A	Refeição
				10:40 - 11:30						
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10			Inglés			

				13:10 - 14:00	Inglés				9no B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física				5to C	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00		Edu. Física			5to B	Refeição
				16:00 - 16:50		Inglés				
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					

BAIRRO	**ANDORINHAS**			**EMIM- Ambientes monitorados**						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 3**	**Sala 4**	**Sala 5**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
2	**07/10-11/10**	7	Segunda	7:00 - 7:50	Actividades fora das salas pela semana das crianças					
				7:50 - 8:40		Inglés				
				8:40 - 9:30					4to A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40	Actividades fora das salas pela semana das crianças					Refeição
				10:40 - 11:30						
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				13:00 - 13:50	Actividades fora das salas pela semana das crianças					
				13:50 - 14:40						
				14:40 - 15:30	Artes	Inglés			7mo B	Refeição
				15:30 - 15:50	RECREIO					
				15:50 - 16:40	Actividades fora das salas pela semana das crianças					Refeição
				16:40 - 17:20						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30	Informática			P. Inicial		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		8	Terça	7:00 - 7:50	Atividades fora das salas pela semana das crianças					
				7:50 - 8:40						
				8:40 - 9:30						Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40	Artes		Informática	3ro A	9no A	Refeição
				10:40 - 11:30	Edu. Física		Artes	1ro A	5to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10	Atividades fora das salas pela semana das crianças					
				13:10 - 14:00						

				14:00 - 14:50					Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO				
				15:10 - 16:00			Informática	5to B		Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física				
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA				
				18:30 - 19:50				P. conclusivo	
				19:50 - 20:10	RECREIO				
				20:10 - 21:30				P. inicial	
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA				
		9	Quarta	7:00 - 7:50					
				7:50 - 8:40					
				8:40 - 9:30	Atividades fora das salas pela semana das crianças				Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO				
				9:50 - 10:40				4to A	7mo A	Refeição
				10:40 - 11:30		Informática	Edu. Física	5to A	2do A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA				
				12:20 - 13:10					
				13:10 - 14:00					
				14:00 - 14:50	Atividades fora das salas pela semana das crianças				Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO				
				15:10 - 16:00					8vo B	Refeição
				16:00 - 16:50					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA				
				18:30 - 19:50					
				19:50 - 20:10	RECREIO				
				20:10 - 21:30					
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA				
		10	Quinta	7:00 - 7:50					
				7:50 - 8:40					
				8:40 - 9:30	Atividades fora das salas pela semana das crianças				Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO				
				9:50 - 10:40						Refeição
				10:40 - 11:30			Artes	1ero A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA				
				12:20 - 13:10					
				13:10 - 14:00					
				14:00 - 14:50	Atividades fora das salas pela semana das crianças				Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO				
				15:10 - 16:00	Artes					Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física				
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA				
				18:30 - 19:50				P. Intermedio	

				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30				P. conclusivo		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		11	Sexta	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40						
				8:40 - 9:30	Atividades fora das salas pela semana das crianças					Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					8vo A	Refeição
				10:40 - 11:30						
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10						
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50	Atividades fora das salas pela semana das crianças					Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00		Edu. Física			5to B	Refeição
				16:00 - 16:50		Inglés				
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					

BAIRRO	**ANDORINHAS**			**EMIM- Ambientes monitorados**						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 3**	**Sala 4**	**Sala 5**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
3	**21/10-25/10**	21	Segunda	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40		Inglés				
				8:40 - 9:30					4to A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					3ero A	Refeição
				10:40 - 11:30					6to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				13:00 - 13:50						
				13:50 - 14:40						
				14:40 - 15:30	Artes	Inglés			7mo B	Refeição
				15:30 - 15:50	RECREIO					
				15:50 - 16:40	Informática	Artes			1ero B	Refeição
				16:40 - 17:20						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		

				19:50 - 20:10	RECREIO				
				20:10 - 21:30	Informática			P. Inicial	
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA				
		22	Terça	7:00 - 7:50					
				7:50 - 8:40	Informática		Inglés	3ro B	
				8:40 - 9:30	Inglés		Edu. Física	2do A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO				
				9:50 - 10:40	Artes		Informática	3ro A	9no A	Refeição
				10:40 - 11:30	Edu. Física		Artes	1ro A	5to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA				
				12:20 - 13:10			Edu. Física			
				13:10 - 14:00			Edu. Física		4to B	
				14:00 - 14:50			Artes		6to B	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO				
				15:10 - 16:00			Informática	5to B		Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA				
				18:30 - 19:50				P. conclusivo		
				19:50 - 20:10	RECREIO				
				20:10 - 21:30				P. inicial		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA				
		23	Quarta	7:00 - 7:50					
				7:50 - 8:40	Edu. Física	Inglés			
				8:40 - 9:30		Edu. Física			3ero A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO				
				9:50 - 10:40				4to A	7mo A	Refeição
				10:40 - 11:30		Informática	Edu. Física	5to A	2do A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA				
				12:20 - 13:10				1ero B		
				13:10 - 14:00		Edu. Física			3ero C	
				14:00 - 14:50		Edu. Física			2do B	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO				
				15:10 - 16:00					8vo B	Refeição
				16:00 - 16:50						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA				
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO				
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA				
		24	Quinta	7:00 - 7:50		Artes	Edu. Física			
				7:50 - 8:40	Artes					
				8:40 - 9:30		Edu. Física				Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO				

				9:50 - 10:40						Refeição
				10:40 - 11:30			Artes	1ero A		
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10						
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50		Informática	Edu. Física			Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00	Artes					Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30				P. conclusivo		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		25	Sexta	7:00 - 7:50	Edu. Física					
				7:50 - 8:40		Edu. Física				
				8:40 - 9:30					1ero A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					8vo A	Refeição
				10:40 - 11:30						
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10			Inglés			
				13:10 - 14:00	Inglés				9no B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física				5to C	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00		Edu. Física			5to B	Refeição
				16:00 - 16:50		Inglés				
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					

BAIRRO	**ANDORINHAS**			**EMIM- Ambientes monitorados**						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 3**	**Sala 4**	**Sala 5**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
4	**28/10-01/11**	28	Segunda	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40		Inglés				
				8:40 - 9:30					4to A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					3ero A	Refeição
				10:40 - 11:30					6to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					

				13:00 - 13:50						
				13:50 - 14:40						
				14:40 - 15:30	Artes	Inglés			7mo B	Refeição
				15:30 - 15:50	RECREIO					
				15:50 - 16:40	Informática	Artes			1ero B	Refeição
				16:40 - 17:20						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30	Informática			P. Inicial		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		29	Terça	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40	Informática		Inglés	3ro B		
				8:40 - 9:30	Inglés		Edu. Física	2do A		Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40	Artes		Informática	3ro A	9no A	Refeição
				10:40 - 11:30	Edu. Física		Artes	1ro A	5to A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10			Edu. Física			
				13:10 - 14:00			Edu. Física		4to B	
				14:00 - 14:50			Artes		6to B	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00			Informática	5to B		Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. conclusivo		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30				P. inicial		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		30	Quarta	7:00 - 7:50						
				7:50 - 8:40	Edu. Física	Inglés				
				8:40 - 9:30		Edu. Física			3ero A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40				4to A	7mo A	Refeição
				10:40 - 11:30		Informática	Edu. Física	5to A	2do A	
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10				1ero B		
				13:10 - 14:00		Edu. Física			3ero C	
				14:00 - 14:50		Edu. Física			2do B	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00					8vo B	Refeição

				16:00 - 16:50						
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		31	Quinta	7:00 - 7:50		Artes	Edu. Física			
				7:50 - 8:40	Artes					
				8:40 - 9:30		Edu. Física				Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40						Refeição
				10:40 - 11:30			Artes	1ero A		
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10						
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50		Informátic a	Edu. Física			Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00	Artes					Refeição
				16:00 - 16:50	Edu. Física					
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50				P. Intermedio		
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30				P. conclusivo		
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					
		1	Sexta	7:00 - 7:50	Edu. Física					
				7:50 - 8:40		Edu. Física				
				8:40 - 9:30					1ero A	Refeição
				9:30 - 9:50	RECREIO					
				9:50 - 10:40					8vo A	Refeição
				10:40 - 11:30						
					SAÍDA JORNADA MATUTINA					
				12:20 - 13:10			Inglés			
				13:10 - 14:00	Inglés				9no B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física				5to C	Refeição
				14:50 - 15:10	RECREIO					
				15:10 - 16:00		Edu. Física			5to B	Refeição
				16:00 - 16:50		Inglés				
					SAÍDA JORNADA VESPERTINA					
				18:30 - 19:50						
				19:50 - 20:10	RECREIO					
				20:10 - 21:30						
					SAÍDA JORNADA NOCTURNA					

BAIRRO	MARUIPE			EMEP - Ambientes Monitorados						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 1**	**Sala 2**	**Sala 3**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
1	**04/11-08/11**	4	Segunda	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50		Artes				
				10:10 - 11:00		Artes				
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50						
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					
		5	Terça	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50					3ero A	
				10:10 - 11:00					5to A	
				11:00 - 11:50	Música					
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Música	Informática	Edu. Física			
				14:00 - 14:50	Inglés	Edu. Física	Música	1ero A		
				14:50 - 15:40	Artes	Edu. Física	Música			
					SAÍDA					
		6	Quarta	7:20 - 8:10					3ero B	
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Inglés			
				10:10 - 11:00	Edu. Física		Informática	3ero A		
				11:00 - 11:50	Edu. Física	Inglés				
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Inglés					
				14:00 - 14:50				Clube		
				14:50 - 15:40					4to A	
					SAÍDA					
		7	Quinta	7:20 - 8:10	Artes	Edu. Física				
				8:10 - 9:00	Artes	Edu. Física		4to A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50						
				10:10 - 11:00						

				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00			Edu. Física		1ero B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física		Artes	5to A		
				14:50 - 15:40	Edu. Física		Artes			
					SAÍDA					
		8	Sexta	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00	Informática	Artes		2do A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Artes		2do A	
				10:10 - 11:00			Edu. Física			
				11:00 - 11:50			Edu. Física			
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00		Música			1ero A	
				14:00 - 14:50		Música				
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					

BAIRRO	MARUIPE			EMEP - Ambientes Monitorados						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 1**	**Sala 2**	**Sala 3**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
2	**11/11-15/11**	11	Segunda	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50		Artes				
				10:10 - 11:00		Artes				
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50						
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					
		12	Terça	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50					3ero A	
				10:10 - 11:00					5to A	
				11:00 - 11:50	Música					

				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Música	Informática	Edu. Física			
				14:00 - 14:50	Inglés	Edu. Física	Música	1ero A		
				14:50 - 15:40	Artes	Edu. Física	Música			
					SAÍDA					
		13	Quarta	7:20 - 8:10					3ero B	
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Inglés			
				10:10 - 11:00	Edu. Física		Informática	3ero A		
				11:00 - 11:50	Edu. Física	Inglés				
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Inglés					
				14:00 - 14:50				Clube		
				14:50 - 15:40					4to A	
					SAÍDA					
		14	Quinta	7:20 - 8:10	Artes	Edu. Física				
				8:10 - 9:00	Artes	Edu. Física		4to A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50						
				10:10 - 11:00						
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00			Edu. Física		1ero B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física		Artes	5to A		
				14:50 - 15:40	Edu. Física		Artes			
					SAÍDA					
		15	Sexta	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00	Informática	Artes		2do A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Artes		2do A	
				10:10 - 11:00			Edu. Física			
				11:00 - 11:50			Edu. Física			
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00		Música			1ero A	
				14:00 - 14:50		Música				
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					

BAIRRO	MARUIPE			EMEP - Ambientes Monitorados						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 1**	**Sala 2**	**Sala 3**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
3	**18/11-22/11**	18	Segunda	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50		Artes				
				10:10 - 11:00		Artes				
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50						
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					
		19	Terça	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50					3ero A	
				10:10 - 11:00					5to A	
				11:00 - 11:50	Música					
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Música	Informática	Edu. Física			
				14:00 - 14:50	Inglés	Edu. Física	Música	1ero A		
				14:50 - 15:40	Artes	Edu. Física	Música			
					SAÍDA					
		20	Quarta	7:20 - 8:10					3ero B	
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Inglés			
				10:10 - 11:00	Edu. Física		Informática	3ero A		
				11:00 - 11:50	Edu. Física	Inglés				
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Inglés					
				14:00 - 14:50				Clube		
				14:50 - 15:40					4to A	
					SAÍDA					
		21	Quinta	7:20 - 8:10	Artes	Edu. Física				
				8:10 - 9:00	Artes	Edu. Física		4to A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50						
				10:10 - 11:00						
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					

				13:10 - 14:00			Edu. Física		1ero B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física		Artes	5to A		
				14:50 - 15:40	Edu. Física		Artes			
					SAÍDA					
		22	Sexta	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00	Informática	Artes		2do A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Artes		2do A	
				10:10 - 11:00			Edu. Física			
				11:00 - 11:50			Edu. Física			
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00		Música			1ero A	
				14:00 - 14:50		Música				
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					

BAIRRO	MARUIPE			EMEP - Ambientes Monitorados						
Semanas	**Data**		**Dia**	**Hora**	**Sala 1**	**Sala 2**	**Sala 3**	**Informática**	**Biblioteca**	**Refeitório**
4	**25/11-30/11**	25	Segunda	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50		Artes				
				10:10 - 11:00		Artes				
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00						
				14:00 - 14:50						
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					
		26	Terça	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50					3ero A	
				10:10 - 11:00					5to A	
				11:00 - 11:50	Música					
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Música	Informática	Edu. Física			

				14:00 - 14:50	Inglés	Edu. Física	Música	1ero A		
				14:50 - 15:40	Artes	Edu. Física	Música			
					SAÍDA					
		27	Quarta	7:20 - 8:10					3ero B	
				8:10 - 9:00						
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Inglés			
				10:10 - 11:00	Edu. Física		Informática	3ero A		
				11:00 - 11:50	Edu. Física	Inglés				
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00	Inglés					
				14:00 - 14:50				Clube		
				14:50 - 15:40					4to A	
					SAÍDA					
		28	Quinta	7:20 - 8:10	Artes	Edu. Física				
				8:10 - 9:00	Artes	Edu. Física		4to A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50						
				10:10 - 11:00						
				11:00 - 11:50						
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00			Edu. Física		1ero B	
				14:00 - 14:50	Edu. Física		Artes	5to A		
				14:50 - 15:40	Edu. Física		Artes			
					SAÍDA					
		29	Sexta	7:20 - 8:10						
				8:10 - 9:00	Informática	Artes		2do A		
				9:00 - 9:20	RECREIO					
				9:20 - 9:50			Artes		2do A	
				10:10 - 11:00			Edu. Física			
				11:00 - 11:50			Edu. Física			
				11:50 - 13:10	ALMOÇO					
				13:10 - 14:00		Música			1ero A	
				14:00 - 14:50		Música				
				14:50 - 15:40						
					SAÍDA					

ANEXO A. Procedimento para análise de dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre com

amostradores passivos

A análise da concentração de dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre de forma passiva será realizada com amostradores Ogawa®, através de três procedimentos principais: Preparo das soluções, Método analítico e Cálculo.

A.1 Preparo das soluções

a) Solução de sulfaniladamida: adicionar 80g de sulfanilamida em 200 mL de ácido fosfórico concentrado e 700 mL de água. Diluir esta solução com água ultra-pura até um total de 1000 mL.

b) Solução NEDA: adicionar 0,56 g de dicloridrato de N-(1-Naftil)-etilenodiamina dihidrochlorido em 100 mL de água e armazenar na geladeira.

c) Reagente de produção de cor: Preparar antes de utilizar. Misturar a solução de sulfaniladamida e a solução de NEDA em uma proporção de 10:1 (10 partes de solução de sulfaniladamnida para 1 de NEDA).

d) Solução estoque padrão de nitrito: Secar o nitrito de sódio por cerca de 4 horas a uma temperatura de 105-110°C. Dissolver 1,5 g deste nitrito de sódio em 1 L de água. Sendo que uma amostra de 1 mL dessa solução contém 1000 µg de nitrito.

e) Solução padrão de trabalho de nitrito: Diluir a solução padrão de nitrito em 100 vez com água. Em seguida as amostras de 0, 2, 4 ,6, 8 e 10 mL são diluídas com água para produzir soluções de 100 mL. Isso produz soluções de trabalho de 0 – 1,0 µg nitrito / mL.

f) Utilizar água ultra-pura e produtos químicos de grau de reagente ou o mais alto grau disponível para todas as análises.

A.2 Método analítico para NO_2

A.2.1 Extração e análise

a) Colocar as telas de aço inoxidável e filtro de fibra de celulose que foram expostos em um frasco de vidro de 25 mL, contendo 8 mL de água, e depois agitar imediatamente.

b) Usar frascos de vidro separados para os elementos NO_2 e NOx. Os frascos devem ser selados, de acordo com a prática laboratorial aceita.

c) Agitar ocasionalmente os frascos nos próximos 30 min.

d) Arrefecer os frascos a 2-6 °C ao final do primeiro período de 30 min.

e) Adicionar 2 mL de reagente de produção de cor e agitar rapidamente, depois de adicioná-lo.

f) Manter os frascos resfriados por mais 30 min.

g) Deixar os frascos equilibrar-se a temperatura ambiente, durante cerca de 20 min, e a quantidade de derivado colorido é então determinado com um espectrofotômetro a um cumprimento de onda de 545 nm.

h) Submeter os amostradores em branco aos mesmos procedimentos.

A.2.2 Solução padrão

a) Misturar 8 mL de cada uma das soluções padrões de nitrito previamente preparadas, (contendo 0 - 1,0 µg de nitrito / mL) com 2 mL de reagente colorido e agitar imediatamente (para preparar curva padrão).

b) A Solução padrão resfriada, tal como amostras, antes de adicionar reagente de cor.

A.2.3 Orientações gerais de análise

a) Recomenda-se a utilização de pipetas separadas para soluções padrão de nitrito das utilizadas na preparação de soluções padrão de trabalho com nitrito.

b) Quando o elemento de NO_X exposto é colocado em um frasco com 8 mL de água, o íon nitrito é produzido. Quando 2 mL do reagente de produção de cor são adicionados, e a reação é permitida a 2-6 ºC, a quantidade de derivado colorido produzido é proporcional à quantidade de nitrito original. Se a reação ocorrer em temperaturas mais quentes, a quantidade de derivado de cor produzida não é consistente.

c) Recomenda-se usar pelo menos 3 espaços em branco para cada lote analisado.

d) Procedimentos que ajudam a garantir resultados precisos de análise incluem:

- Telas e / ou almofadas de filtro devem ser adicionadas a frascos que já contenham uma solução, nunca em um frasco seco.

- Os frascos devem ser agitados imediatamente após a adição de reagente de cor.

- O resfriamento deve ser feito de acordo com o protocolo.

A..4 Método de injeção de fluxo

O método de injeção em fluxo é um método que utiliza equipamentos de análise disponíveis através de vários fabricantes de equipamentos.

Este novo método é muito útil, onde a análise de um grande número de amostras é necessária. É um método muito simples e preciso, minimizando os desvios causados pelo tempo decorrido, temperatura e outras variáveis. Os resultados, usando este método, têm alta precisão.

A.3. Cálculo da concentração para NOx, NO_2 e NO

Para fazer o cálculo devem-se seguir os seguintes passos:

a) Preparo da Curva Padrão

b) Cálculo dos dados de concentração

A.3.1 Preparo da Curva Padrão

Neste procedimento, se estabelece a inclinação da curva padrão, sendo necessário um espectrômetro ou um colorímetro para realizar a medição da absorbância de 6 amostras padrão.

a) Consultar a **Tabela** 1 para a sua realização. As duas primeiras colunas referem-se a valores relacionados à concentração da solução padrão de NO_2. As próximas três colunas referem-se a valores relacionados à absorbância. A última coluna refere-se ao cálculo da inclinação da curva padrão. Começar no canto superior esquerdo e continuar preenchendo os valores nas diferentes células. Essas células que foram "acinzentadas" não requerem um valor numérico. Quando for digitado um valor na célula inferior direita, o procedimento de computação estará completado.

b) Certificar-se do acesso a seis amostras padrão e que as amostras padrão são de 0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 µg / mL de soluções de NO_2.

c) A primeira coluna requer a concentração da amostra padrão (x). Digitar os valores se eles não existirem na tabela.

d) A segunda coluna requer o cálculo de x^2. Digitar os valores se eles não existirem na tabela.

e) Calcular Σx^2 (soma de x_2) e insirir o valor na célula (8).

f) Usar o colorímetro ou espectrômetro para medir a absorbância (y) de cada amostra. Digitar os valores correspondentes na célula (2) a (7).

g) A célula (2) representa a absorbância em branco y_0 (isto é, absorbância quando a concentração é de 0,0 µg / ml). Usando este valor, calcular $(y - y_0)$ e insirir a absorbância líquida A para as várias amostras padrão.

h) A próxima linha representa o produto entre a concentração e a absorbância. Preencher os valores de $x (y – y_0)$.

i) Calcular $\Sigma x (y-y_0)$ e inserir a soma na célula (9).

j) Calcular a inclinação, calculando $\Sigma x (y-y_0) / \Sigma x^2$ célula (9) dividida por (8) e inserir o valor na célula G.

Tabela 1: Preparando a curva padrão para NO, NO_2 e NOx

Concentration of Standard NO_2 Solution (µg/ml)		Absorbance			Slope
x	x^2	y	$y - y_0$	$x(y - y_0)$	$\frac{\Sigma x(y-y_0)}{\Sigma x^2}$
(1)	(1) x (1)		A	(1) x A	(9) / (8)
0	0	(2)			
0.1	0.01	(3)	(3) – (2)		
0.2	0.04	(4)	(4) – (2)		
0.4	0.16	(5)	(5) – (2)		
0.6	0.36	(6)	(6) – (2)		
0.8	0.64	(7)	(7) – (2)		
	Σx^2			$\Sigma x(y-y_0)$	(9) / (8)
(8)	1.21			(9)	G

A.3.2 Cálculo dos dados de concentração

Após a inclinação para a curva padrão ter sido preparada, deverá calcular-se a concentração. Será necessário um espectrômetro ou a um colorímetro e medirá a absorbância da amostra coletada. Os seguintes passos são:

a) Consultar a **Tabela 2** na página seguinte. No qual, cada cálculo deve ser repetido várias vezes, dependendo das amostras que possuir.

b) Digitar o local (termo descritivo) para cada lugar.

c) Digitar o tempo de exposição associado a cada local. Inserir os valores na linha (3).

A.3.3 Cálculo NO_2

a) Usar o espectrômetro ou colorímetro e medir a absorbância da amostra associada a cada local. Digitar os valores na linha (9).

b) Medir a absorbância associada a uma amostra em branco (0 µg / ml). Introduzir os valores na linha (2).

c) Calcular a absorbância para cada amostra. Inserir os valores na linha (10) tomando a diferença entre as linhas (9) e (2).

d) Calcular a concentração da solução na linha (11). Isso é feito tomando a absorbância na linha (10) e dividindo-a por G - a inclinação da curva padrão. Notar que G foi calculado anteriormente usando a **Tabela 1**.

e) Calcular o peso coletado em ng e inserir o valor na linha (12). Este valor é obtido tomando-se um produto da concentração da solução (11) e a quantidade abstrata (geralmente 8 mL) e um fator de 1000 (para converter de PPM para PPB).

f) Em seguida, calcular a concentração na linha (13). Este valor é obtido multiplicando o coeficiente de conversão da concentração αNO_2 pelo peso coletado (12) e dividindo pelo tempo de exposição (3). A 20 °C e 70% de umidade relativa αNO_2 = 56. Para outros valores de temperatura e umidade relativa, consultar a seção seguinte para o cálculo de αNO_2.

Compound	Blank Absorbance			Average	Slope of the Standard Curve	Temperature ºC	Relative Humidity (%)	Concentration Conversion Coefficient	
	B1	B2	B3					αNO_2	αNO
NOx				(1)=	G =	(20ºC)	(70%)	α_{NO2} = (56)	α_{NO} = (60)
NO_2				(2)=				α_{NO2} =	α_{NO} =

αNO_2 = 56 e αNO = 60 quando Temperatura = 20ºC e Umidade Relativa = 70%. Para outras combinações de temperatura e umidade relativa, consulte a discussão fornecida na seção seguinte.

Tabela 2: Cálculo dos dados de concentração para NOx, NO_2 e NO

	Specification			Samples			
	Sample Number			1	2	3	4
	Sample Location						
	Sampling Time (min)	(3)	=(3)				
NOx	Sample Absorbance	(4)	=(4)				
	Absorbance	(5)	= (4) – (1)				
	Solution Concentration (μg/ml)	(6)	= (5) / G				
	Collected Weight (ng)	(7)	= (6) x 8 x 1000				
	Concentration (PPB)	(8)	= (13) + (15)				
NO_2	Sample Absorbance	(9)	= (9)				
	Absorbance	(10)	= (9) – (2)				
	Solution Concentration (μg/ml)	(11)	= (10) / G				
	Collected Weight (ng)	(12)	= (11) x 8 x 1000				
	Concentration (PPB)	(13)	= α_{NO2} x (12) / (3)				
NO	Collected Weight (ng)	(14)	= (7) – (12)				
	Concentration (PPB)	(15)	= α_{NO} x (14) / (3)				

A.3.4 Cálculo dos Coeficientes de Conversão de Concentração para NO e NO_2

Valores típicos de αNO e αNO_2 são fornecidos na **Tabela 3**.

Para uma combinação de temperatura e umidade relativa que não exista na **Tabela 3**, pode-se calcular αNO e αNO_2 usando as seguintes fórmulas:

[T] = Temperatura ambiente em graus centígrados

[RH] = Humidade relativa %

P_N = 17. 535 (pressão do vapor de água em mm Hg a 20 degC)

P_T = Pressão de vapor da água à temperatura ambiente [T]

$$[P] = \left\{ \frac{2P_N}{P_T + P_N} \right\}^{2/3}$$

(consultar a **Tabela 3** para valores típicos)

$$\alpha_{NO} = \frac{10000}{(-0.78x[P]x[RH]) + 220}$$

$$\alpha_{NO_2} = \frac{10000}{(0.677x[P]x[RH]) + (2.009x[T]) + 89.8}$$

A.3.4.1 Exemplo de cálculo para αNO e αNO2

a) Calcular αNO e αNO_2 a 9 ° C e 60% de umidade relativa.

b) Olhar para a **Tabela 3** observar αNO = 61 e αNO_2 = 64.

c) Em seguida utilizar as fórmulas fornecidas anteriormente:

$$[T] = 9$$
$$[RH] = 60$$
$$P_N = 17.535$$
$$P_T = 8.609 \text{ (see Table 5)}$$
$$[P] = \left\{\frac{2P_N}{P_T + P_N}\right\}^{2/3}$$
$$= \left\{\frac{2x17.535}{8.609+17.535}\right\}^{2/3}$$
$$= 1.216 \text{ (see Table 5)}$$
$$\alpha_{NO} = \frac{10000}{(-0.78x[P]x[RH])+220}$$
$$= \frac{10000}{(-0.78x1.216x60)+220}$$
$$= 61.32$$
$$\alpha_{NO_2} = \frac{10000}{(0.677x[P]x[RH])+(2.009x[T])+89.8}$$
$$= \frac{10000}{(0.677x1.216x60)+(2.009x9)+89.8}$$
$$= 63.58$$

Tabela 3: αNO e αNO_2 em função da temperatura e umidade relativa

Temperature (°C)	Relative Humidity(%)	α_{NO2}	α_{NO}
-10	50	84	61
-9	50	83	61
-8	50	81	61
-7	50	80	61
-6	50	79	61
-5	50	78	61
-4	50	77	61
-3	50	76	60
-2	50	75	60
-1	50	74	60
0	50	74	60
1	60	68	64
2	60	68	63
3	60	67	63
4	60	66	63
5	60	66	63
6	60	65	62
7	60	65	62
8	60	64	62
9	60	64	61
10	60	63	61
11	60	63	61
12	60	62	60
13	60	62	60
14	60	61	60
15	70	58	63
16	70	58	62
17	70	57	62
18	70	57	61
19	70	57	61
20	70	56	60

Temperature (°C)	Relative Humidity(%)	α_{NO2}	α_{NO}
21	70	56	60
22	70	56	60
23	70	55	59
24	70	55	59
25	80	53	61
26	80	52	61
27	80	52	60
28	80	52	60
29	80	52	59
30	80	52	59
31	80	52	58
32	80	51	58
33	80	51	57
34	80	51	57
35	80	50	57
36	80	50	56
37	80	50	56
38	80	50	56
39	80	49	55
40	80	49	55

Fonte: OGAWA, 2019

Tabela 4: Coeficientes de vapor de água em função da temperatura

Temperature [T] degC	Water Vapor Pressure [P_T] mmHg	Vapor Pressure Coefficient [P] dimensionless
-10	2.149	1.4697
-9	2.326	1.4609
-8	2.514	1.4518
-7	2.715	1.4421
-6	2.931	1.4320
-5	3.163	1.4213
-4	3.410	1.4101
-3	3.673	1.3984
-2	3.956	1.3861
-1	4.258	1.3732
0	4.579	1.3599
1	4.926	1.3459
2	5.294	1.3314
3	5.685	1.3164
4	6.101	1.3009
5	6.543	1.2849
6	7.013	1.2685
7	7.513	1.2515
8	8.045	1.2341
9	8.609	1.2163
10	9.209	1.1980
11	9.844	1.1794
12	10.518	1.1605
13	11.231	1.1412
14	11.987	1.1217
15	12.788	1.1018

Temperature [T] degC	Water Vapor Pressure [P_T] mmHg	Vapor Pressure Coefficient [P] dimensionless
16	13.634	1.0818
17	14.530	1.0615
18	15.477	1.0411
19	16.477	1.0206
20	17.535	1.0000
21	18.650	0.9794
22	19.827	0.9587
23	21.068	0.9380
24	22.377	0.9174
25	23.756	0.8969
26	25.209	0.8764
27	26.739	0.8561
28	28.349	0.8360
29	30.043	0.8160
30	31.824	0.7962
31	33.695	0.7767
32	35.663	0.7575
33	37.729	0.7385
34	39.898	0.7198
35	42.175	0.7013
36	44.563	0.6832
37	47.067	0.6655
38	49.692	0.6480
39	52.442	0.6309
40	55.324	0.6142

Fonte: OGAWA, 2019