

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL
MESTRADO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

PHYLIPPE GOMES DE LIMA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO E ELEMENTOS DE CONFORTO
AMBIENTAL EM AMBIENTES INTERIORES E EXTERIORES EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM FORTALEZA – CE**

FORTALEZA (CE)

2014

PHYLIPPE GOMES DE LIMA SANTOS

AVALIAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO E ELEMENTOS DE CONFORTO
AMBIENTAL EM AMBIENTES INTERIORES E EXTERIORES EM UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM FORTALEZA – CE

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia
e Gestão Ambiental do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará como requisito para obtenção do
grau de Mestre em Tecnologia e Gestão
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da
Silva

FORTALEZA (CE)

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S237a Santos, Phylippe Gomes de Lima.
Avaliação do material particulado e elementos de conforto ambiental em ambientes interiores e exteriores em uma instituição de ensino em Fortaleza - CE / Phylippe Gomes de Lima Santos. - 2014.
84 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Tecnologia em Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2014.
Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.
1. Ambiente interior. 2. Ambiente exterior. 3. Material Particulado. 4. Conforto Ambiental.
I. Título.

CDD 628

PHYLIPPE GOMES DE LIMA SANTOS

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE AMBIENTES INTERIORES E EXTERIORES
EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM FORTALEZA – CE: MATERIAL
PARTICULADO E ELEMENTOS DE CONFORTO AMBIENTAL

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia
e Gestão Ambiental do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará como requisito para obtenção do
grau de Mestre em Tecnologia e Gestão
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da
Silva

Aprovado em / / .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva (Presidente)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Carlos Jacinto de Oliveira

Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profa. Dra. Maria Elisa Zanella

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico a Deus, o único e verdadeiro. O sábio dos sábios. Grande e soberano. Oculto ao soberbo, mas salvador dos pobres de espírito. A Ele sempre toda a Glória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo conhecimento e graça.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte e financiamento da pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA) pelo apoio dedicado.

Aos meus pais e minha irmã, responsáveis por um desenvolvimento saudável e que sempre me incentivaram ao crescimento intelectual e humano.

A Tayane de Lima, que sempre me ajudou e me amparou nos momentos difíceis. Sempre serei grato a ela por todo tempo e amor dispensados a mim.

A minha família, a quem tenho um enorme apreço e a família da minha namorada.

Ao professor Adeildo, exemplo de pesquisador. Sempre preocupado com inovações, mas cuidando de seus alunos como filhos. Um grande homem que se tornou um grande amigo.

Ao pesquisador Ricardo de Carvalho pela ajuda e ensino, no que diz respeito à qualidade do ar.

A Tailena Fabricio, como uma irmã, e a Nayana Santiago.

A Cristovam, que veio de Guiné-Bissau para ser um grande colaborador.

Ao Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA) e todos que compõe esse núcleo de pesquisa e desenvolvimento.

Ao Laboratório de Tecnologia Química (LTQ), especialmente nas figuras do professor Rinaldo e do amigo Hermeson.

RESUMO

A poluição interior pode apresentar riscos para a saúde humana muito maiores que a poluição exterior, pois cerca de 90% do tempo das pessoas é passado em ambientes interiores. Esta pesquisa objetivou avaliar a qualidade do ar ambiente, quanto ao material particulado de 10 e 2,5 μm de diâmetro e elementos de conforto ambiental relacionados à qualidade do ar (temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentrações de Dióxido de Carbono - CO_2), em espaços interiores e exteriores de uma instituição de ensino na cidade em Fortaleza. Foram utilizados o amostrador *MiniVol*, com o auxílio de membranas em PTFE, para MP_{10} exterior; o contador de partículas *Aerosol Mass 831* para amostragem de MP_{10} e $\text{MP}_{2.5}$ em ambientes interiores e o *Hobo® Datalogger* para coleta de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentrações de CO_2 . As coletas foram realizadas entre outubro de 2013 e janeiro de 2014 em cinco ambientes: P1 e P2 - salas de recepção; P3 - sala de aula da pós-graduação; P4 - espaço laboratorial e P5 - sala de aula. Os resultados de MP_{10} exteriores atenderam ao padrão da legislação brasileira, com a classificação do ar como “Bom” para esse parâmetro. Os pontos P1 e P2 apresentaram os piores desempenhos da pesquisa quanto a material particulado e temperatura do ar. Os ambientes climatizados, P3 e P4, apresentaram valores de temperatura do ar entre 23 e 26°C; MP_{10} inferior a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $\text{MP}_{2.5}$ inferior a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na maior parte do tempo. Durante a limpeza do laboratório registraram-se concentrações acima de 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{10} nas medições contínuas. A sala de aula (P5) apresentou valores abaixo do VMR ANVISA para CO_2 , demonstrando uma boa renovação do ar no ambiente, favorecendo baixas concentrações de material particulado. Nos horários de aumento do fluxo de veículos na área exterior da instituição, as concentrações interiores de MP_{10} se elevaram. Essa influência foi corroborada pela relação entre as concentrações Interior/Exterior de MP, que mostrou para todos os ambientes uma proporcionalidade entre as duas concentrações.

Palavras-chave: Ambiente interior, Ambiente exterior, Material Particulado, Conforto Ambiental.

ABSTRACT

The indoor pollution can pose risks for the human health much larger than outdoor pollution because about 90 % of people's time is spent indoors. This study aimed to assess the ambient air quality, as to the particulate matter 10 and 2.5 μm in equivalent aerodynamic diameter and elements of environmental comfort related to air quality (temperature, relative humidity and Carbon Dioxide), in indoors and outside of an educational institution in Fortaleza city. Were used the sampler MiniVol, with the aid of PTFE membranes for PM_{10} abroad; the particle counter 831 Aerosol Mass for PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ sampling indoors and Hobo datalogger to collect data of temperature and relative humidity and carbon dioxide (CO_2). Sampling was carried out between October 2013 and January 2014 in five environments: P1 and P2 - reception rooms; P3 - classroom graduate; P4 - lab space and P5 - the classroom. The results of PM_{10} outdoor answered the standard of Brazilian law, with the classification of air as 'Good' for this parameter. The P1 and P2 sites showed the worst performance at this research for particulate matter and air temperature. The air-conditioned environments, P3 and P4 sites, showed satisfactory values of temperature, between 23 and 26° C; PM_{10} below 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and $\text{PM}_{2.5}$ below 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. During cleaning of the laboratory were recorded concentrations above 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{10} measurements continuously. The classroom (P5) had values below the VMR ANVISA for CO_2 , demonstrating a good air exchange in the environment, favoring low concentrations of particulate matter. It was noted that in the period of increased flow of vehicles in the area of the institution, the concentrations of PM_{10} were corresponding. This influence was corroborated by the relationship $\text{PM}_{\text{Indoor/Outdoor}}$ that showed for all environments studied a proportion between the two concentrations.

Keywords: Indoor environment, Outdoor environment, Particulate Matter, Environmental Comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fotografia aérea da localização do IFCE destacando as ruas e avenidas do entorno e os pontos de amostragem.	32
Figura 2– Fotografia da estação meteorológica automática do Lerca.	33
Figura 3 – Fotografia do MiniVol TAS.	36
Figura 4 – Fotografias das seções seletoras de partículas do impactador do MiniVol TAS.	37
Figura 5 – Fotografia de membrana filtrante de Telfon (PTFE)	37
Figura 6 – Fotografia da membrana filtrante de telfon (PTFE) não amostrada e amostrada após 24 horas.	38
Figura 7 – Fotografia da câmara de dessecação e da balança de precisão utilizadas no estudo.....	38
Figura 8 – Fotografia do contador de partículas 831 <i>Aerosol Mass MetOne®</i>	39
Figura 9 – Fotografia do medidor Hobo para temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentrações de CO ₂	40
Figura 10 – Gráfico do perfil das variações da temperatura e umidade relativa do ar interior nas salas de recepções (P1 e P2).	44
Figura 11 – Gráfico do perfil da temperatura e umidade relativa do ar nos pontos P3, P4 e P5.	46
Figura 12 – Gráfico tipo <i>Boxplot</i> das concentrações internas de CO ₂ no P1.	48
Figura 13 – Gráfico do comportamento diário usual de CO ₂ na recepção dos alunos.	49
Figura 14 – Gráfico do comportamento diário usual do CO ₂ no P1	49
Figura 15 – Gráfico das concentrações de CO ₂ no bloco das artes na etapa preliminar em gráfico Boxplot.	50
Figura 16 – Gráfico do comportamento usual do CO ₂ no P2.	50
Figura 17 – Gráfico das médias horarias das concentrações diárias de CO ₂ registradas no P3 (PGTGA).	51
Figura 18 – Gráfico das médias horarias das concentrações diárias de CO ₂ registradas no P4, Laboratório de Tecnologia Química.	52
Figura 19 – Gráfico das médias horárias das concentrações diárias de CO ₂ registradas P5.	53
Figura 20 – Gráfico do material particulado de diâmetro menor que 10 µm no ambiente exterior.	54
Figura 21 – Padrões de Qualidade para Material Particulado Inalável segundo a CETESB.	55
Figura 22 – Gráfico do material particulado interior menor que 10 µm de diâmetro no P1.	55
Figura 23 – Gráfico do material particulado 10 µm ao longo de um dia na recepção dos alunos.	56

Figura 24 – Gráfico do material particulado de 10 μm de diâmetro ao longo de um dia na recepção dos alunos (médias horárias).	57
Figura 25 – Gráfico da concentração de CO_2 ao longo de um dia na recepção dos alunos (P1).	58
Figura 26 – Gráfico do material particulado interior menor que 2,5 μm de diâmetro no ambiente da recepção dos alunos.	58
Figura 27 – Gráfico das concentrações MP_{10} no ambiente exterior e interior no P1.	60
Figura 28 – Gráfico das concentrações de material particulado interior menor que 10 μm de diâmetro no ambiente no P2.	61
Figura 29 – Fotografia do Bloco de Artes do IFCE visto da rua.	62
Figura 30 – Gráfico do material particulado interior menor que 2,5 μm de diâmetro no ambiente da sala de recepção do bloco de artes.	62
Figura 31 – Gráfico da concentração MP_{10} no ambiente Exterior e Interior no P2. ...	63
Figura 32 – Gráfico das concentrações de MP_{10} no episódio PGTGA.	64
Figura 33 – Gráficos das concentrações de $\text{MP}_{2.5}$ no episódio PGTGA.....	64
Figura 34 – Gráfico da relação entre MP_{10} interior e exterior.	66
Figura 35 – Gráfico dos dados registrados de MP_{10} no episódio LTQ.	67
Figura 36 – Gráfico dos dados registrados de $\text{MP}_{2.5}$ no episódio LTQ.	68
Figura 37 – Gráfico das concentrações contínuas de MP_{10} durante a limpeza do LTQ.	68
Figura 38 – Gráfico da relação MP_{10} interior e exterior no LTQ	69
Figura 39 – Gráfico <i>Boxplot</i> do MP_{10} na sala do Bloco Central.	70
Figura 40 – Gráfico <i>Boxplot</i> do $\text{MP}_{2.5}$ na sala do Bloco Central.	70
Figura 41 – Fotografia das aberturas para ventilação na sala do Bloco Central.	71
Figura 42 – Gráfico da avaliação da sala de aula do bloco central no térreo.	72
Figura 43 – Gráfico da relação I/E de MP_{10} no episodio Bloco Central.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – VMR para contaminação química.....	23
Tabela 2 – Possíveis fontes de contaminação do ambiente interno.	24
Tabela 3 – Princípios dos métodos de amostragem e número de amostras para análise a qualidade do ar interior.	25
Tabela 4 – Dados de temperatura e umidade relativa do ar.	43
Tabela 5 – Concentrações de CO ₂ regulamentadas por normas e resoluções brasileiras.	47
Tabela 6 – Pontos de coleta e concentrações MP ₁₀	59
Tabela 7 – Dados obtidos das concentrações interiores e exteriores de MP ₁₀ e o calculado da razão I/E.	63
Tabela 8 – Concentrações exteriores e médias interiores.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BC	Bloco Central
CE	Ceará
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COVs	Compostos orgânicos voláteis
I/E	Relação Interior e Exterior
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
LERCA	Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental
LTQ	Laboratório de Tecnologia Química
MP	Material Particulado
MPI	Material Particulado Inalável
MPT	Material Particulado Total
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAN	Peroxilacetilnitrato
PGTGA	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental
PM	Particulate Material
PPM	Partes por milhão
PPMV	Partes por milhão em volume
PTFE	Politetrafluoretileno
SO _x	Óxidos de enxofre
Temp.	Temperatura
UR	Umidade Relativa
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VMA	Valor Máximo Aceitável
VMR	Valores Máximos Recomendáveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	15
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Fundamentação Teórica	16
2.1.1	<i>Qualidade do Ar</i>	16
2.1.1.1	<i>Qualidade do Ar em ambientes interiores</i>	17
2.1.2	<i>Material Particulado</i>	18
2.1.2.1	<i>Partículas Inaláveis – MP₁₀</i>	19
2.1.2.2	<i>Partículas Respiráveis – MP_{2.5}</i>	20
2.1.3	<i>Conforto Ambiental</i>	20
2.1.3.1	<i>Dióxido de Carbono</i>	21
2.1.3.2	<i>Temperatura do ar e umidade relativa do ar</i>	22
2.2	Aspetos da Legislação	23
2.3	Estado da arte	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	Área de Estudo	30
3.1.1	<i>Cidade de Fortaleza</i>	30
3.1.2	<i>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia</i>	30
3.1.3	<i>Ponto de amostragem Exterior</i>	33
3.1.4	<i>Pontos de Amostragem Interior</i>	34
3.2	Coleta de Dados	34
3.2.1	<i>Material Particulado Exterior</i>	36
3.2.2	<i>Material Particulado Interior</i>	39
3.2.3	<i>Elementos de conforto ambiental</i>	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	Temperatura e umidade relativa do ar	42
4.2	Dióxido de Carbono (CO ₂)	47
4.3	Material Particulado	53
4.3.1	<i>Material particulado (MP₁₀) no ambiente exterior</i>	53

4.3.2	<i>Sala de recepção dos alunos – P1</i>	55
4.3.3	<i>Sala de recepção do bloco de artes – P2</i>	61
4.3.4	<i>Sala de aula do PGTGA – P3</i>	64
4.3.5	<i>Laboratório de Tecnologia Química – P4</i>	67
4.3.6	<i>Sala de aula do bloco central – P5</i>	70
5	CONCLUSÕES	74
6	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES	76
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Indicadores da qualidade do ar exterior têm sido estudados há anos, bem como explorados os parâmetros referentes à poluição atmosférica. No entanto, é recente o empreendimento de esforços para o conhecimento do ar interior e as consequências à saúde humana.

A importância do estudo sobre a qualidade o ar vem, primeiramente, da necessidade vital deste recurso. O ar é o recurso ambiental que os seres humanos passam mais tempo expostos durante todo período de suas vidas e é, indubitavelmente, o recurso que estes seres necessitam de sua renovação em menor período de tempo.

Stern (1977) mostra que um humano adulto necessita em média de 14 kg de ar por dia, comparativamente a 1,4 kg de comida e 2 litros de água. Pode-se sobreviver durante 5 semanas sem comida, 5 dias sem água mas não mais de 5 minutos sem ar. Segundo este autor o ar é essencial aos sentidos da visão, do olfato e da audição, e a poluição a ele associada afeta os dois primeiros sentidos.

O estudo da poluição do ar é um vasto campo de pesquisa que possui ligação com os diferentes aspectos socioeconômicos de diversas partes do mundo, e até com regiões específicas, tendo em vista a origem dos poluentes. Esta origem pode ser exclusivamente industrial bem como urbana, e agravada por contextos diferentes de planejamento e gestão (FENGER *et al.*, 1999).

No ambiente urbano, o aumento da frota de veículos automotores tem sido uma das principais fontes de poluição do ar. Fenger (1999) aponta que desde 1950 a população mundial tem mais que dobrado, e o número global de carros tem aumentado por um fator de 10. No mesmo período a população urbana aumentou num fator de 4.

A poluição atmosférica afeta principalmente os grupos considerados mais sensíveis onde estão as crianças e idosos, bem como as pessoas que padecem de doenças cardíacas e pulmonares. As crianças apresentam maior susceptibilidade a alguns poluentes em comparação com os adultos, uma vez que respiram um maior volume de ar em relação ao seu peso corporal, e os tecidos ainda se encontram em uma fase de desenvolvimento (MENDELL e HEATH, 2005).

Em todos os ambientes, a qualidade do ar tem uma relação intrínseca à qualidade de vida das populações. Em ambiente com baixa qualidade do ar, as

populações estão mais susceptíveis a má qualidade de vida. Contudo, numa fase inicial, a preocupação com a saúde pública, devido as crescentes emissões veiculares e industriais em áreas urbanas em todo o mundo, observava apenas as exposições a riscos de contaminação do ar exterior.

Por outro lado, a poluição interior pode apresentar riscos para a saúde muito maiores que a poluição exterior (OMS, 2014). Muitos trabalhos têm sido publicados em periódicos relevantes demonstrando que a qualidade do ar interior é usualmente pior que a qualidade do ar exterior (GODOI *et al.*, 2009; JO e SEO, 2005; KOTZIAS *et al.*, 2009; LEE e CHANG, 2000; PEGAS *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2009), fortalecendo a necessidade de explorar esse ramo dos estudos sobre o ar.

Muitos pesquisadores têm se preocupado com a Qualidade do Ar Interior (QAI) em ambientes de trabalho e residenciais (COLOME, 1992; MARTUZEVICIUS, 2008). Cerca de 80 a 90 % do tempo das pessoas são passados em ambientes interiores (YU *et al.*, 2009), o que pode refletir diretamente, e de forma negativa, no bem-estar das pessoas e em sua saúde.

Os estudos em escolas e universidades têm surgido de forma incipiente, como por exemplo, trabalhos em Portugal (PEGAS *et al.*, 2012) na Suécia (WICHMANN, 2010) e no Brasil (SCHORNOBAY, 2012). Em instituições de ensino, problemas com os efeitos da poluição do ar podem ser agravados, principalmente para os indivíduos mais jovens. Estes ambientes também representam substancialmente os locais onde esses indivíduos passam, em muitas vezes, a maior parte do seu tempo.

Por serem ambientes com grandes taxas de ocupação, por períodos diários de 5 a 10 horas, e terem a necessidade de um ambiente de qualidade, as instituições de ensino possuem grande relevância para o desenvolvimento de estudos relacionados à qualidade do ar. Não obstante, os estudos de qualidade do ar em escolas são ainda escassos, inclusive no Estado do Ceará.

Com base nestas considerações este trabalho se propõe a estudar as concentrações de partículas em suspensão (MP_{10} e $MP_{2.5}$) no ar exterior e interior e elementos de conforto ambiental de uma instituição de ensino da cidade de Fortaleza, permitindo conhecer os níveis em que alunos e funcionários estão expostos diariamente a esses poluente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade do ar ambiente, quanto ao material particulado de 10 e 2,5 μm de diâmetro aerodinâmico equivalente e elementos de conforto ambiental relacionados à qualidade do ar (temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentrações de CO_2), em espaços interiores e exteriores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a qualidade do ambiente quanto o atendimento dos padrões da legislação nacional vigente;
- ✓ Avaliar a influência das concentrações de MP_{10} exteriores no ambiente interior do IFCE;
- ✓ Comparar as concentrações interiores de MP_{10} com as de $\text{MP}_{2.5}$ em ambientes do IFCE;
- ✓ Analisar as concentrações de CO_2 e as concentrações de material particulado nos ambientes do IFCE para verificar a relação entre ocupação humana e poluição do ar interior;
- ✓ Contribuir para o desenvolvimento de ambientes de ensino confortáveis quanto à qualidade do ar em escolas e universidades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a maior compreensão sobre a qualidade e a poluição do ar e seus efeitos, é importante o conhecimento desde o que se entende por poluição atmosférica até os poluentes relacionados à mesma. Assim, nesta seção é apresentada uma revisão do referencial teórico, do estado da arte e dos aspectos da legislação relacionadas ao tema estudado.

2.1 Fundamentação Teórica

2.1.1 Qualidade do Ar

A contaminação da atmosfera é devido à emissão de compostos perigosos ao ambiente a uma taxa que excede a capacidade natural que ela possui para transformar, precipitar, depositar ou diluí-los através do vento ou de outros movimentos do ar (YASSI *et al.*, 2002).

Os poluentes atmosféricos, gasosos ou particulados, dividem-se em duas categorias: os poluentes primários que derivam diretamente de emissão por fontes naturais ou antropogênicas; e os secundários que têm origem na transformação dos poluentes primários através de reações químicas dependentes das condições meteorológicas e/ou da existência de radiação solar (ALLEY *et al.*, 1998).

As fontes emissoras de poluentes primários podem ser móveis, como por exemplo, veículos motorizados, ou estacionárias, como por exemplo, a chaminé de uma indústria (fonte pontual) ou um complexo industrial (fonte por área). Podem ser ainda resultado (ou não) do processo de combustão, direta ou indireta (ROCHA, 2009).

Os poluentes primários principais são os óxidos de azoto (NO_x), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), os óxidos de enxofre (SO_x), os compostos orgânicos voláteis (COVs) e o material particulado (MP₁₀ e MP_{2.5}). Os poluentes secundários são diversos, por exemplo, o O₃ que resulta de reações fotoquímicas entre compostos de NO_x e COVs e outros como o ácido nítrico (HNO₃), o ácido sulfúrico (H₂SO₄) e peroxilacetilnitrato (PAN) podem ser referidos (ALLEY *et al.*, 1998).

2.1.1.1 *Qualidade do Ar em ambientes interiores*

Nos ambientes interiores, as pessoas são expostas a uma grande variedade de compostos químicos e de estressores biológicos, muitos dos quais causam problemas de saúde como alergias, asma, irritação, hipersensibilidade, pneumonias, câncer pulmonar (BERNSTEIN *et al.*, 2008; JIE *et al.*, 2011; RIOS *et al.*, 2009; SAMET e SPENGLER, 2003). Além disso, alguns poluentes contidos no ar interior, tais como poeira e vapor de água, se acumulam nos equipamentos, aumentando as chances de colapsos elétricos e danos a eletrodomésticos ou a estrutura do edifício (LOHBECK, 2008)

Um dos principais poluentes que afetam a qualidade do ambiente interior são as partículas presentes no ar. Conforme Brickus e Neto (1999), essas partículas têm origem de fontes internas e externas, mas os problemas no interior são diferentes do exterior. Internamente, os particulados apresentam uma maior quantidade de matéria orgânica devido às atividades exercidas dentro do edifício como cozinhar, limpar e usar produtos de consumo, além de serem encontradas, principalmente, partículas finas.

Batista (2008) reforça que efeitos adversos à saúde podem ser previstos baseados no conhecimento da composição da matéria particulada presente no ambiente fechado, que é bastante variada, constituindo-se de esporos de mofo, fibras sintéticas, amianto, restos de insetos e comida, pólen, aerossóis de produtos de consumo, como por exemplo, desodorante, fixador de cabelos.

Resultados de alguns estudos têm demonstrado uma correlação significativa e casual entre a melhoria do ambiente interior e ganhos na produtividade e na saúde (FISK, 2000; FISK e ROSENELD, 1997; KATS *et al.*, 2003; KUMAR e FISK, 2002; MENDELL e HEATH, 2005; MUDARRI e FISK, 2007; SEPPANEN *et al.*, 2007).

As partículas do ar em recintos fechados podem ser produzidas ou tornarem-se aéreas por meio de diferentes processos:

- Atritos entre partes que se movimentam ou pedaços de móveis produzirão partículas sólidas;
- Varrer, tirar a poeira, ou limpar utilizando aspiração a vácuo facilita a reentrada de partículas sólidas no ar;
- Umidificadores e vários tipos de “sprays” produzem partículas líquidas;

- O ato de fumar, ou mesmo cozinhar, produz a condensação de aerossóis, tanto sólidos, como líquidos, bem como o simples acionar da descarga de banheiros.

É importante destacar que os problemas causados por partículas, além dos relacionados à saúde, incluem deposição nas superfícies, resultando em chão e janelas sujas, estragos nas máquinas de precisão, depósito de sujeira, descoloração de obras de arte em museus, etc. (BATISTA, 2008).

2.1.2 Material Particulado

O material particulado, também designado por aerossol atmosférico, consiste numa mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar que variam no tamanho e origem (ALVES, 2008). O material particulado no ambiente é considerado como um importante indicador da qualidade do ar exterior, devido ao número de problemas de saúde que têm sido associados a suas altas concentrações (US EPA, 2013).

Os aerossóis são emitidos a partir de muitas fontes, incluindo a combustão, processos industriais, as operações culinárias, spray marinho, poeiras do solo e detritos biológicos, pólen e esporos (PIO *et al.*, 2001).

Dependendo da origem ou processos de formação, o material particulado pode ser dividido em duas grandes classes: natureza primária ou secundária. As partículas primárias são emitidas diretamente na atmosfera tanto por fontes naturais ou antrópicas, enquanto as partículas secundárias são resultantes de processos de reação q

ue envolvem dióxido de enxofre, óxidos de azoto ou compostos orgânicos voláteis com oxidantes atmosféricos (ALVES, 2008).

Vários estudos indicam que os compostos orgânicos compõem uma fração significativa do material particulado existente na atmosfera, sendo responsáveis por 20-90% da massa de aerossóis presentes na baixa troposfera (KROLL e SEINFELD *et al.*, 2008). No entanto, os dados sobre a composição de aerossóis orgânicos ainda são muito limitados, provavelmente devido às dificuldades analíticas e da complexidade dos compostos que os constitui (PIO *et al.*, 2001).

As partículas atmosféricas em suspensão apresentam-se como um dos poluentes mais graves em termos de saúde pública. Segundo a Organização

Mundial de Saúde (OMS, 2014), as partículas afetam mais pessoas do que qualquer outro poluente, sendo identificadas de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico, em MP_{10} ou $MP_{2.5}$ (OMS, 2014). As últimas são mais perigosas, uma vez que, quando inaladas, podem atingir as regiões periféricas dos bronquíolos e interferir com as trocas gasosas dentro dos pulmões (OMS, 2014). Desta forma, o tamanho das partículas é um parâmetro importante, pois está diretamente relacionado com o local de deposição no sistema respiratório (SLEZAKOVA *et al.*, 2009).

Associado a estas partículas encontra-se um amplo espectro de doenças agudas e crônicas, como é exemplo o cancro do pulmão e doenças cardiopulmonares. Estudos epidemiológicos revelam que existe uma associação entre a exposição de indivíduos a ambientes que contenham uma quantidade significativa de material particulado e o aumento da mortalidade, particularmente para pessoas que apresentem doenças respiratórias ou cardiovasculares (GILLI *et al.*, 2007).

A OMS (2014) estima que cerca de 80% de mortes de prematuros relacionadas com a poluição do ar exterior ocorreram por doenças isquêmicas do coração e acidentes vasculares cerebrais, enquanto que 14% das mortes são devido à doença pulmonar obstrutiva crônica ou infecções respiratórias agudas, e 6% das mortes foram devido a câncer de pulmão.

O material particulado total (MPT) refere-se à matéria total, em fase líquida e/ou sólida no ar, com diâmetro aerodinâmico menor que 100 μm , sendo designada pelo termo material particulado total em suspensão.

2.1.2.1 Partículas Inaláveis – MP_{10}

As partículas cujo diâmetro equivalente é menor do que 10 μm (MP_{10}) são consideradas como fração torácica, de acordo com a convenção internacional ISO7708 e, quando entram no organismo, nem sempre os mecanismos de defesas existentes no corpo humano são capazes de expulsá-las, podendo dar origem a patologias respiratórias (LEE *et al.*, 1999).

Segundo Brickus e Neto (1999) o material particulado inalável (MP_{10}) é somente aquele que é pequeno o bastante para passar pelas vias aéreas superiores e alcançar os pulmões, com diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm , sendo constituído majoritariamente por sulfatos, nitratos, amônia, aerossol carbonáceo,

sais marinhos, elementos de solo e metais (como cádmio, crômio, cobre, níquel chumbo, vanádio, zinco e outros).

Ainda na perspectiva dos autores existe muita controvérsia relacionada ao tamanho de partícula que é depositada no aparelho respiratório. Enquanto se discute a faixa de tamanho de partícula que consegue atingir as diferentes partes do aparelho respiratório, a medida de MP_{10} , por sua vez, é muito importante, pois parte do que é inalado pode ser irreversivelmente depositado nas vias respiratórias.

2.1.2.2 *Partículas Respiráveis – $MP_{2.5}$*

A composição do $MP_{2.5}$ pode variar significativamente de acordo com a sua origem e, é provável que partículas de diferentes origens possam ter diferentes toxicidades (THURSTON *et al.*, 2011).

De acordo com Silva (2010) as partículas mais finas ($MP_{2.5}$) podem servir como transportadoras de substâncias tóxicas para as vias respiratórias e devido à sua dimensão reduzida podem penetrar profundamente no sistema respiratório atingindo os alvéolos pulmonares conduzindo a dificuldades respiratórias e por vezes danos permanentes na saúde.

As partículas mais finas podem ultrapassar as defesas respiratórias, causando respostas inflamatórias, chegar aos alvéolos pulmonares, atingir a corrente sanguínea, causar doenças do coração e do pulmão, diabetes, nascimentos prematuros, baixo peso ao nascer, câncer, morte súbita e alterações cognitivas (BRAUER *et al.*, 2008; OLMO *et al.*, 2011; RAASCHOU-NIELSEN *et al.*, 2001; WILHELM; RITZ, 2003).

2.1.3 **Conforto Ambiental**

A qualidade do ar interior em edificações depende de alguns fatores principais como a emissão de poluentes por fontes interiores, a poluição por poluentes do exterior e a acumulação de poluentes devido a condições de ventilação deficientes. Por isso, os elementos do conforto ambiental, temperatura do ar, umidade relativa do ar e dióxido de carbono (CO_2) são importantes na avaliação da qualidade do ar interior.

2.1.3.1 Dióxido de Carbono

Gás inalável, asfixiante, com cor e cheiro, que pode provocar problemas respiratórios e gastrointestinais, mudanças no pH do sangue, bem como cansaço físico que se pode fazer sentir ao realizar tarefas mais exigentes. A atividade metabólica do organismo humano tem como consequência o consumo de oxigênio (O_2) e a emissão para a atmosfera de dióxido de carbono (CO_2), sendo que a alta ocupação dos ambientes interiores pode provocar um aumento significativo das concentrações deste gás (MARONI, 1995). A exposição a concentrações extremamente altas, acima de 30.000 ppm, causa danos significantes à saúde humana (QUADROS *et. al*, 2008).

O dióxido de carbono (CO_2) é também um poluente gasoso de destaque, que é gerado a partir da queima de compostos orgânicos e também é produzido através de processos de respiração humana, animal, de microrganismos e plantas. Este poluente possui a característica de ser consumido aproximadamente nas mesmas quantidades em que é produzido, devido aos processos fotossintéticos desenvolvidos pelas plantas que transformam moléculas de CO_2 em moléculas de O_2 , que são necessárias para os processos de oxidação realizados por todos os seres vivos. Desde a Revolução Industrial, que devido ao acentuado desmatamento e às emissões cada vez mais elevadas, as concentrações médias no ar ambiente deste composto subiram ligeiramente. Segundo um relatório do GEO4 as concentrações de CO_2 têm sofrido um aumento anual de cerca de 100 ppm desde o período pré-industrial até aos tempos modernos (GEO4, 2007).

A concentração interna do CO_2 depende dos seus níveis externos e da sua taxa de produção dentro do ambiente, na maioria vezes relacionadas à ocupação humana (CARMO e PRADO, 1999).

A concentração global de dióxido de carbono na atmosfera aumentou de 280 ppmv (partes por milhão em volume) para 379 ppmv. Houve um aumento médio de 1,4 ppmv de 1960 a 2005, sendo que a faixa natural dos últimos 650.000 anos é de 180 a 300 ppmv (TRENBERTH *et. al.*, 2007).

Sua concentração continua aumentando 0,5% por ano, o que é preocupante uma vez que o gás carbônico contribui ativamente para aumentar o efeito estufa (MOUVIER, 1997).

Fogões a gás, aquecedores não ventilados que utilizem algum processo de combustão, veículos motores em garagem, atividade metabólica de seres humanos e animais de estimação estão entre as principais fontes internas de CO₂. Os locais onde os ocupantes permanecem a maior parte do tempo têm a tendência de apresentar as concentrações mais altas. Levando em consideração somente o metabolismo humano, os níveis de CO₂ podem exceder 3000 ppm em salas com ventilação inadequada. Um aumento da concentração interna de CO₂ provoca aumento na acidez do sangue que, por sua vez, aumenta a taxa e a profundidade da respiração (CARMO e PRADO, 1999).

A concentração de dióxido de carbono tornou-se um indicador da qualidade do ar interno. Indica ainda, a adequabilidade da ventilação e pode ser usado para determinar se outros contaminantes internos se acumularam ou não, sendo utilizada também como uma medida de conformidade com vários padrões. Contudo, os níveis de CO₂ devem ser usados com cuidado como indicadores de qualidade do ar interior aceitável, pois pode haver outro contaminante em concentrações mais expressivas e pode haver também erros nas medidas das concentrações de dióxido de carbono ou variações temporais nessas medidas que, por conseguinte, podem levar a erros de interpretação dos níveis internos (CARMO e PRADO, 1999).

2.1.3.2 Temperatura do ar e umidade relativa do ar

A sofisticação dos sistemas de ventilação controla as quantidades de ar que entram no edifício, reduzindo gastos de energia. A temperatura e a umidade são os principais critérios usados para medir a qualidade do ar interior nesses sistemas, sendo que outros parâmetros indicadores de qualidade foram ignorados (CARMO e PRADO, 1999).

A temperatura do ar numa sala de aula é um fator determinante no processo de aprendizagem pelo que deve ser dada grande importância ao conforto térmico. A exposição a temperaturas elevadas reduz o desempenho dos alunos, enquanto as temperaturas baixas reduzem a destreza manual e velocidade dos alunos (Zeiler et al., 2009).

2.2 Aspetos da Legislação

No Brasil não existe uma legislação que trate de todos os tipos de ambientes interiores. A Resolução RE N° 09/2003 da ANVISA estabelece os padrões de referência para qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente, de uso público e coletivo.

Segundo a portaria, aerodispersóides 'são sistema disperso, em um meio gasoso, composto de partículas sólidas e/ou líquidas' (ANVISA, 2003). Logo, observa-se que a ANVISA traz um termo diferente para identificar o material particulado: aerodispersóides.

Os Valores Máximos Recomendáveis (VMR) para a contaminação química do ambiente interno estão relacionados na Tabela 1:

Tabela 1 – VMR para contaminação química.

Contaminante	VMR
CO ₂	≤ 1000 ppm
Aerodispersóides*	≤ 80 µg/m ³

Fonte: RE ANVISA 09/03 (2003).

NOTA: Pela falta de dados etimológicos brasileiros é mantida a recomendação como indicador de renovação do ar o valor de 1000 ppm para Dióxido de carbono (CO₂).

* Equivalente ao material particulado.

Os valores recomendáveis para os parâmetros físicos de temperatura do ar são de 23°C a 26°C para ambientes comuns, para operações de bulbo seco durante o verão. A faixa máxima de operação deve ficar entre 26,5°C a 27°C, com exceção das áreas de acesso que podem operar com 28°C.

Quanto à umidade relativa do ar, deve-se encontrar valores entre 40 e 65 %, nas medidas durante o verão. O valor máximo de operação é de 65%, com exceção também para áreas de acesso, onde se admite até 70%.

Esses valores são definidos pela RE N° 09/03 e são correspondentes a NBR 6401 que dispõe sobre instalações centrais de ar condicionado para conforto – Parâmetros Básicos de Projeto da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

As possíveis fontes destacadas para a contaminação do ambiente interno para os parâmetros analisados nesse estudo estão expressas na Tabela 2:

Tabela 2 – Possíveis fontes de contaminação do ambiente interno.

Agentes	Principais fontes em ambientes interiores	Principais medidas de correção em ambientes interiores
CO ₂	Produtos de metabolismo humano e combustão	Aumentar a renovação de ar externo; restringir as fontes de combustão e o tabagismo em áreas fechadas; eliminar a infiltração de fontes externas.
Material particulado	Poeira e fibras	Manter filtragem de acordo com a NBR – 6402 da ABNT; evitar isolamento termo-acústico que possa emitir fibras minerais, orgânicas ou sintéticas para o ambiente climatizado; reduzir as fontes internas e externas; higienizar as superfícies fixas e o mobiliário sem o uso de vassoura, escovas ou espanadores; selecionar os materiais de construção e acabamento com menor porosidade; adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores; restringir o tabagismo em áreas fechadas.

Fonte: RE ANVISA 09/03 (2003).

Vale destaque o fato da referida legislação não mencionar as fontes fixas como chaminé ou móveis, como carros, demonstrando a pouca importância dada aos fatores externos.

A Resolução Anvisa 09/03 traz em anexo Normas Técnicas relacionadas a amostragem dos ambientes, conforme pode-se observar na Tabela 3:

Tabela 3 – Princípios dos métodos de amostragem e número de amostras para análise a qualidade do ar interior.

Parâmetro	Princípio Recomendado de amostragem	Calibração	Periodicidade	Nº mín. de amostras*
CO ₂	Equipamento de leitura direta por sensor infravermelho não-dispersivo ou célula eletroquímica	Faixa: de 0 a 5.000 ppm. Exatidão: ± 50 ppm e + 2% do valor medido	Semanal	1
Temp. °C e Umidade Relativa	Leitura direta em termo-higrômetro. Princípio de operação: Sensor de temperatura do tipo termo-resistência. Sensor de umidade do tipo capacitivo ou por condutividade elétrica.	Faixa: 0° C a 70° C de temperatura e 5% a 95 % de umidade. Exatidão: $\pm 0,8$ ° C de temperatura e $\pm 5\%$ do valor medido de umidade	Semestral	1
Aerodispersóides	Coleta de aerodispersóides por filtração (MB-3422 da ABNT) com Filtros de diâmetro de 37 mm e porosidade de 5 μ m de diâmetro por poro específico. Vazão inicial de calibração com variação de 5%. Taxa de Vazão: 1,0 a 3,0 L/min, recomendado 2,0 L/min. Volume Mínimo: 50 L e volume máximo: 400 L. Tempo de amostragem: relação entre o volume captado e a taxa de vazão utilizada.	Exatidão: $\pm 5\%$ do valor Medido	Semestral	1

Fonte: ANVISA (2003).

* Ambientes com até 1000 m².

A portaria do Ministério da Saúde Nº 3.523, de 29 de agosto de 1998, que também aborda a qualidade do ar para ambientes interiores dispõe sobre o monitoramento e controle dos equipamentos de climatização. De acordo com a mesma portaria, a qualidade do ar é o ‘conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas do ar que não apresentem agravos à saúde humana’ (BRASIL, 1998). Ressalta-se que a mesma não define padrões de qualidade e nem parâmetros para monitoramento.

As considerações que norteiam a matéria são:

Considerando a preocupação mundial com a Qualidade do Ar de Interiores em ambientes climatizados e a ampla e crescente utilização de sistemas de ar condicionado no país, em função das condições climáticas; [...] a preocupação com a saúde, o bem-estar, o conforto, a produtividade e o absenteísmo ao trabalho, dos ocupantes dos ambientes climatizados e a sua inter-relação com a variável qualidade de vida; [...] a qualidade do ar de interiores em ambientes climatizados e sua correlação com a Síndrome dos Edifícios Doentes relativa à ocorrência de agravos à saúde; [...] Considerando que o projeto e a execução da instalação, inadequados, a operação e a manutenção precárias dos sistemas de climatização, favorecem a ocorrência e o agravamento de problemas de saúde; [...] Considerando a necessidade de serem aprovados procedimentos que visem minimizar o risco potencial à saúde dos ocupantes, em face da permanência prolongada em ambientes climatizados (BRASIL, 1998).

Quanto à preocupação com partículas inaláveis, a portaria discorre que se deve ‘descartar as sujidades sólidas, retiradas do sistema de climatização após a limpeza, acondicionadas em sacos de material resistente e porosidade adequada, para evitar o espalhamento de partículas inaláveis’.

Essas regulamentações brasileiras foram elaboradas com base nos parâmetros estabelecidos pela ASHRAE, dos Estados Unidos, como observado por Quadros e Lisboa (2010). Esse órgão estabelece os padrões de qualidade para ambientes internos climatizados. A norma ASHRAE 55-1992 (ASHRAE, 1992) estabelece os padrões de temperatura e umidade relativa do ar, enquanto a norma ASHRAE 62-1999 (ASHRAE, 1999), estabelece as taxas de ventilação do ar e alguns parâmetros físico-químicos, como a concentração de formaldeído e monóxido de carbono.

Para a análise das concentrações em ambientes exteriores, a legislação brasileira, através da Resolução CONAMA 03/1990, estabelece níveis de média 24h de 150 µg/m³ para o MP₁₀. A resolução não estabelece padrões para MP_{2.5}. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005) estabelece níveis atualizados e mais

exigentes para material particulado para a qualidade do ar, definindo níveis máximos recomendáveis de MP_{10} e $MP_{2.5}$ de 50 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, para períodos de exposição de 24 horas.

2.3 Estado da arte

Schornobay (2012), em suas pesquisas de mestrado, realizou estudos sobre material particulado e dados de conforto ambiental, incluindo poluição sonora, na cidade paulista de São Carlos. A coleta de dados se realizou em duas etapas, preliminar e efetiva. Com base nos resultados, concluiu-se que os valores de concentração e de análise química do material particulado seguem as alterações sofridas no ambiente externo. Também constatou que as concentrações interiores foram, em 72% das coletas de MP_{10} , maiores que as exteriores.

Outra observação que o autor diz respeito é quanto as concentração do $MP_{2.5}$ que vem crescendo nos últimos dez anos em São Carlos, não sendo acompanhado com crescimento de MP_{10} .

Schornobay (2012), em seu trabalho de mestrado, também traz o agrupamento de alguns dados dos estudos realizados em São Carlos no ano de 2011. Os estudos confirmam que a qualidade do ambiente interior é costumeiramente pior que a exterior. Outros estudos em São Carlos têm constatado maiores concentrações entre os meses de maio e outubro (estação seca) e menores na estação chuvosa. (CELLI *et. al.*, 2003; MARQUES *et. al.*, 2001).

Silva (2010), num estudo no interior de escolas do centro de Lisboa, Portugal, verificou que as concentrações de partículas são mais elevadas comparativamente com o ambiente exterior, principalmente para $MP_{2.5}$ - MP_{10} (em torno de $74\mu\text{g}/\text{m}^3$) contra cerca de $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ no ambiente exterior. A ressuspensão de partículas causada pelas atividades desempenhadas no interior das salas e a suspensão de poeiras do solo transportada pelas crianças são as principais causas apontadas.

Um estudo semelhante foi realizado por Silva (2010) em duas escolas básicas em Aveiro, Portugal, sendo uma em ambiente característico urbano (Escola Glória) e a outra em ambiente rural (Escola Barrocas). Conforme os resultados obtidos, as concentrações médias de CO_2 no interior das salas de aula excederam as verificadas habitualmente no exterior devido à produção deste composto através

de processos metabólicos realizados pelos ocupantes. Ressaltou-se as elevadas concentração na escola em ambiente urbano (Glória), com valores acima do Valor Máximo Aceitável (VMA) de 1800 mg/m^3 ($\pm 1000 \text{ ppm}$).

A pesquisa também avaliou as concentrações de MP_{10} no interior e exterior das escolas. As concentrações de material particulado em suspensão foram significativamente maiores no interior das escolas do que no seu exterior em dias úteis. Aos finais de semana, verificou-se uma concentração de material particulado no interior ligeiramente inferior ao verificado no exterior, devido à ausência de fontes de emissão e/ou a ressuspensão de partículas.

Parreiral (2011) realizou estudos num bloco recém-requalificado numa escola de Coimbra, Portugal. Foram analisadas nove (9) salas de aula e outros dois cômodos. Os episódios analisados foram de um dia com amostragem de 10 horas, analisando CO_2 , temperatura e umidade relativa do ar e material particulado. As concentrações de MP_{10} (expressas em $\mu\text{g/m}^3$) foram medidas de acordo com intervalos específicos, a saber: I – antes do início das aulas; II – intervalo da manhã; III – intervalo de almoço; IV – intervalo da tarde; V – depois do final das aulas. O trabalho observou elevações nas concentrações nos períodos dos intervalos da manhã (II) e da tarde (IV), ultrapassando os valores de referência de $150 \mu\text{g/m}^3$.

Fromme *et al.* (2007) estudou as concentrações I/E em escolas de Munique, Alemanha. As análises foram realizadas no interior das salas de aula durante o período de ensino, 5 horas por dia. O equipamento de medição foi colocado no meio da parede traseira na altura de 90 cm, em frente ao quadro negro. As medições ao ar livre seguiram o mesmo cronograma de amostragem no interior e feito no primeiro andar, do lado de fora das salas de aula. O amostrador utilizado para MP foi similar ao utilizado na presente pesquisa, um amostrado de médio volume, com filtros parecidos. No entanto, o material do filtro era de fibra de quartzo.

A temperatura interna média diária durante o tempo de escola não variou consideravelmente ($21 - 24^\circ \text{C}$), enquanto que uma grande variabilidade foi verificada na temperatura exterior (-6°C para 19°C). A umidade relativa do ar interior variou entre 33% e 55% e a umidade exterior entre 47% e 99%.

A concentração diária interior MP variou entre $57,8 \mu\text{g/m}^3$ e $209,9 \mu\text{g/m}^3$ para MP_{10} e entre $19,3 \mu\text{g/m}^3$ e $105,9 \mu\text{g/m}^3$ para $\text{MP}_{2.5}$, respectivamente. A relação média entre a concentração interna e externa foi de 3,6 (variação: $1,5-15,9 \mu\text{g/m}^3$) para MP_{10} e de 2,1 (variação: $0,7-5,5 \mu\text{g/m}^3$) para $\text{MP}_{2.5}$.

Quintela (2013) estudou a qualidade do ar interno no IFCE nas dependências da Biblioteca Waldyr Diogo de Siqueira. O estudo fez comparação com o trabalho realizado na Biblioteca Pública Amadeu Amaral de São Carlos – São Paulo. O equipamento utilizado para coleta de dados de MP_{10} e $MP_{2.5}$ foi o mesmo utilizado nesta pesquisa, o *Aerosol Mass 831*, o qual possui uma bomba de sucção que pode ser acionada manualmente para coletas de um minuto, ou programado para funcionar de forma contínua.

Os resultados mostraram concentrações abaixo do Valor Máximo Recomendado pela ANVISA, de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas menores que $10 \mu\text{m}$, com picos nos horários próximos ao intervalo das aulas, entre as 09:30 e 10:00 horas. Vale ressaltar que o ambiente da biblioteca é totalmente climatizado, e que a área onde foram dispostos os pontos de amostragem corresponde a uma sala que se encontra dentro da biblioteca, local este onde sofre uma menor influência do ar exterior.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

3.1.1 Cidade de Fortaleza

A cidade de Fortaleza é a capital do Estado do Ceará e possui uma população de mais de 2.500,000,00 habitantes, segundo o censo de 2010, com 100% de área urbana (IBGE, 2012). A dinâmica da cidade é inteiramente urbana, sendo que a concentração industrial está no município de Maracanaú, a 24,6 quilômetros de distância de Fortaleza.

O clima da cidade é o tropical quente sub-úmido, com temperaturas médias anuais de 26° a 28°C. A pluviosidade anual em 2012 foi em torno de 1330,0 mm. O período chuvoso é correspondente aos meses de janeiro a maio (IPECE, 2013).

Segundo o Departamento Nacional de Trânsito (2013), a frota de Fortaleza, em Dezembro de 2013, era de 908.074 veículos, com aumento, aproximado, de 0,5% ao mês (Departamento Estadual de Trânsito, 2014).

3.1.2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

A instituição de ensino escolhida para realização deste estudo foi o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), localizado no bairro do Benfica, próximo ao centro da cidade. A latitude local é 03°43.566'S e a longitude de 038°32.371'O.

O ambiente de estudo está inserido em uma região onde o trânsito de veículos é intenso, e ocupa uma área cercada de quatro vias de tráfego, sendo duas delas avenidas: Avenida 13 de Maio, Avenida dos Expedicionários, Rua Paulino Rocha e Rua Marechal Deodoro. De acordo com levantamentos da Autarquia Municipal de Trânsito (2011) o fluxo diário de veículos na Avenida Treze de Maio, principal acesso ao IFCE, é de 41.939 veículos.

Segundo dados da Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza (ETUFOR, 2013), aproximadamente 21 linhas de ônibus diurnas e 4 linhas noturnas, 3 linhas de transporte alternativo municipais e 5 intermunicipais passam pela região.

O IFCE é uma instituição de ensino centenária, que passou por algumas denominações diferentes, desde Escola de Aprendizes de Artífices (1909), Liceu Industrial (1941), Escola Técnica (1968), Centro Federal de Educação Profissional e Tecnológica (1994) até a que hoje se nomeia (2008).

No Instituto Federal do Ceará existem modalidades de cursos que vão desde o nível técnico ao superior, incluindo pós-graduações. Dentre os cursos técnicos existem as modalidades 'concomitante' e 'integrada', onde a primeira o aluno estuda apenas um período na instituição e a segunda o aluno desempenha atividades durante dois períodos do dia.

Os alunos do integrado passam cerca de 8 horas do dia em ambientes fechados, alternando entre salas de aula e laboratórios. Muitos alunos do nível superior também ficam o mesmo período na instituição em aula e exercendo atividades de pesquisa em laboratórios e extensões.

Nesse ambiente do IFCE – *Campus* Fortaleza que intercalam estruturas novas e antigas os pontos para coleta dos dados foram selecionados, conforme apresentado na ilustração a seguir (Figura 1).

Figura 1 – Fotografia aérea da localização do IFCE destacando as ruas e avenidas do entorno e



Fonte: Google Earth (2014).

*A imagem disponibilizada pelo software não corresponde fielmente às estruturas interiores do IFCE no período do

3.1.3 Ponto de amostragem Exterior

A estação meteorológica automática do Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental – LERCA foi utilizada como suporte para a amostragem de Material Particulado de $10\ \mu\text{m}$ exterior. A mesma está localizada diretamente à frente da Av. Treze de Maio e a 34 metros da Avenida dos Expedicionários, o que determinou a escolha do local (Figura 2).

A estação encontra-se protegida por cercas para evitar o acesso de intrusos, além do uso indevido do espaço. A estação está a uma altura em relação à avenida de 1,20 metros, e a uma distância de 4,0 metros das áreas de tráfego de veículos e pedestres. A torre onde foi instalado o equipamento amostrado de material particulado possui uma altura de 2,0 metros e foi confeccionada em ferro fundido.

Figura 2– Fotografia da estação meteorológica automática do Lerca.



Fonte: Próprio Autor (2014).

3.1.4 Pontos de Amostragem Interior

A seleção dos pontos foi realizada com o objetivo de permitir a análise dos ambientes interiores a partir da entrada na instituição até as salas de aula e laboratórios.

Os pontos selecionados foram: P1 – Sala de recepção dos alunos; P2 - Sala de recepção do Bloco de Artes; P3 – Sala de aula do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental; P4 – Laboratório de Tecnologia Química e P5 – Sala de aula do bloco central de ensino.

A sala de recepção dos alunos (P1) é o acesso principal ao IFCE, e a sala de recepção do bloco de artes é a única entrada deste bloco. Em ambos os casos, os locais representam tanto a entrada como a saída dos ambientes e são locais de passagem para os alunos. Os pontos restantes (P3, P4 e P5) representam locais onde os alunos têm períodos maiores de exposição a poluentes contidos no ar.

A disposição dos equipamentos de amostragem no interior de cada de cada ambiente respeitou a RE 09/2003 da ANVISA, com um ponto para ambientes até 1000 m². Assim, foi escolhido um local que considerasse o fluxo cotidiano dos alunos de forma a não obstruir passagem e assegurar a integridade dos equipamentos.

Nos pontos P1 e P2 os equipamentos foram instalados à altura de 1,5 m do solo, próximo da altura média da região de inalação do ser humano em todos os ambientes, já que a maioria dos ocupantes permanece em pé. Nos pontos P3, P4 e P5 os critérios utilizados foram os mesmos de Fromme (2007), com os equipamentos colocados a uma altura de 90 cm do solo e oposto ao quadro negro.

3.2 Coleta de Dados

Este estudo investigou as concentrações de material particulado dentro e fora de instituições de ensino em locais diferentes de Fortaleza. Parâmetros de conforto ambiental (temperatura e umidade relativa do ar e CO₂) e as concentrações de MP₁₀ e MP_{2.5} no IFCE foram medidos entre outubro de 2013 e janeiro de 2014, contemplando os períodos ‘seco’ e início do ‘chuvoso’.

As amostragens nos primeiros pontos (P1 e P2) foram realizadas entre o mês de outubro e a primeira semana de dezembro do ano de 2013. Nesta etapa as

coletas foram realizadas semanalmente, com duas coletas por semana, representando cerca de dezoito (18) amostras por local. Esta campanha foi realizada com o objetivo de obter dados preliminares e estabelecer um programa de amostragem (ROCHA, 2009) sobre a qualidade do ar quanto às partículas em suspensão e conforto dos ambientes, além de aprimorar o método e permitir correções. As amostragens foram realizadas simultaneamente tanto no ambiente exterior como interior.

Nos pontos P3, P4 e P5 as amostragens foram de uma semana, de segunda a sexta, para o estudo do comportamento ambiental durante o uso dos locais pelos estudantes, professores e funcionários do IFCE. Esse período amostral está relacionado à amostragem para avaliação do ar do ambiente, como uma auditoria (ROCHA, 2009). O período compreendeu a segunda semana de dezembro (período seco) e o mês de janeiro. Como já relatado, as amostragens foram realizadas simultaneamente tanto no ambiente exterior como interior.

Esta pesquisa utilizou duas referências para a exposição dos usuários às condições ambientais, já que a RE ANVISA 09/03 não define um período específico para exposição. Para ambiente onde a rotina dos usuários era de até dois turnos (P1, P2 e P5), como nas duas salas de recepção, tendo em vista os funcionários dos locais, e a sala de aula do bloco central: Adotaram-se oito horas ininterruptas de amostragem. Para os ambientes onde as atividades eram executadas durante 3 turnos, manhã, tarde e noite (P3 e P4): adotaram-se 24 horas ininterruptas de amostragem.

No P1 e P2 os equipamentos foram instalados às 09 horas da manhã, que é o horário médio em que os funcionários responsáveis pelo controle de entrada e os que desempenham função de segurança patrimonial dos ambientes estudados iniciavam seus trabalhos. Assim, a investigação pode gerar dados da exposição diária destes aos parâmetros estudados. Além disso, este horário corresponde ao período em que os alunos que estudam pela manhã já estão em sala de aula e compreende todo o período de trabalho e de aulas do turno da tarde.

No P3 e P4 os equipamentos foram instalados às 06 horas da manhã e os filtros trocados no mesmo horário. Este horário é baseado no fluxo de veículos na avenida, e corresponde ao horário anterior ao aumento deste.

3.2.1 Material Particulado Exterior

O material particulado exterior foi coletado na fração MP_{10} , constituído de partículas inferiores ao diâmetro aerodinâmico de $10\ \mu m$.

A filtração foi realizada com o equipamento *MiniVol TAS Airmetrics®* (Figura 3). Sua vazão de operação é ajustável entre 1 e 10 litros por minuto, coletando material particulado nas frações MP_{10} , $MP_{2.5}$ e PTS. A separação das partículas é realizada por um sistema chamado 'impactador' (Figura 4). O *MiniVol* oferece resultados extremamente próximos aos dados de métodos de referência estabelecidos pela Agência Ambiental Americana. Leve e portátil, este equipamento é ideal para o uso em locais remotos ou em locais onde não existe uma estrutura de monitoramento padrão da qualidade do ar atmosférico.

Para esta pesquisa, o impactador foi configurado para selecionar partículas na fração MP_{10} (inaláveis) e o sistema de sucção regulado para operar a 5 L/min.

Figura 3 – Fotografia do MiniVol TAS.



Fonte: Autor (2014).

Figura 4 – Fotografias das seções seletoras de partículas do impactador do MiniVol TAS.



Fonte: À esquerda – West Berkeley Community Monitoring Project – WBCMP (2014).

À direita – Pollution Online (2014).

As amostras foram retidas em membranas filtrantes hidrofóbicas de 47mm de diâmetro, fabricado em Politetrafluoretileno (PTFE) - Teflon, com 0,45 μm de porosidade. Estes filtros são utilizados principalmente em sistemas de filtração a vácuo.

As membranas de teflon (Figuras 5 e 6) são quimicamente estáveis e inertes, apresentando excelente precisão nos resultados para qualidade do ar e são quimicamente resistentes à filtração de solventes em HPLC (cromatografia líquida de alta eficiência). A membrana é laminada em uma teia tecida de polipropileno de apoio para melhorar a força e manuseio e pode ser usado em temperaturas de até 120°C.

Figura 5 – Fotografia de membrana filtrante de Telfon (PTFE)



Fonte: Aprolab (2013).

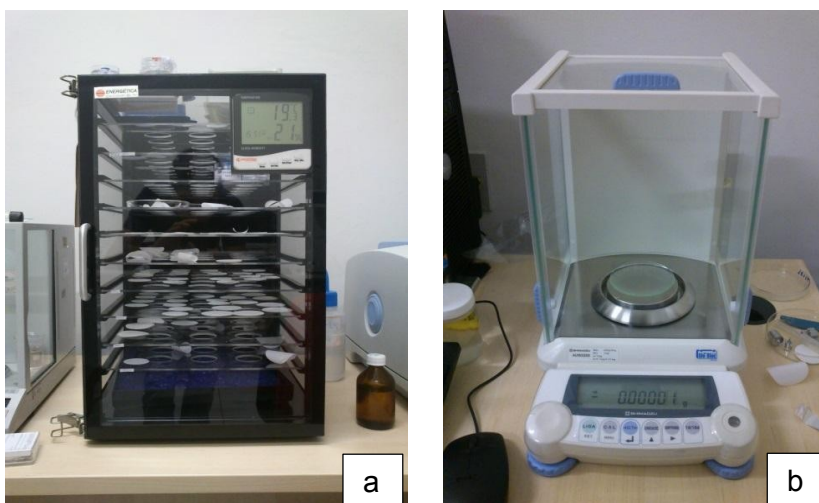
Figura 6 – Fotografia da membrana filtrante de teflon (PTFE) não amostrada e amostrada após 24 horas.



Fonte: Autor (2014).

Antes e após as amostragens, os filtros permaneciam 24 horas em uma câmara de dessecação da fabricante Energética, especialmente projetada para monitoramento da qualidade do ar ambiente (Figura 7a). Após esse procedimento, realizavam-se as medições de massa dos filtros em balança de precisão para microgramas (μg), série AIY - 220 (Figura 7b), em triplicata e em sala com temperatura e umidade relativa do ar padrões. A partir das massas medidas das partículas até $10\ \mu\text{m}$ retidas pelos filtros, se obteve os dados de concentração.

Figura 7 – Fotografia da câmara de dessecação e da balança de precisão utilizadas no estudo.



Fonte: Autor (2014).

3.2.2 Material Particulado Interior

As concentrações de material particulado interior foram obtidas através do contador portátil de partículas 831 *Aerosol Mass* da marca *MetOne®* (Figura 8). Este medidor obtém dados de quatro principais faixas de massa (10 μm , 4 μm , 2,5 μm e 1 μm) a cada 1 minuto.

Figura 8 – Fotografia do contador de partículas 831 *Aerosol Mass MetOne®*.



Fonte: Autor (2014).

O contador 831 *Aerosol Mass* conta e dimensiona partículas em 7 faixas de tamanho diferentes, em seguida, usa um algoritmo proprietário para converter dados de contagem para medições de concentração (mg/m^3). Fundamentalmente, o contador 831 calcula o volume de cada partícula detectada então atribui uma densidade padrão para a conversão.

O valor de densidade padrão é adequado para a maioria dos ambientes de amostragem. No entanto, alguns ambientes são fortemente influenciados por materiais de alta ou de baixa densidade, que podem reduzir a precisão da medição. Para esses ambientes, o contador 831 oferece uma configuração para cada faixa de medição (MP_1 , $\text{MP}_{2.5}$, MP_4 e MP_{10}) e os fatores K. Estes fatores K podem ser modificados com o *software Comet*.

A faixa de concentrações que o equipamento é capaz de detectar é de 0 a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com uma resolução de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A acurácia do *Met One 831* é de 10 %

do aerossol de calibração. A vazão de trabalho do equipamento é de 2,83 litros por minuto, dentro do faixa recomendada pela Anvisa, entre 1 e 3 litros por minuto.

Os dados são transferidos com o auxílio do *software Comet* que acompanha o produto. O suporte para essa passagem é feito através de conexão USB entre o equipamento e um computador com o software.

Os dados brutos foram baixados e passados para uma planilha do Excel, pois os mesmo são obtidos numa formação que não aceita fórmulas de cálculos. Desta forma, o Excel facilita a mudança de formatação e aplicação de fórmulas inteligentes.

3.2.3 Elementos de conforto ambiental

Os parâmetros de conforto dos ambientes interiores analisados nesse estudo foram expressos pela temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentração dióxido de carbono.

Os dados foram obtidos através do equipamento medidor da marca *Hobo/Onset®* (Figura 9), que fabrica equipamentos de referência na área de meteorologia e qualidade do ar. O *Hobo* foi desenvolvido para trabalhar em ambientes exteriores e interiores, contudo com maior acurácia para estes últimos.

Figura 9 – Fotografia do medidor Hobo para temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentrações de CO₂.



Fonte: Autor (2014).

Este equipamento pode funcionar com algumas estruturas de suporte como sondas e *Shields* (estrutura de proteção). Todavia, estes não foram utilizados devido às condições favoráveis dos ambientes estudados, sem incidência direta dos raios solares ou fontes interferentes de vapor de água sobre o equipamento.

Todas as medições foram realizadas simultaneamente e a cada 10 minutos, amostrando enquanto os dados de material particulado interiores eram obtidos. Os dados de CO₂, por sua vez, subsidiam a análise entre as concentrações de MP e as taxas de ocupação dos ambientes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme relatado na metodologia, os parâmetros utilizados para o estudo da qualidade do ar dos ambientes interior e exterior do IFCE foram os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, dióxido de carbono (CO_2) e material particulado (MP_{10} exterior e MP_{10} e $\text{MP}_{2.5}$ interior).

Os pontos de amostragem compreenderam o P1 – Sala de recepção dos alunos, P2 – Sala de recepção do Bloco de Artes, P3 – Sala de aula do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental (PGTGA), P4 – Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) e P5 – Sala de aula do bloco central.

A seguir, seguem os resultados conforme os parâmetros analisados, destacando os dados obtidos em cada ambiente de amostragem, da entrada da instituição até a sala de aula mais distante desta, conferindo certa dinâmica na análise dos resultados:

4.1 Temperatura e umidade relativa do ar

A Resolução ANVISA Nº 09/2003 estabelece os valores adequados de temperatura e umidade relativa do ar no Brasil, além de outros parâmetros de conforto ambiental, no entanto, ela se refere a ambientes climatizados artificialmente. Devido à ausência de normas para a avaliação de ambientes sem climatização artificial, essa resolução da ANVISA foi adotada como referência para essa pesquisa.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de média, desvio padrão e a razão (índice) interior/exterior para temperatura e umidade relativa do ar, registrados em todos os pontos de amostragem durante o período de coleta de dados. Os dados de todos os dias são referentes a 8 horas (09h as 17h) para permitir comparação.

A princípio pode-se notar que as temperaturas do ar mais elevadas, tanto para o ambiente interior como exterior, ficaram compreendidas no período entre outubro e dezembro de 2013, especificamente no período seco. Já as temperaturas mais baixas foram registradas nas amostragens no mês de janeiro.

Tabela 4 – Dados de temperatura e umidade relativa do ar.

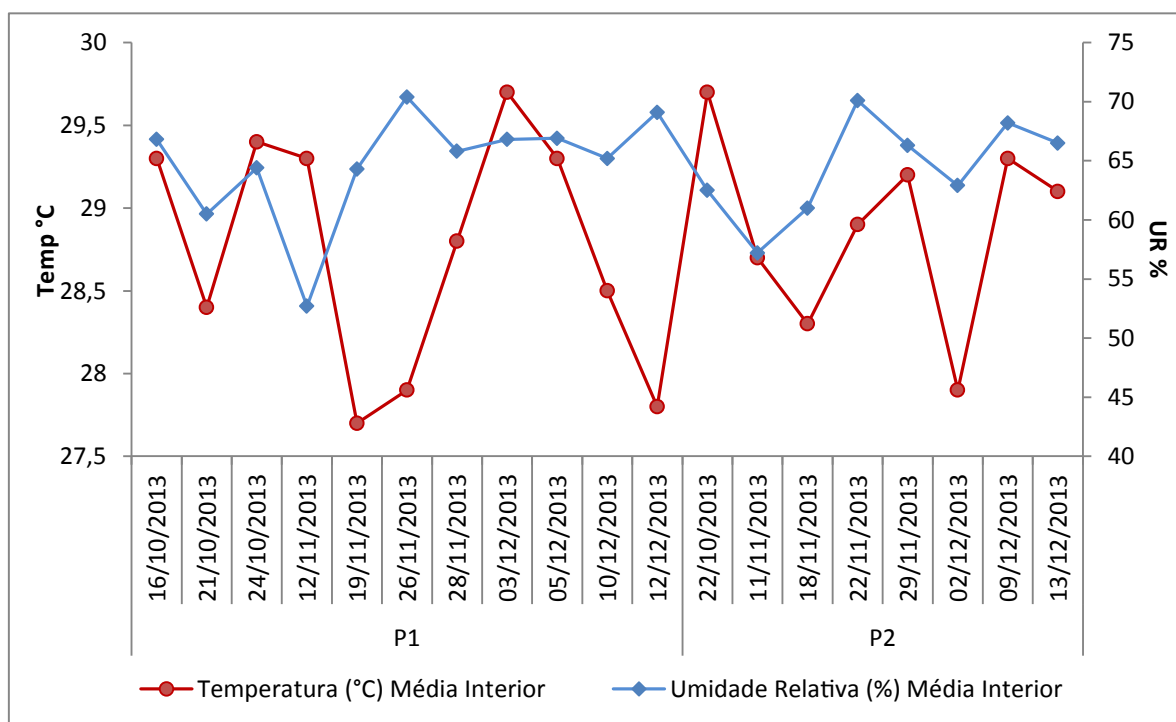
Pontos	Data	Temperatura do ar (°C)				Índice I/E	Umidade relativa do ar (%)				Índice I/E
		Média		Desvio padrão			Média		Desvio padrão		
		I	E	I	E		I	E	I	E	
P1 (8h)	16/10/13	29,3	30,4	0,35	1,95	0,96	66,8	57,5	1,4	6,76	1,16
	21/10/13	28,4	31,2	1,87	2,67	0,91	60,5	54,9	3,17	11,12	1,10
	24/10/13	29,4	-	0,6	-	-	64,4	-	3,27	-	-
	12/11/13	29,3	31	0,81	2,58	0,95	52,7	56,1	5,02	9,68	0,94
	19/11/13	27,7	30,6	1,67	2,25	0,91	64,3	57,1	6,17	9,34	1,13
	26/11/13	27,9	31,5	1,91	2,57	0,89	70,4	57,1	6,74	10,52	1,23
	28/11/13	28,8	31	1,39	2,45	0,93	65,8	55,1	3,53	9,30	1,19
	3/12/13	29,7	31,8	0,89	3,05	0,93	66,8	55,8	4,27	12,48	1,20
	5/12/13	29,3	31,5	1,04	2,56	0,93	66,9	55,4	3,46	10,11	1,21
	10/12/13	28,5	30,8	1,09	2,8	0,93	65,2	55,8	5,74	12,43	1,17
	12/12/13	27,8	29,1	1,64	1,28	0,96	69,1	61	4,48	6,49	1,13
P2 (8h)	22/10/13	29,7	-	0,94	-	-	62,5	-	3,71	-	-
	11/11/13	28,7	30,8	1,01	2,2	0,93	57,2	56,6	2,41	9,49	1,01
	18/11/13	28,3	30,7	1,44	2,39	0,92	61	54,7	5,35	9,36	1,12
	22/11/13	28,9	30	0,41	1,95	0,96	70,1	62,3	2,16	7,51	1,13
	29/11/13	29,2	30,5	0,39	1,3	0,96	66,3	57,8	1,96	5,19	1,15
	2/12/13	27,9	31,7	1,65	2,61	0,88	62,9	54	1,79	10,71	1,16
	9/12/13	29,3	31,2	1,21	2,16	0,94	68,2	58,1	4,34	8,26	1,17
	13/12/13	29,1	31,4	1,86	1,39	0,93	66,5	57,4	5,15	5,44	1,16
P3 (8h)	14/1/14	25,8	31,8	0,05	1,26	0,81	71	54,3	0,56	6,42	1,31
	15/1/14	27,8	32,2	0,48	1,26	0,86	72,4	54,6	1,75	6,61	1,33
	16/1/14	28,2	31,2	1,4	1,62	0,90	68,7	62,53	5,53	7,37	1,1
	17/1/14	24,4	31	1,28	1,64	0,79	70	63,9	5,05	8,03	1,1
	18/1/14	28	31,8	0,48	1,54	0,88	77,5	58,3	1,61	5,99	1,33
P4 (8h)	16/12/13	26,4	-	0,55	-	-	65,2	-	1,99	-	-
	17/12/13	27,5	31	0,24	1,2	0,89	67,1	56,9	0,95	4,8	1,18
	18/12/13	25,6	31,3	0,77	0,99	0,82	66,3	55,6	1,4	3,33	1,19
	19/12/13	25,9	31	0,71	1,33	0,84	67,4	58	1,22	5,04	1,16
P5 (8h)	27/1/14	29	31,1	1,34	2,8	0,93	68,8	61,1	5,15	12,95	1,13
	29/1/14	29,6	31,37	2,72	2,59	0,94	60,5	54,78	5,39	9,47	1,01
	30/1/14	27,0	27,05	2,63	1,42	0,99	74,2	79,52	10,70	6,73	0,93
	31/1/14	-	28,88	-	3,63	-	-	68,43	-	18,14	-

Fonte: Autor (2014).

Os dados de temperatura do ar registrados no interior dos pontos P1 e P2 (salas de recepção) estiveram próximos aos registrados no exterior. Na análise do índice I/E, observa-se que em 90% dos registros essa razão encontrou-se acima do 0,9, se aproximando de 1, indicando que as temperaturas do ar internas tendem a ser próximas às externas.

Para visualizarmos melhor esse comportamento nesses ambientes, os valores em cada dia de amostragem foram colocados em gráfico de linha, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Gráfico do perfil das variações da temperatura e umidade relativa do ar interior nas salas de recepções (P1 e P2).



Fonte: Próprio Autor (2014).

Na sala de recepção dos alunos (P1) as temperaturas interiores foram elevadas, com média diária mínima de 27,7 °C no dia 19 de novembro e média máxima de 29,7 °C em 03 de dezembro de 2013. Cerca de 70% dos valores encontrados ultrapassaram a referência para ambientes de acesso, estabelecido pela ANVISA, que é de 28°C. Nesse ambiente, quase 50% das médias registradas foram maiores que 29° C.

Na sala de recepção do bloco das artes (P2) as temperaturas registradas também foram elevadas, quando considerado o valor recomendado estabelecido pela ANVISA, apresentando metade dos dados com valores maiores de 29°C.

Os dois ambientes contam com aparelhos de ventilação do ar. A sala de recepção dos alunos conta com livre passagem para correntes de ar, já que as portas de entrada ficam inteiramente abertas e a saída é livre. Já no bloco das artes a ventilação cruzada é dificultada por falta de estruturas para saída do ar, favorecendo uma menor circulação do ar.

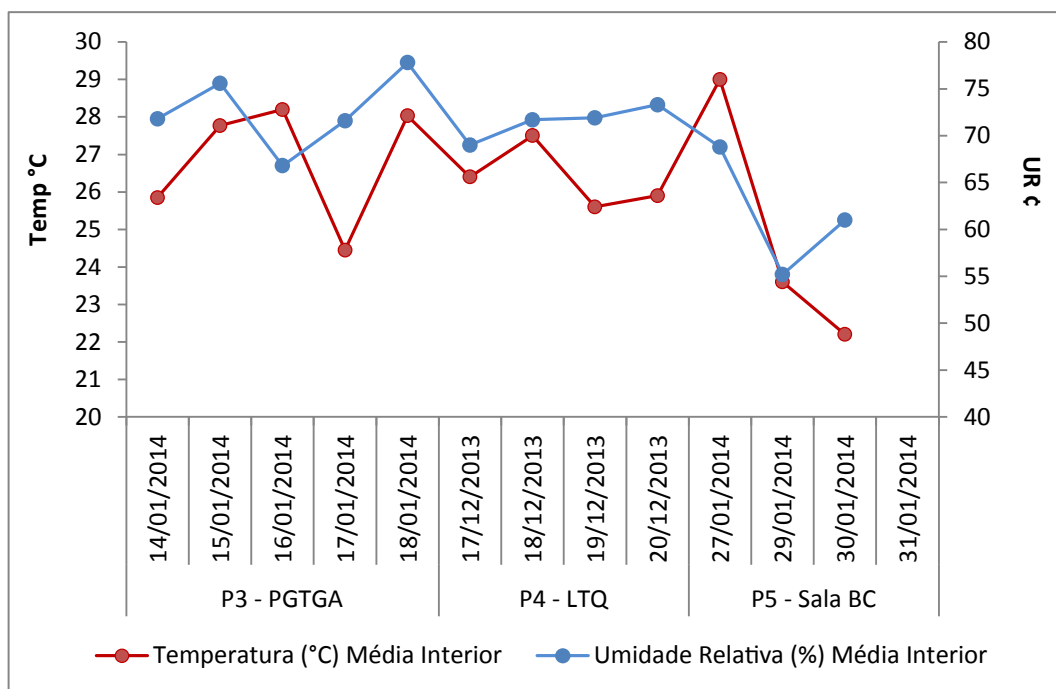
A ANVISA estabelece valores máximos de operação para umidade relativa do ar até 65%, com exceção de locais de acesso, onde o valor máximo permitido é de 70%. Nos dois ambientes, a maioria dos dados encontrados atenderam os padrões que a ANVISA estabelece. Para a razão I/E de umidade relativa do ar, os dados interiores foram, na maioria das vezes, superiores aos valores encontrados exteriormente, o que pode causar certo desconforto dos usuários durante o uso do espaço.

O estudo dos outros ambientes ocorreu nos seguintes períodos: P4 (LTQ) – Dezembro; P3 (PGTGA) e P5 (BC) – janeiro. Os ambientes do P3 e P4 são climatizados artificialmente por aparelhos de ar condicionado, enquanto a sala de aula do bloco central possui ventilação natural e equipamentos ventiladores instalados no teto. Os dados em gráfico do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar nesse ambiente estão apresentados na Figura 11.

A sala de aula do PGTGA (P3) teve um bom desempenho térmico no dia 17 de janeiro, pois foi o dia em que passou a maior parte do dia com o ar-condicionado ligado, atendendo o valor máximo recomendável pela ANVISA de 26°C para ambientes comuns. Nos outros dias, em que a janela esteve aberta, as temperaturas encontradas foram de 25,8 °C e para o primeiro dia; 27,8°C para o segundo dia; 28,2 para o terceiro dia e 28°C para o último dia de coleta de dados.

Quando observamos as razões I/E para o P3, nota-se que as temperaturas internas foram sempre menores que as externas, em pelo menos três °C (Ver Tabela 4). Já a umidade relativa do ar interior foi maior que a exterior nos dias em que as janelas da sala ficaram abertas, e menor nos dias que os aparelhos de ar condicionado estiveram ligados.

Figura 11 – Gráfico do perfil da temperatura e umidade relativa do ar nos pontos P3, P4 e P5.



Fonte: Autor (2014).

As temperaturas médias diárias do ar registradas no P4 (LTQ) estiveram acima de 26°C em dois dos quatro dias de amostragem, e todos os dados registrados de umidade relativa do ar ficaram acima dos 65% estabelecidos pela ANVISA. Logo, apesar do uso do ar condicionado, as médias das temperaturas e da umidade relativa se encontram acima do VMR para o ambiente do laboratório, operando muitas vezes acima da faixa máxima de operação entre 26,5°C e 27°C.

Conforme os dados apresentados na Tabela 5, as temperaturas interiores do P4 se mostraram inferiores às exteriores e com uma UR interior maior que a exterior.

A sala de aula do bloco central (P5) apresentou um desempenho térmico com baixas temperaturas no 3º dia, 27°C. Vale ressaltar que esse ambiente não possui climatização com ar condicionado, apenas ventilação cruzada com uma boa área de entrada do ar. A maior média de temperatura registrada foi no segundo dia, com 29,6°C, porém menor que a exterior de 31,37°C.

Quanto à umidade relativa no interior do P5, foram registrados valores médios entre 60,5% e 74,2 %. No terceiro dia, 30 de janeiro, a umidade interior foi menor que a exterior. Isso pode ter acontecido devido à combinação da ventilação

cruzada e o uso de ventiladores, que movimentam as moléculas de água presentes no ar, ou provavelmente a ocorrência de chuva nesse dia, de 17mm (Estação automática do Pici), o que também interferiu na temperatura.

4.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

Conforme especificado na metodologia, os pontos de amostragem nas salas de recepções (P1 e P2) tiveram um maior período de coletas, para acurácia e aferição do uso dos equipamentos.

No Brasil, as concentrações interiores de dióxido de carbono, indicador da qualidade do ar interno, são regulamentadas por duas resoluções, a ANVISA Nº 09/2003 e a RN 02/2003 ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ventilação, Ar condicionado e Aquecimento), que estabelecem os valores máximos recomendados, conforme Tabela 5:

Tabela 5 – Concentrações de CO₂ regulamentadas por normas e resoluções brasileiras.

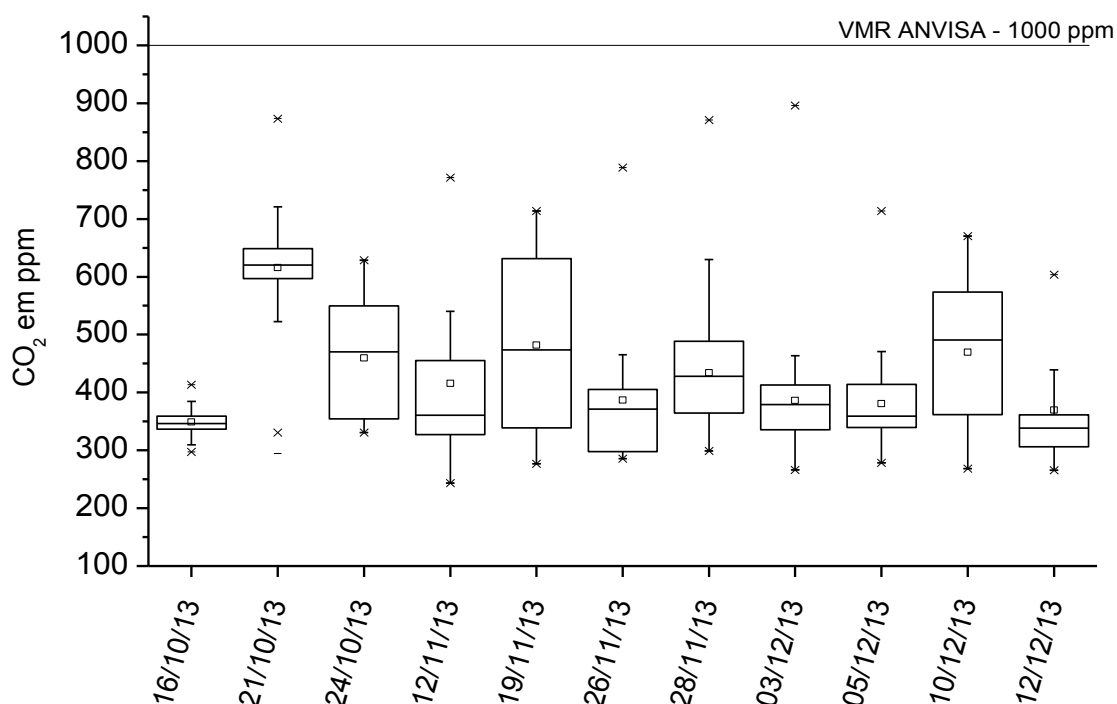
Resolução	Valor Máximo Recomendável
ANVISA Nº 09/2003	1000 ppm
ABRAVA RN 02/2003	Interna 700 ppm > externa

Fonte: Autor (2014).

As concentrações de CO₂ foram registradas em contínuo, a cada 10 minutos. Para viabilizar a agregação e análise desses dados foram utilizados gráficos do tipo *Boxplot*, onde é possível agrupar em blocos os dados encontrados nos dias de amostragem.

Os registros na recepção dos alunos (P1) estão condensados no gráfico da Figura 12, onde se encontram os dados de 16 de outubro a 12 de dezembro de 2013.

Figura 12 – Gráfico tipo *Boxplot* das concentrações internas de CO₂ no P1.

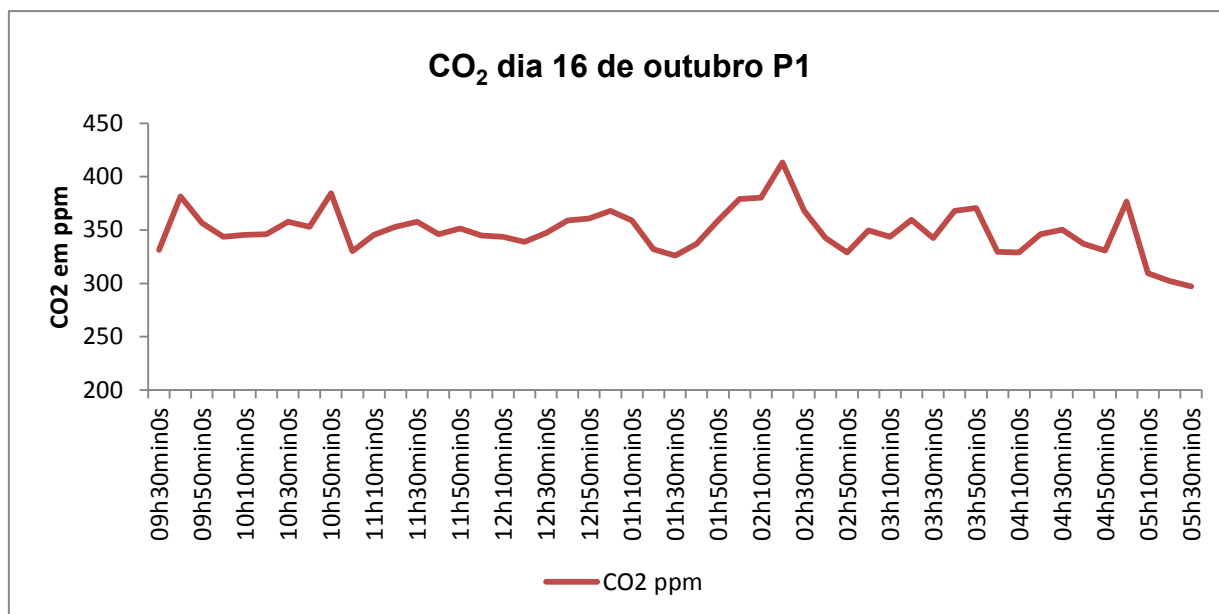


Fonte: Autor (2014).

Na sala de recepção dos alunos (P1) as concentrações de dióxido de carbono se mantiveram abaixo do padrão de 1.000 ppm estabelecidos pela ANVISA durante todo o período de amostragem na recepção dos alunos, demonstrando que o ambiente da recepção possui uma boa taxa de renovação do ar, o que não favorece o acúmulo de CO₂ gerado pela respiração humana (Figura 12). Além disso, a renovação constante do ar é um fator que ajuda na dispersão de poluentes gerados por fontes interiores, como os materiais particulados e poeira em suspensão no ar.

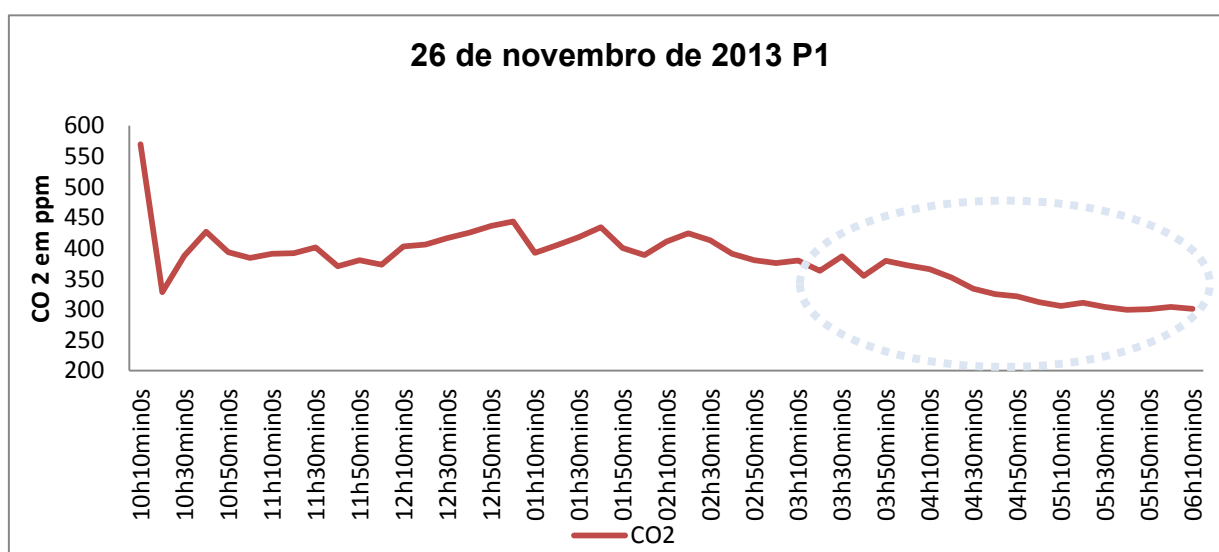
No comportamento diário das concentrações pode-se observar que não há grandes variações nas concentrações, em média 160 ppm ao longo do dia, desde o início do período de aulas da manhã até o final da tarde. Pequenas elevações estão compreendidas entre os horários e saída dos alunos pela manhã, em torno das 11 horas, e de retorno dos mesmos, próximo às 14 horas. Há um leve decréscimo das concentrações após as 15 horas. Nos gráficos abaixo (Figuras 13 e 14) é demonstrado o comportamento comum das concentrações ao longo do dia:

Figura 13 – Gráfico do comportamento diário usual de CO₂ na recepção dos alunos.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Figura 14 – Gráfico do comportamento diário usual do CO₂ no P1

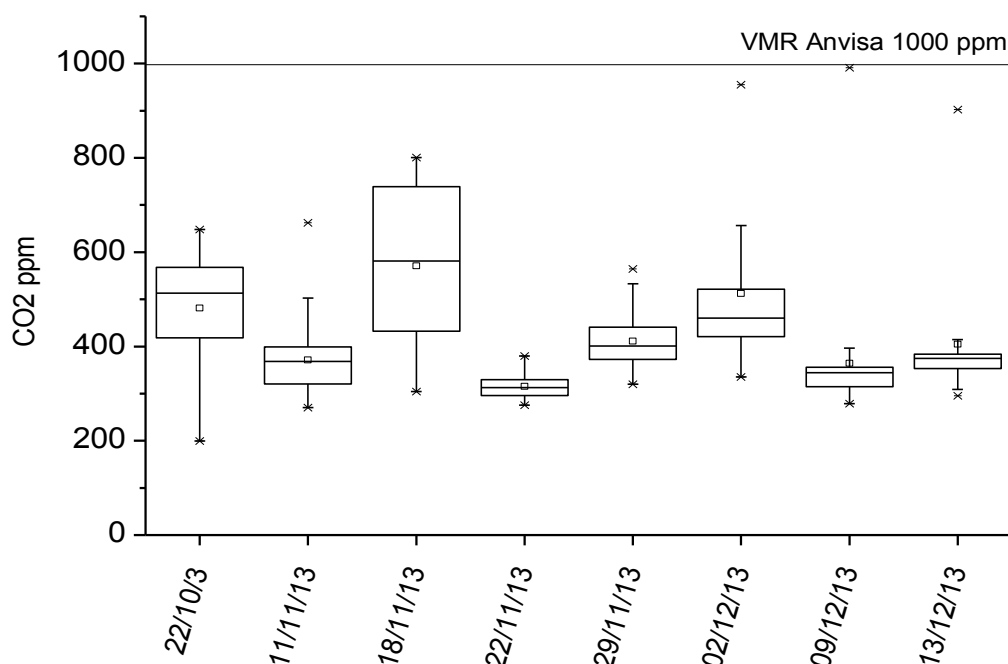


Fonte: Próprio Autor (2014).

Nota: Destaque adicionado para redução das concentrações de CO₂.

No Bloco de Artes (P2) a ocupação do prédio ocorre de forma bastante irregular quanto aos horários de entrada e saída dos alunos. Ocorrem aulas de música, ensaios ao ar livre e alguns alunos utilizam o local para estudar e conversar na área onde ficaram os equipamentos (Figura 15).

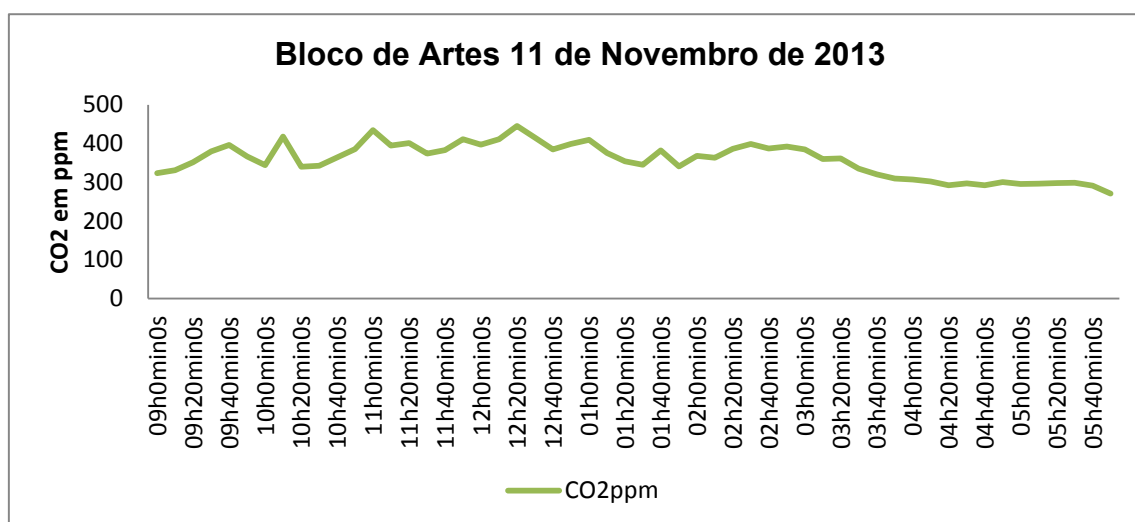
Figura 15 – Gráfico das concentrações de CO₂ no bloco das artes na etapa preliminar em gráfico Boxplot.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Como pode ser observado, também não se registraram concentrações acima do Valor Máximo Recomendável pela ANVISA de 1000 ppm de dióxido de carbono, demonstrando que o ambiente possui uma adequada renovação do ar (Figura 16).

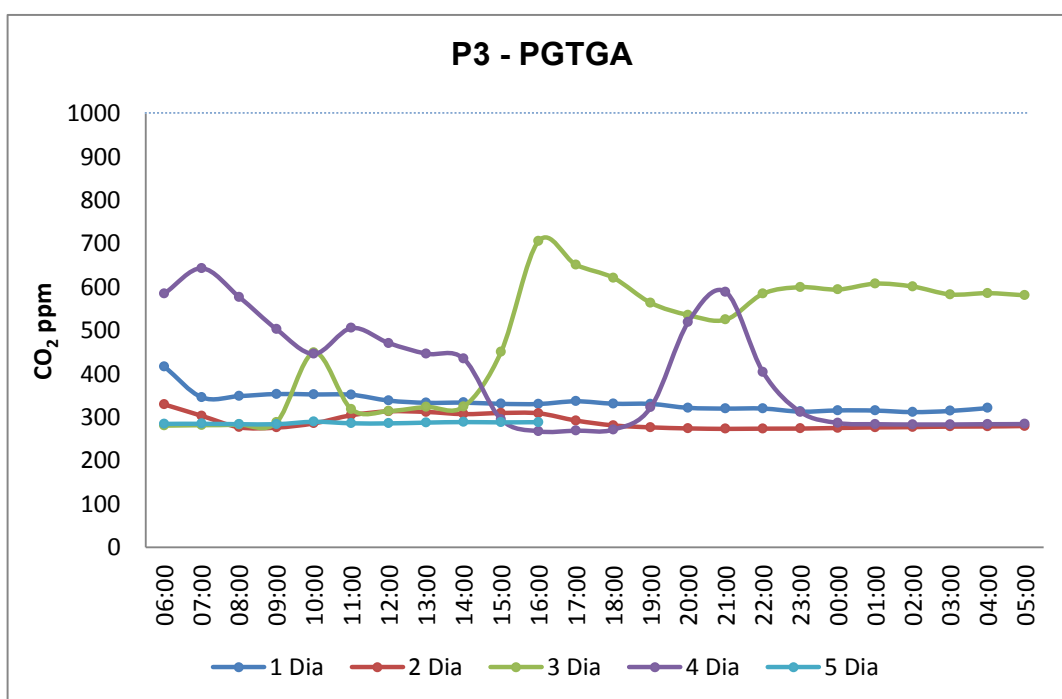
Figura 16 – Gráfico do comportamento usual do CO₂ no P2.



Fonte: Próprio Autor (2014).

O terceiro ambiente estudado foi a sala de aula do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – PGTGA (P3), no bloco administrativo. Nesse ambiente a variação de CO₂ depende das aulas do mestrado e de reuniões que normalmente ocorrem no espaço. Durante a semana de amostragem a sala esteve ocupada na quarta-feira (3 dia) à tarde e na quinta-feira (4 dia) pela manhã e noite. Os resultados obtidos durante o período de amostragem estão expressos no gráfico da Figura 17.

Figura 17 – Gráfico das médias horárias das concentrações diárias de CO₂ registradas no P3 (PGTGA).



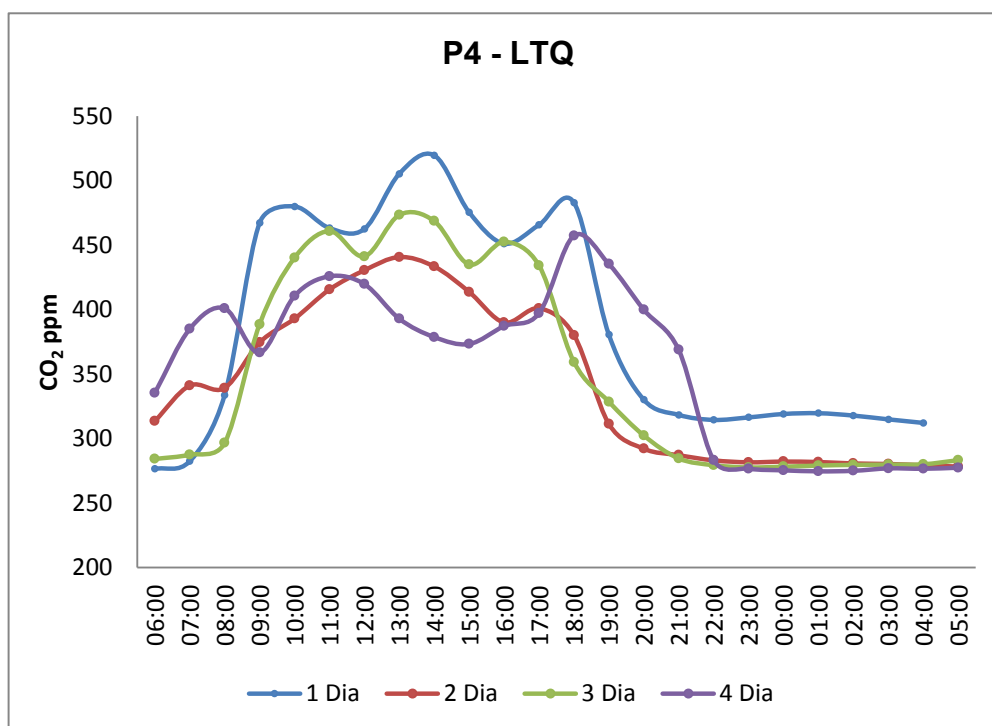
Fonte: Próprio Autor (2014).

As concentrações de dióxido de carbono não atingiram o valor limite de 1000 ppm durante todos os dias. Nas atividades executadas na sala com as janelas fechadas e uso de ar condicionado no terceiro e quarto dia, as concentrações do gás aumentaram, contudo sem ultrapassar valores de 652 ppm.

Na análise dos dados obtidos no ambiente do Laboratório de Tecnologia Química (LTQ), observa-se que as concentrações de CO₂ foram baixas em todos os dias avaliados, pouco mais de 400 em média, apesar do ambiente ser climatizado artificialmente com sistemas condicionadores de ar. Também observamos o decaimento das concentrações após as 19:00h, quando geralmente o laboratório

encerra as atividades diárias. Os níveis de CO₂ aumentam gradativamente entre as 07 e 11:00h da manhã, onde permanece com os valores mais altos do dia até próximo as 19:00h (Figura 18).

Figura 18 – Gráfico das médias horárias das concentrações diárias de CO₂ registradas no P4, Laboratório de Tecnologia Química.

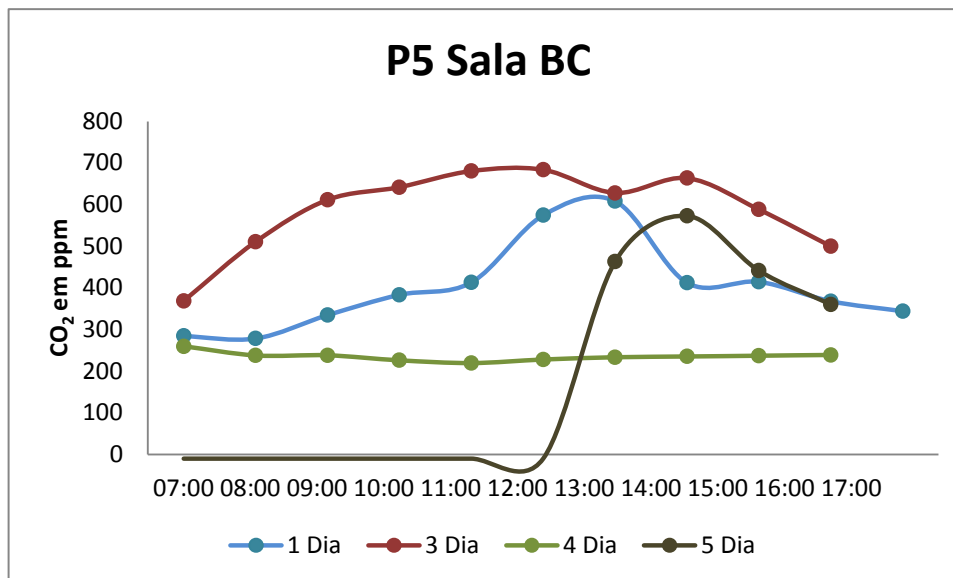


Fonte: Próprio Autor (2014).

O último ponto amostrado foi em uma sala de aula do bloco central de ensino do IFCE. Esse bloco é localizado entre blocos administrativos, a biblioteca e o pátio da piscina. É constituído principalmente de salas de aula, com poucos laboratórios e nenhuma atividade administrativa.

A sala é ocupada diariamente com cerca de 25 alunos e ocorrem aulas no período da manhã e da tarde. Apesar das atividades, as concentrações não alcançaram o valor limite da ANVISA, sendo que as maiores concentrações foram registradas no dia três, como podemos observar na Figura 19, e onde foi obtido o maior valor nesse episódio, de 683 ppm.

Figura 19 – Gráfico das médias horárias das concentrações diárias de CO₂ registradas P5.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Esses valores mostram um bom desempenho da sala quanto à dispersão de gases na sala de aula do IFCE. Silva (2010), por exemplo, registrou concentrações de 1388 ppm nas salas de aula em Aveiro, com temperaturas médias de 23°C e médias de umidade relativa do ar de 57%.

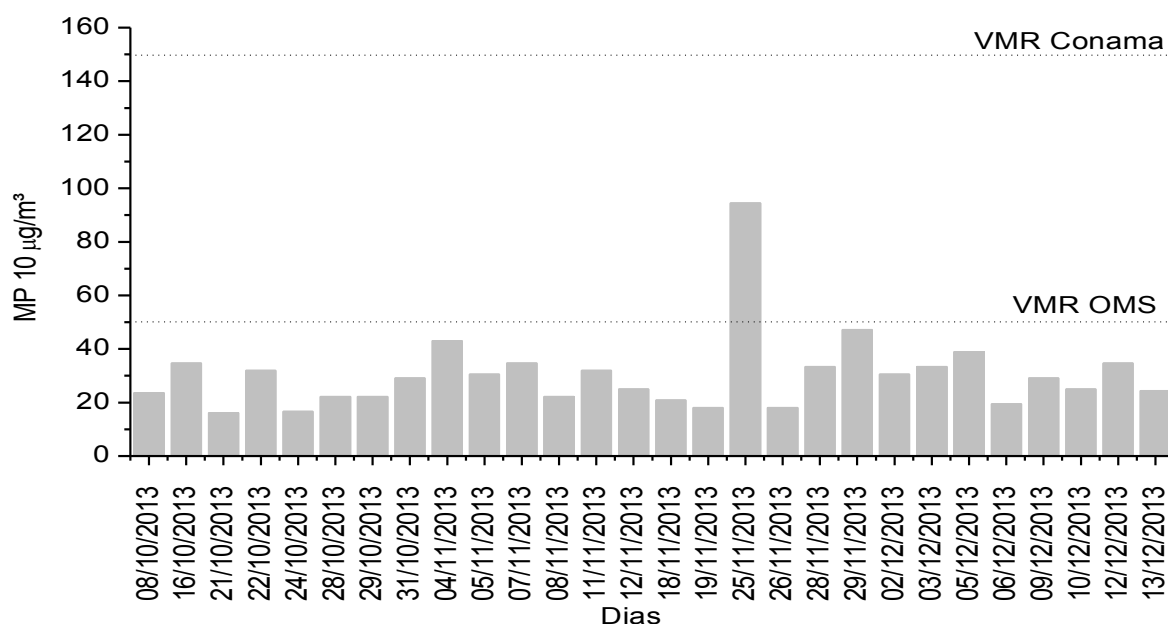
4.3 Material Particulado

Nessa sessão serão apresentadas as concentrações de Material Particulado obtidas nos ambientes exteriores (MP₁₀) e interiores (MP₁₀ e MP_{2.5}) durante as etapas do estudo.

4.3.1 Material particulado (MP₁₀) no ambiente exterior

Os dados de material particulado de diâmetro equivalente menor que 10 µm coletados no exterior durante as amostragens interiores estão registrados nessa seção. Abaixo segue a Figura 20 com os resultados das concentrações em µg/m³.

Figura 20 – Gráfico do material particulado de diâmetro menor que 10 µm no ambiente exterior.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Observa-se que em nenhum dia das amostragens realizadas a concentração ultrapassou o Valor Recomendado pela Resolução CONAMA 03/90 de 150 µg/m³ de ar. Tomando a referência dos novos padrões atualizados vigentes no Estado de São Paulo de 120 µg/m³ para exposição de 24 horas para partículas inaláveis, a qualidade do ar em Fortaleza no período entre outubro de dezembro, atendeu aos padrões.

Conforme apresentado no gráfico acima (Figura 20), a maior concentração registrada foi de 94 µg/m³, no dia 25 de novembro de 2013, um dado atípico ao restante encontrado, não sendo identificada a fonte de poluição que ocasionou a alta concentração. Se observados os valores de referência da Organização Mundial da Saúde, o valor registrado nesse dia ultrapassou o valor máximo para 24 horas.

Quanto a padrões de qualidade, baseando-se no índice de qualidade do ar CETESB (Figura 21), as concentrações obtidas na região do IFCE atendem a qualidade 'Boa', já que a maioria dos dados se encontraram abaixo de 50 µg/m³.

Figura 21 – Padrões de Qualidade para Material Particulado Inalável segundo a CETESB.

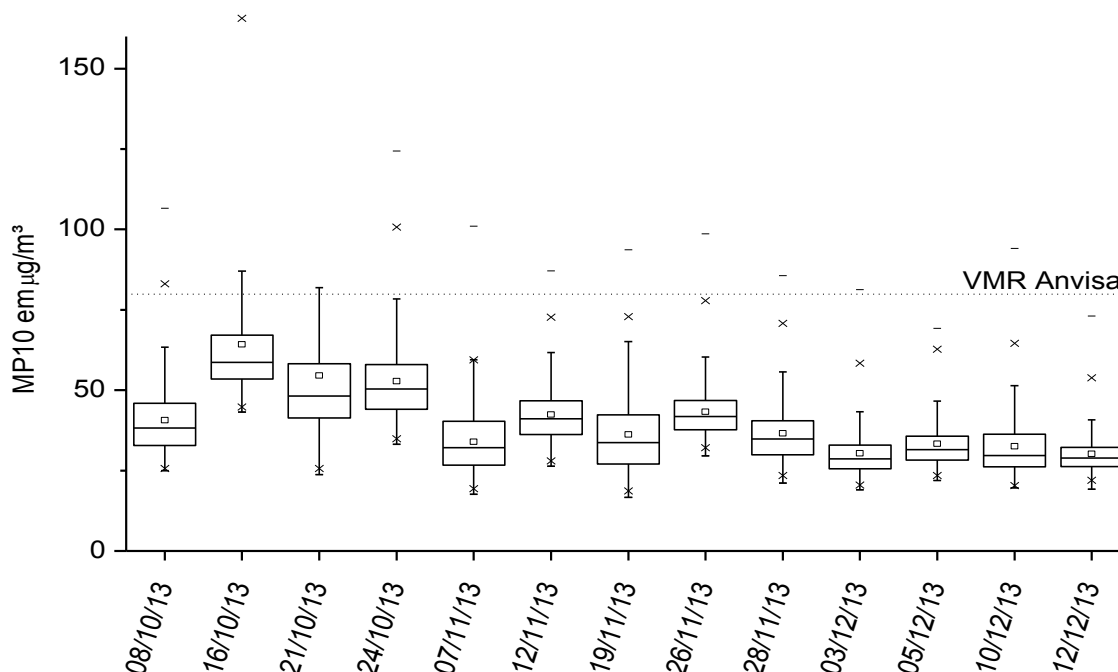
Qualidade	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h
N1 - Boa	0 - 50
N2 - Moderada	>50 - 100
N3- Ruim	>100 - 150
N4- Muito Ruim	>150 - 250
N5- Péssima	>250

Fonte: CETESB (2014).

4.3.2 Sala de recepção dos alunos – P1

Os dados obtidos no ambiente interior da sala de recepção dos alunos – P1 no IFCE, de uma maneira geral, não foram preocupantes quanto altas concentrações de material particulado. Os resultados para MP₁₀ se apresentaram, na maioria das vezes, abaixo do Valor Máximo Recomendável de 80 µg/m³ conforme a Resolução 09/03 da ANVISA (Figura 22). A redução das concentrações em dezembro se deve ao início das férias escolares.

Figura 22 – Gráfico do material particulado interior menor que 10 µm de diâmetro no P1.

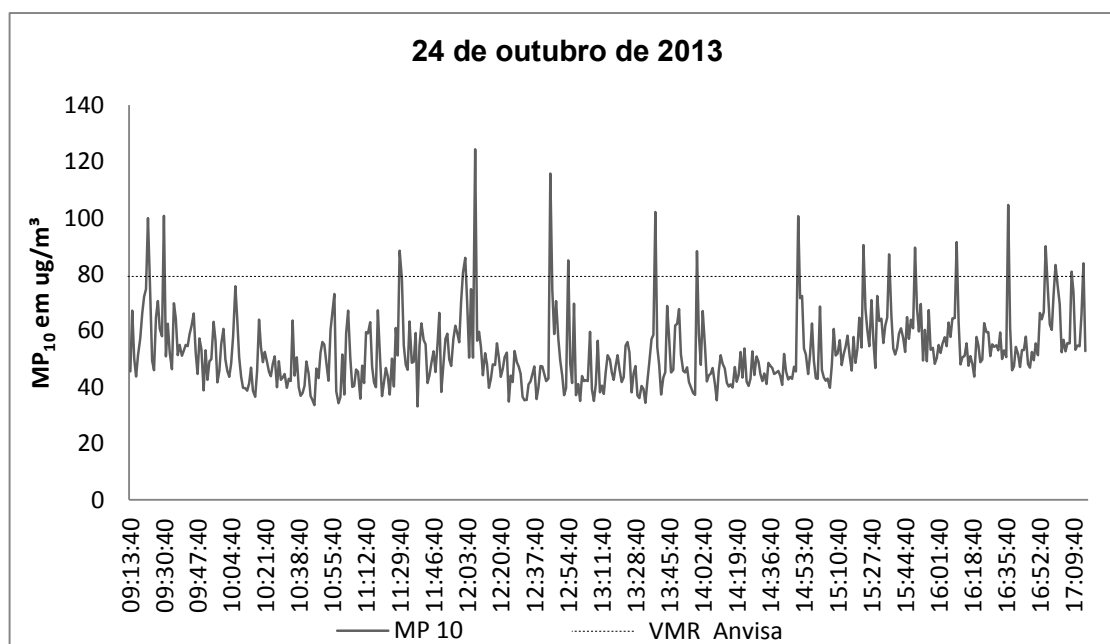


Fonte: Próprio Autor (2014).

Apesar dos dados, de uma forma geral, não se concentrarem numa faixa superior ao VMR da ANVISA, registraram-se alguns valores preocupantes, como por exemplo, de $228 \mu\text{g}/\text{m}^3$ próximo ao meio-dia.

Na Figura 23 a seguir é mostrado que a variação ao longo do dia de material particulado na recepção está relacionada principalmente com o fluxo de alunos que entram e saem da instituição, provocando os picos de concentração nos horários próximos ao início das aulas (07h30min), intervalo (09:30) e saída das aulas (próximos as 11:00h). Além dessas fontes, também se notou um aumento das concentrações a partir das 15 horas, período em que o fluxo de pessoas na recepção é reduzido. Não há impacto da variação nas concentrações, pois o ambiente é varrido uma única vez durante o dia em torno das 06:30 da manhã. A amostragem de 24 de outubro é uma representação típica do que ocorre no P1.

Figura 23 – Gráfico do material particulado $10 \mu\text{m}$ ao longo de um dia na recepção dos alunos.

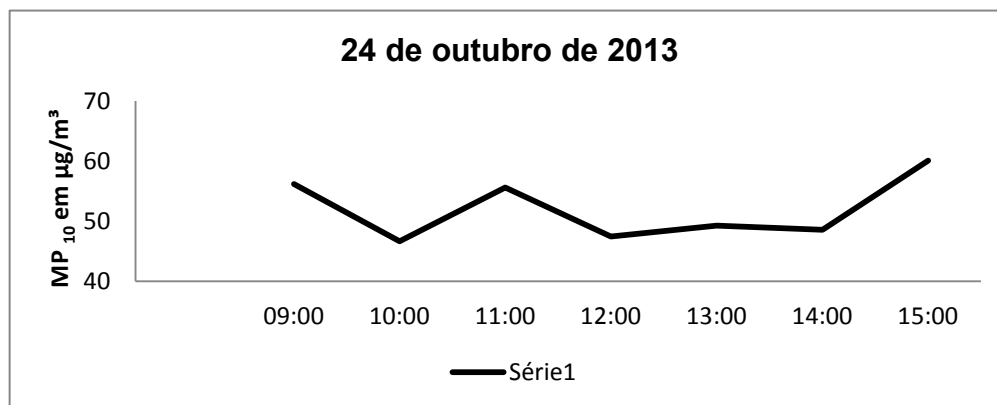


Fonte: Próprio Autor (2014).

Neste dia podemos observar cerca de sete eventos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou mais, embora as concentrações médias ficassem em torno de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pode-se verificar também um agrupamento de maiores concentrações no intervalo entre 14:40 e 17:10, ultrapassando em diversos momentos a referência da Anvisa. O maior registro foi próximo ao meio dia, de $124,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Contudo, em todo o período

de amostragem nenhuma sequencia de dados representou uma média que fosse preocupante à saúde humana, ou seja, com todos os dados elevados. Podemos observar isso mais claramente quando analisamos as médias horárias, conforme a Figura 24:

Figura 24 – Gráfico do material particulado de 10 μm de diâmetro ao longo de um dia na recepção dos alunos (médias horárias).



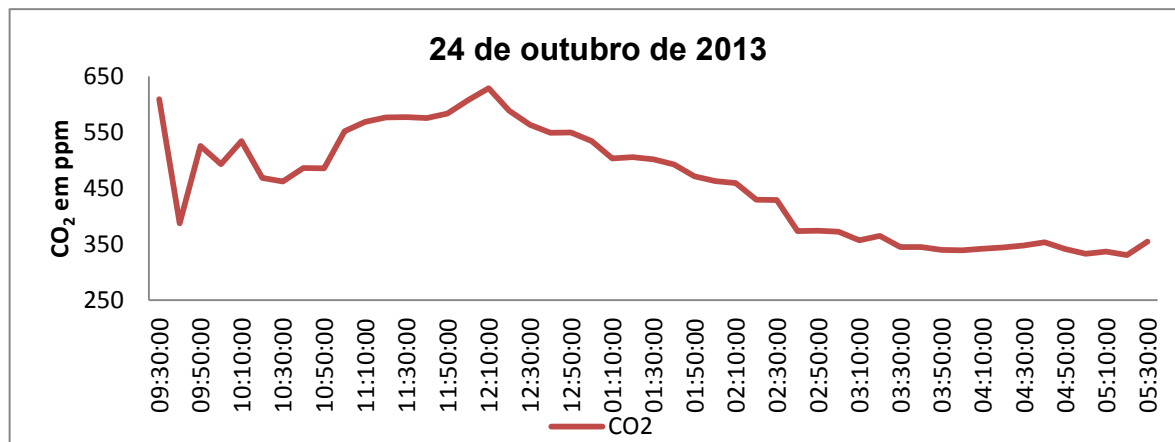
Fonte: Próprio Autor (2014).

No intervalo onde as concentrações de MP₁₀ são as maiores e com altos valores recorrentes foi o período que houve uma redução perceptível das concentrações de dióxido de carbono no ambiente estudado. Isso leva a inferência de que outros fatores, alternativos a ocupação e fluxo de pessoas na recepção, foram os causadores dessas concentrações. Vale destacar que esse período, iniciando às 15:00h corresponde a um aumento do tráfego de veículos na avenida Treze de Maio, podendo ser o fator que incrementa as concentrações de MP₁₀ interior.

É importante notar que se esperava que depois das 15 horas até às 17 horas, as concentrações de material particulado reduzissem ou se mantivessem em certo nível de constância. Contudo, observa-se que as concentrações de MP₁₀ interiores seguem um aumento, acompanhando o aumento do tráfego de veículos nas avenidas circundantes ao IFCE.

Os dados diários de CQ obtidos demonstram que a taxa de ocupação reduz no período da tarde, conforme podemos ver na figura a seguir (Figura 25):

Figura 25 – Gráfico da concentração de CO₂ ao longo de um dia na recepção dos alunos (P1).

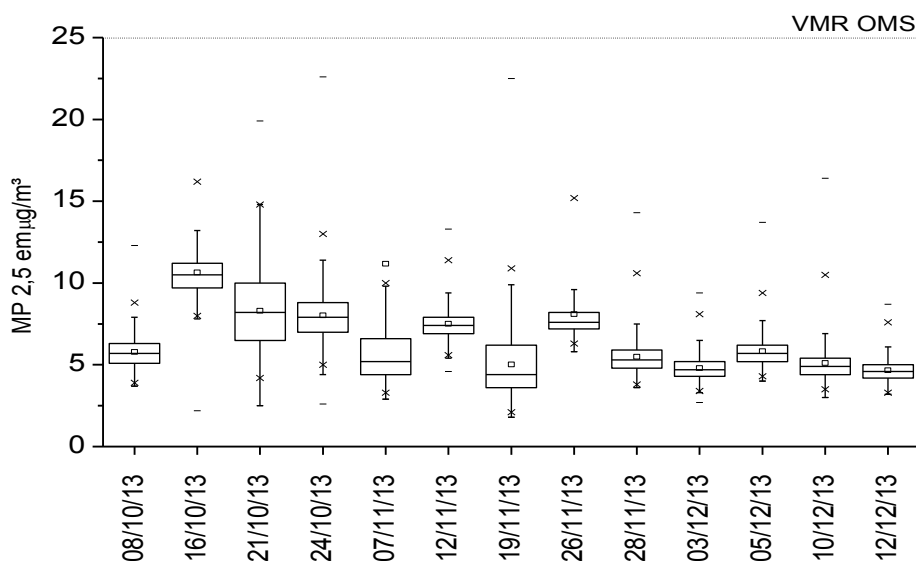


Fonte: Próprio Autor (2014).

Entre as 01:00 e 05:00 da tarde há uma clara redução dos níveis de CO₂ na recepção dos alunos, demonstrando que o fluxo e ocupação por pessoas reduz ao longo da tarde até o fim das aulas desse turno. Logo, as fontes ligadas à passagem de pessoas não podem ser a origem do Material Particulado registrado no local.

Também foram amostrados no interior dados de MP_{2,5}, conforme a Figura 26.

Figura 26 – Gráfico do material particulado interior menor que 2,5 µm de diâmetro no ambiente da recepção dos alunos.



Fonte: Próprio Autor (2014).

No Brasil não há regulação para material particulado menor que $2,5 \mu\text{m}$, ainda que essas partículas sejam prejudiciais e estejam diretamente ligadas a problemas de saúde. Na recepção foram registradas baixas concentrações, com predominância na faixa entre 5 e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiores as médias estabelecidas pela OMS (2005) de $25 \mu\text{g}/\text{m}^2$ para 24 horas.

Na Tabela 6 estão agrupados os valores interiores e exteriores de todo o período.

Tabela 6 – Pontos de coleta e concentrações MP_{10} .

Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Índice I/E
Recepção Alunos	08/10/2013	40,69	23,61	1,72
	16/10/2013	64,26	34,72	1,85
	21/10/2013	54,6	16,16	3,38
	24/10/2013	52,8	16,66	3,17
	29/10/2013	33,96	22,22	1,53
	07/11/2013	34	34,72	0,98
	12/11/2013	45,45	25,00	1,82
	19/11/2013	36,2	18,06	2,00
	26/11/2013	43,3	18,06	2,40
	28/11/2013	36,6	33,33	1,10
	03/12/2013	30,35	33,33	0,91
	05/12/2013	33,35	38,89	0,86
	10/12/2013	32,6	25,00	1,30
	12/12/2013	30,21	34,72	0,87

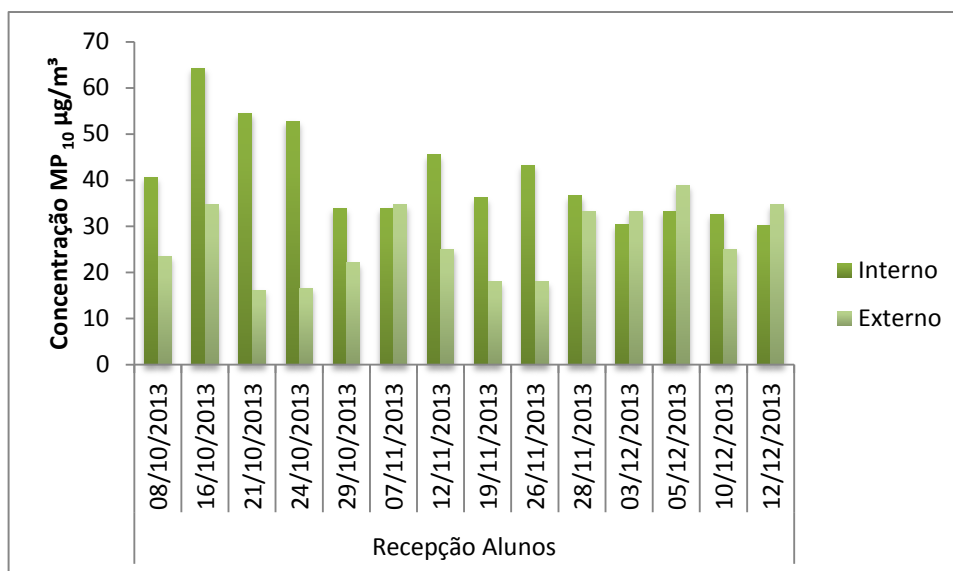
Fonte: Próprio Autor (2014).

Também foram analisadas as relações entre o material particulado de $10 \mu\text{m}$ interior e o exterior, como se pode observar na Figura 27.

Ao analisarmos o comportamento dos dados, percebemos que há uma relação proporcional das concentrações Exteriores e Interiores para os dois locais estudados nessa etapa. Na recepção dos alunos, as concentrações exteriores foram, na maioria das vezes, próximas ou menores que $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e as concentrações interiores não se apresentam inferiores a $30 \mu\text{g}/\text{m}$. Essa concentração mínima interior é devido às fontes internas relacionadas com a movimentação das pessoas, respiração, partículas emitidas das roupas,

revestimentos e matérias construtivos e atividades da recepcionista e dos dois guardas fixos.

Figura 27 – Gráfico das concentrações MP_{10} no ambiente exterior e interior no P1.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Em dezembro, quando das férias no IFCE se reduz significativamente o fluxo de alunos nos dois ambientes, as concentrações I/E se mantiveram em concentrações bem próximas no ambiente de recepção dos alunos.

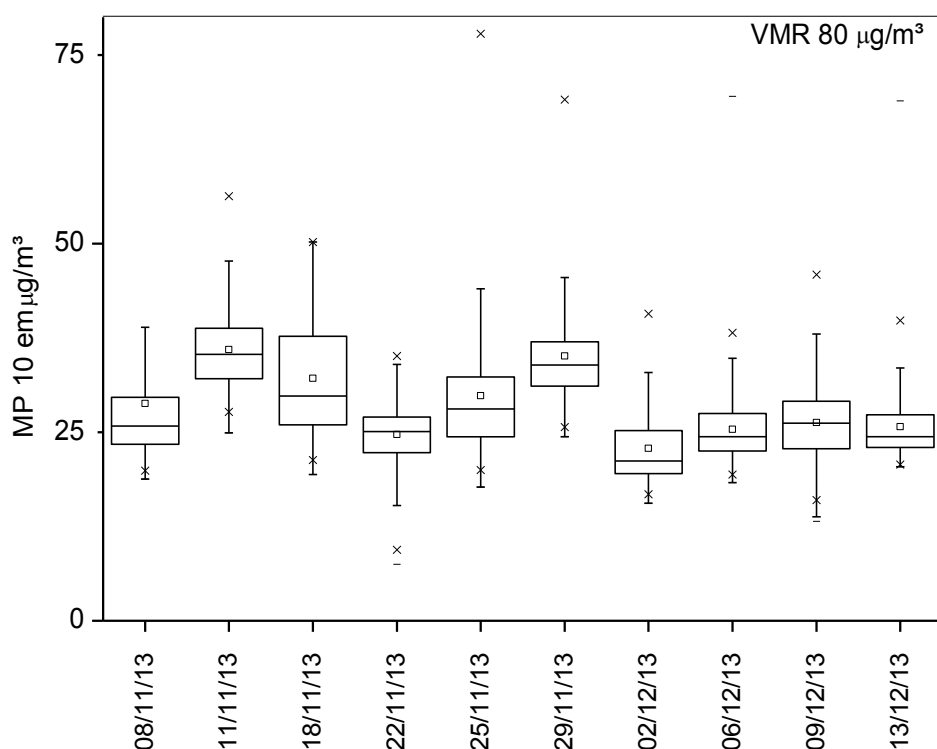
A possível influência do ambiente externo é corroborada com os valores encontrados no interior que são correspondentes com os períodos de maior fluxo de veículos automotores na região do instituto. Ao verificar o horário da tarde, após a entrada dos alunos para as aulas, as concentrações interiores acompanham os horários de aumento do fluxo, quando a ocupação e emissão interior são reduzidas. Branis *et al.* (2005), em Praga, estudando num período considerado meteorologicamente estável e sem elevada poluição, confirmaram que a atividade humana é um fator importante para os níveis elevados de partículas no interior e que as frações de partículas interiores são significativamente influenciadas pela concentração de partículas do ambiente exterior.

4.3.3 Sala de recepção do bloco de artes – P2

No segundo ambiente interior estudado, a sala de recepção do bloco de artes, as concentrações registradas foram ainda menores que as obtidas na recepção dos alunos, com valores de MP_{10} bem abaixo do valor definido pela ANVISA.

Na Figura 28 tem-se o gráfico tipo *Boxplot* onde são apresentados os intervalos onde os dados se concentraram.

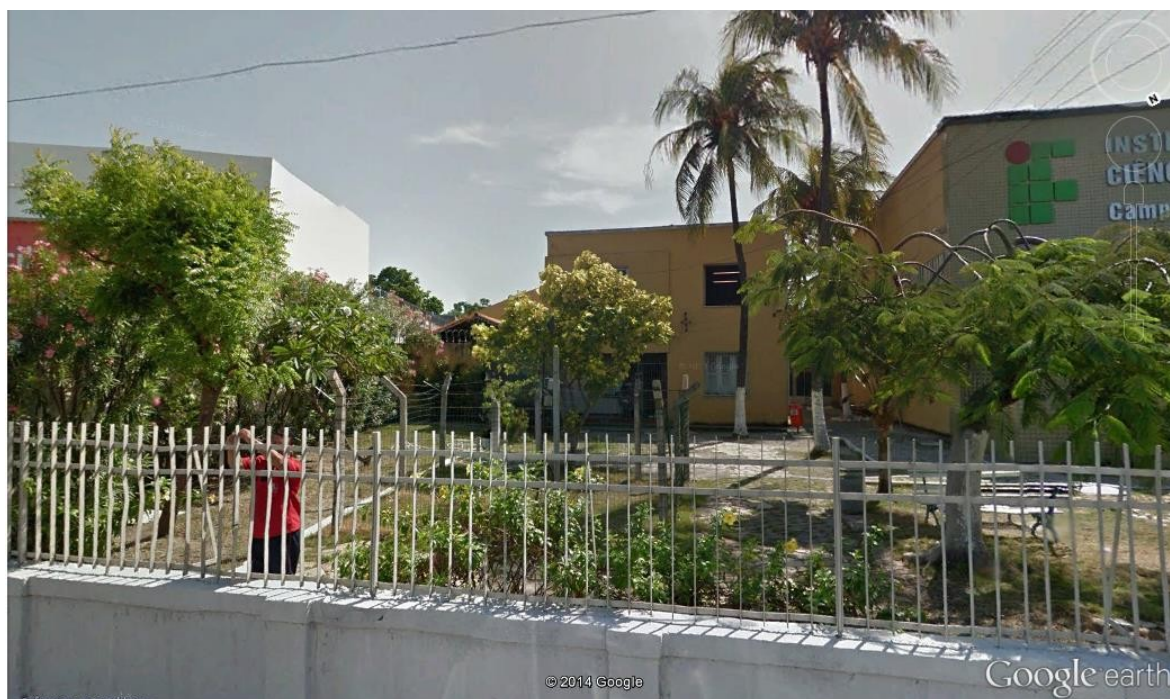
Figura 28 – Gráfico das concentrações de material particulado interior menor que 10 μm de diâmetro no ambiente no P2.



Fonte: Próprio Autor (2014).

O ambiente desse bloco tem um fluxo de alunos bem menor que a recepção dos alunos do IFCE, tendo em vista que o deslocamento de pessoas para essa área é comumente de alunos da área de artes e desporto e lazer. O local possui um auxiliar de serviços gerais que cuida da limpeza do local. Além disso, algumas árvores e o jardim podem servir de anteparo para a poluição incidente, e a localização pode ter influencia (Figura 29).

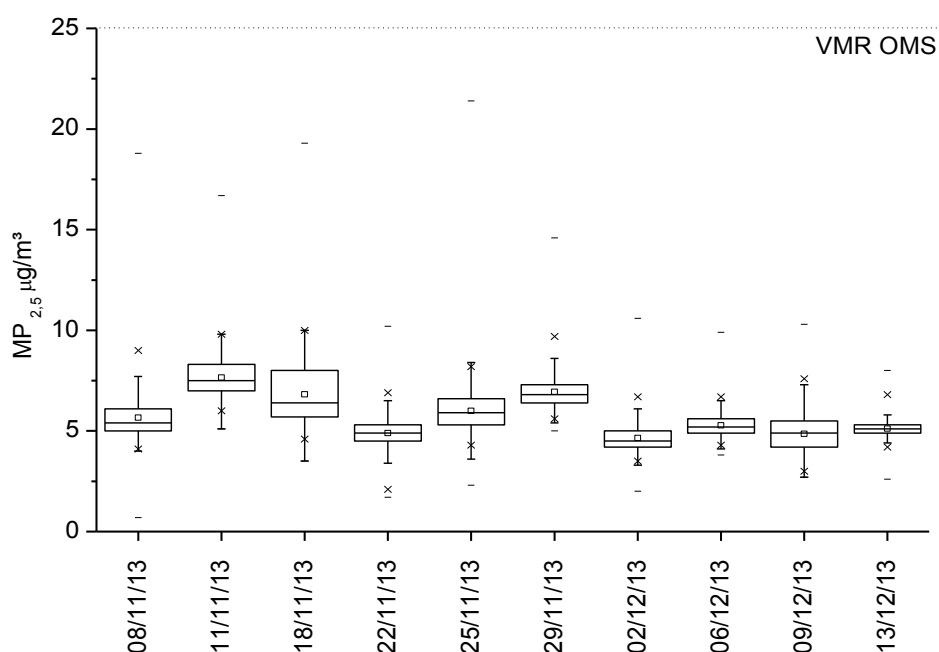
Figura 29 – Fotografia do Bloco de Artes do IFCE visto da rua.



Fonte: Google Earth (2014); editado por: Autor (2014).

Os valores de $MP_{2.5}$ encontrados nas avaliações ficaram abaixo do limite estabelecido pela OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme o gráfico abaixo (Figura 30):

Figura 30 – Gráfico do material particulado interior menor que $2,5 \mu\text{m}$ de diâmetro no ambiente da sala de recepção do bloco de artes.



Fonte: Autor (2014).

Abaixo (Tabela 7) seguem os dados das concentrações interiores e exteriores de MP_{10} registradas durante o período de amostragem no P2, com o calculo do índice I/E:

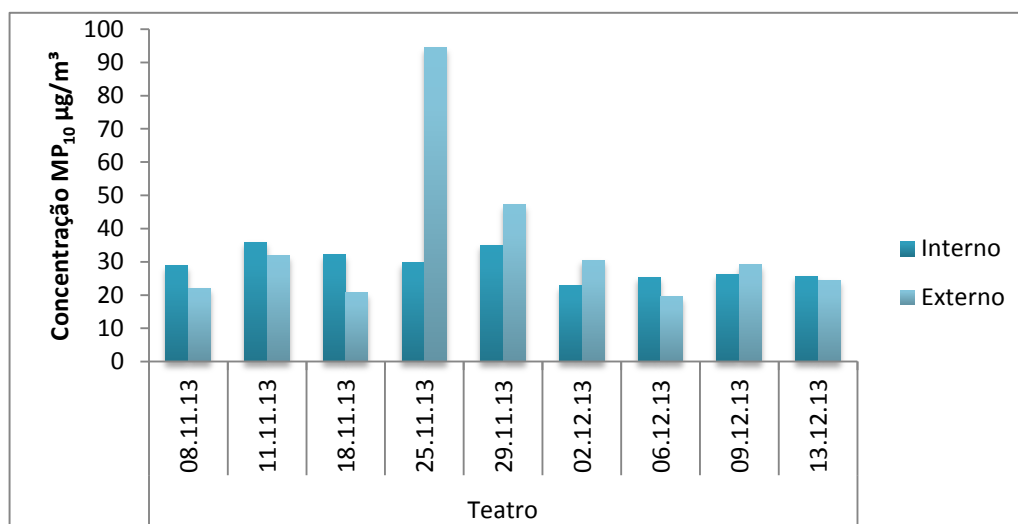
Tabela 7 – Dados obtidos das concentrações interiores e exteriores de MP_{10} e o calculo da razão I/E.

Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Relação I/E
Sala de Recepção no Bloco das Artes	08/11/13	28,8	22,22	1,30
	11/11/13	36	31,94	1,13
	18/11/13	32,2	20,83	1,55
	25/11/13	29,8	94,44	0,32
	29/11/13	35,1	47,22	0,74
	02/12/13	22,8	30,56	0,75
	06/12/13	25,4	19,44	1,31
	09/12/13	26,3	29,17	0,90
	13/12/13	25,7	24,44	1,05

Fonte: Próprio Autor (2014).

Cerca de 55% dos valores interiores foram maiores que os encontrados no exterior, mostrando que as fontes interiores de material particulado não são emissoras de altas concentração de material particulado. Contudo, quando os dados são observados em gráfico (Figura 31), pode-se notar uma proximidade dos dados, com exceção do dia 25 de novembro, quando uma concentração exterior atípica foi registrada.

Figura 31 – Gráfico da concentração MP_{10} no ambiente Exterior e Interior no P2.

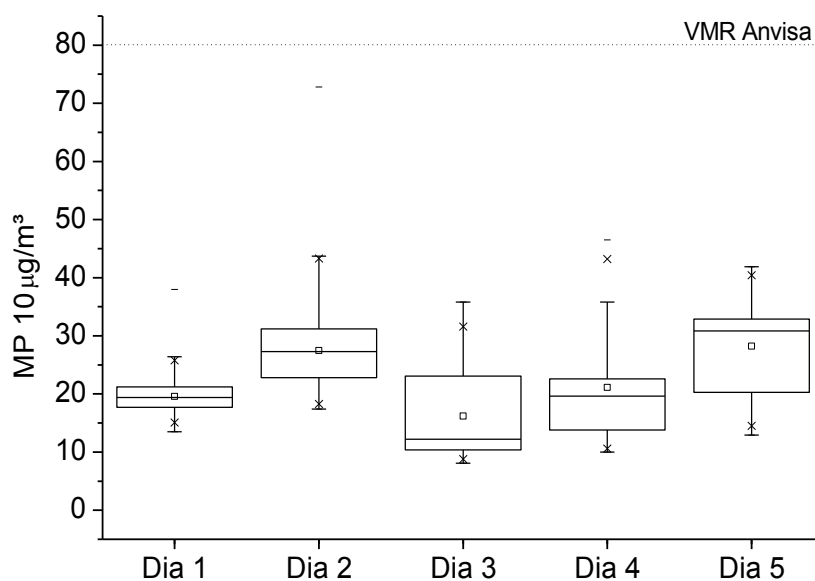


Fonte: Autor (2014).

4.3.4 Sala de aula do PGTGA – P3

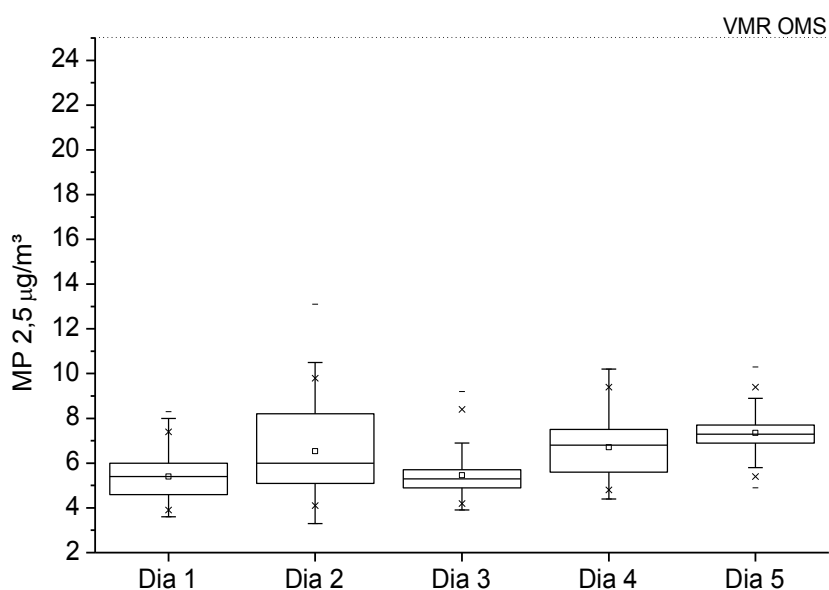
Nas ilustrações abaixo (Figuras 32 e 33) estão apresentados os intervalos dos dados obtidos na amostragem na sala de aula do Programa de Pós-graduação em tecnologia e Gestão Ambiental entre 13 e 17 de janeiro de 2014.

Figura 32 – Gráfico das concentrações de MP_{10} no episódio PGTGA.



Fonte: Autor (2014).

Figura 33 – Gráficos das concentrações de $MP_{2.5}$ no episódio PGTGA.



Fonte: Autor (2014).

As concentrações registradas na sala de aula do Mestrado em Tecnologia em Gestão Ambiental foram baixas tanto para a faixa das inaláveis (MP_{10}) bem como para as respiráveis ($MP_{2.5}$), apresentando valores agrupados majoritariamente entre 12 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para as primeiras e entre 4 e 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para as demais.

Este ambiente, embora tenha passado a maior parte do tempo com as janelas abertas durante a amostragem, apresentou bons valores de qualidade do ar quanto a material particulado, se considerado o referencial definido pela ANVISA (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Houveram duas reuniões durante a noite, uma no dia 2 e outra no dia 4, onde os participantes não ficaram expostos a concentrações maiores que de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} . Na tarde do dia 3 e na manhã do dia 4 alguns bolsistas utilizaram a sala para desenvolverem atividades relativas à pesquisas, porém, as concentrações não ultrapassaram os 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Provavelmente, a localização da sala no primeiro pavimento explique as baixas concentrações influenciadas por fontes externas. Contudo, mesmo durante o uso com as janelas fechadas e o condicionado de ar ligado, as fontes internas da sala não significaram grandes emissões de partículas.

Durante a avaliação o aumento das concentrações de material particulado durante a madrugada ocorreu. Não foi identificada nenhuma fonte interna para explicar o fato e, o fluxo de carro é quase inexistente durante a madrugada sendo incapaz de refletir na qualidade do ar quanto a MP no ambiente interior. Fromme *et al.* (2007) indicam nos resultados de suas pesquisas em Monique que cerca de 43% do $MP_{2.5}$ e 24% do MP_{10} eram de origem vegetal. Logo, devido à existência de plantas e um jardim próximo à sala, infere-se que a influência seja da atividade vegetal durante a noite.

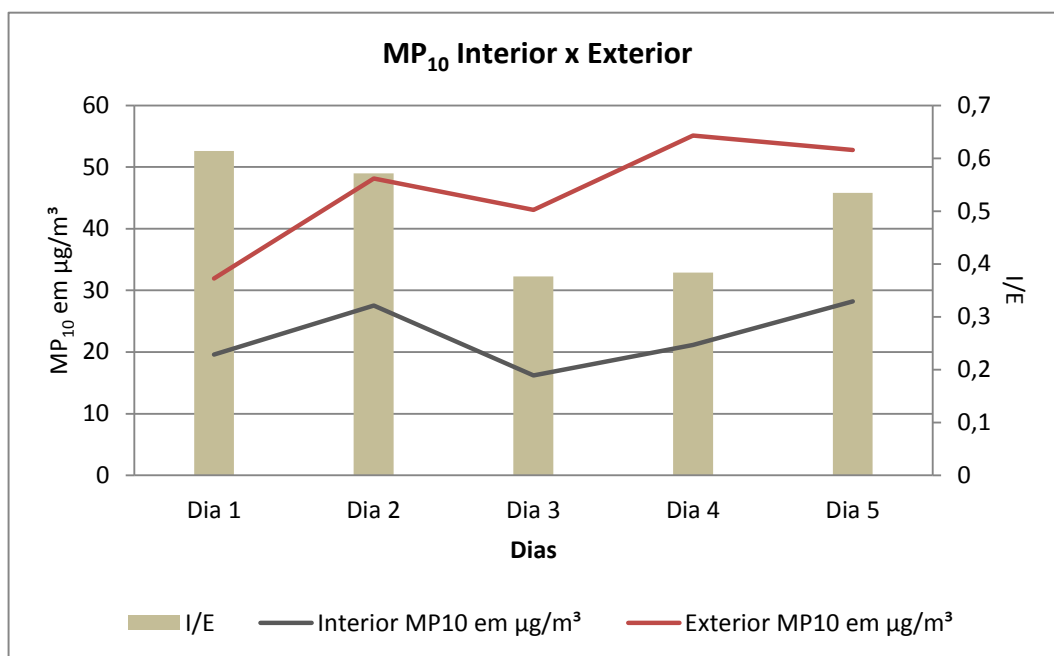
Mesmo com baixas concentrações foi perceptível que as maiores concentrações, embora menores que o VMP, estiveram na faixa entre 06 e 09 horas da manhã. Embora as baixas concentrações, percebe-se um comportamento do MP correspondente aos horários de pico do trânsito de veículos automotores na Av. Treze de Maio e adjacências. Essa percepção é confirmada quando analisado os dados das concentrações interiores com as exteriores conforme a Tabela 8, abaixo:

Tabela 8 – Concentrações exteriores e médias interiores.

Episódio PGTGA			
Dias	Interior MP ₁₀ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Exterior MP ₁₀ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$	I/E
Dia 1	19,6	31,94	0,61
Dia 2	27,5	48,15	0,57
Dia 3	16,21	43,05	0,37
Dia 4	21,14	55,09	0,38
Dia 5	28,2	52,77	0,53

Fonte: Autor (2014).

Quando colocamos os dados em gráfico pode-se observar uma proporcionalidade nos níveis de MP interiores em relação aos exteriores (Figura 34).

Figura 34 – Gráfico da relação entre MP₁₀ interior e exterior.

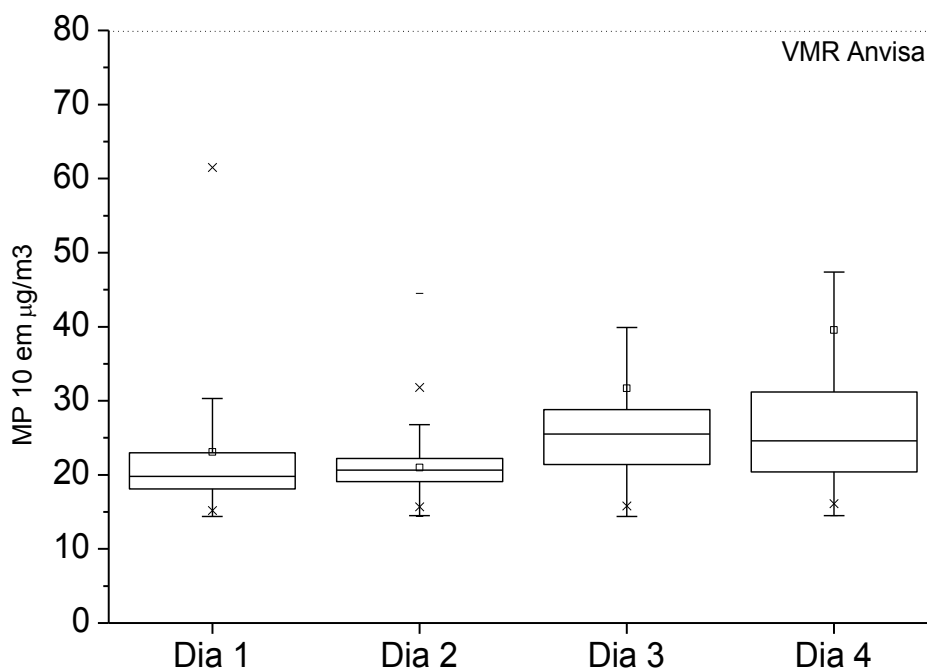
Fonte: Autor (2014).

As concentrações exteriores foram maiores que as interiores em todo o período, como observado no gráfico da Figura 39, o que mostra um bom desempenho na dispersão de material particulado no ambiente da sala de aula.

4.3.5 Laboratório de Tecnologia Química – P4

O quarto ambiente analisado foi o Laboratório de Tecnologia Química - LTQ. O ambiente é climatizado e passa o dia sem ventilação natural, sendo que a renovação do ar é limitada ao abrir e fechar das portas. Os dados obtidos na semana de amostragem para MP_{10} podem ser visualizados na Figura 35, a seguir:

Figura 35 – Gráfico dos dados registrados de MP_{10} no episódio LTQ.

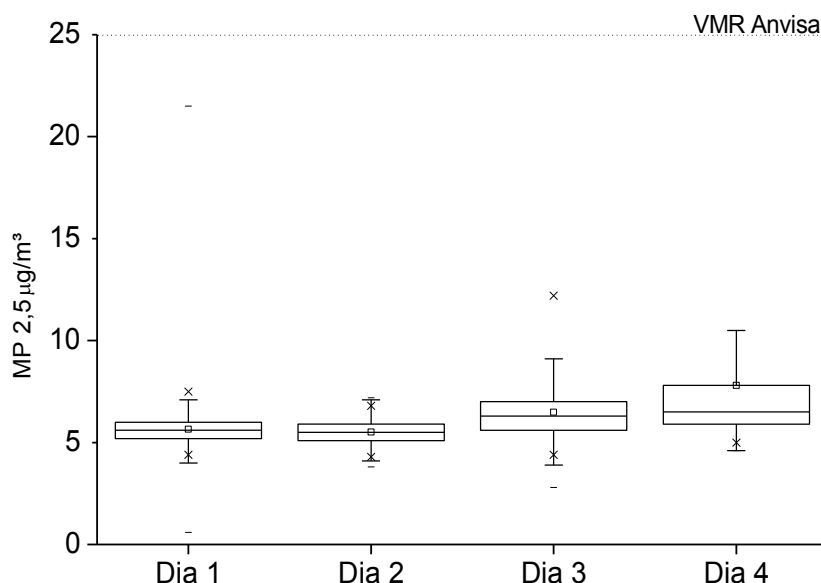


Fonte: Autor (2014).

Através do gráfico da figura acima, podemos observar que os dados referentes às concentrações de MP_{10} no LTQ se agruparam em baixas concentrações, na maioria das vezes, em menos da metade do VMR ANVISA.

Segundo as especificações definidas pela OMS para $MP_{2.5}$, essa fração do material particulado encontrado no LTQ esteve em baixas concentrações, não apresentando riscos à saúde dos ocupantes do ambiente na área estudada (Figura 36).

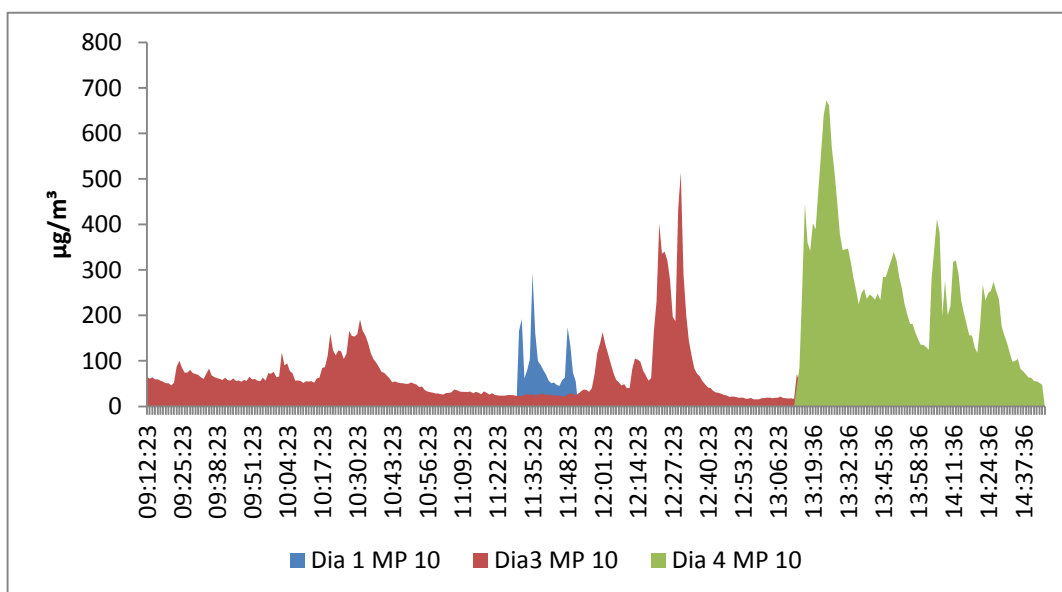
Figura 36 – Gráfico dos dados registrados de $MP_{2.5}$ no episódio LTQ.



Fonte: Autor (2014).

Nessa avaliação no P4, o destaque foi para os níveis de material particulado inalável e respirável no momento em que é realizada a limpeza do laboratório e que as pessoas que a executam ficam expostas. A limpeza no laboratório ocorreu nos dias 1, 3 e 4 (Figura 37).

Figura 37 – Gráfico das concentrações contínuas de MP_{10} durante a limpeza do LTQ.

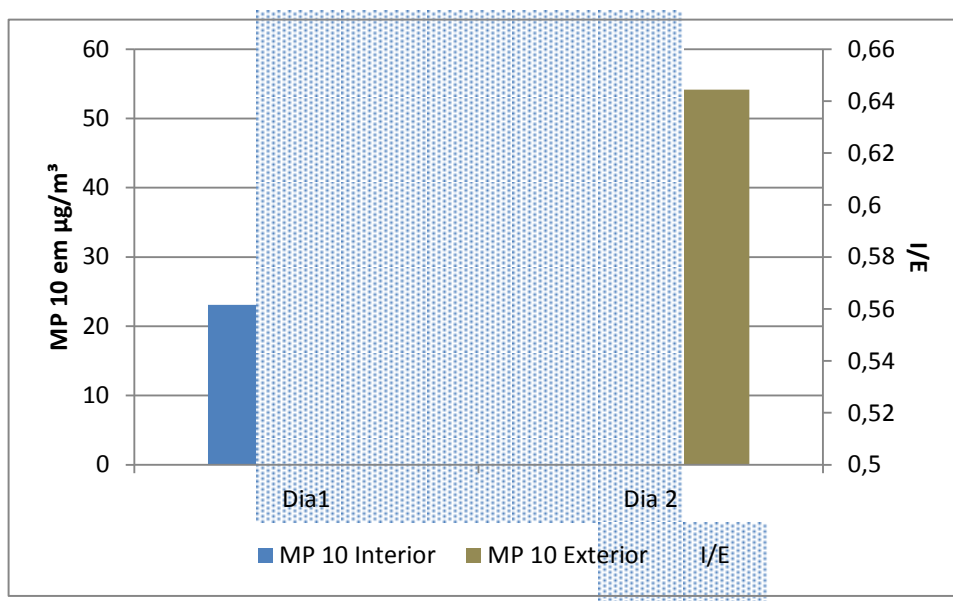


Fonte: Próprio Autor (2014).

Os funcionários e as pessoas presentes no local ficaram expostas a concentrações mais de 7 vezes maiores que as permitidas por lei durante períodos de limpeza que duraram entre 40 minutos e duas horas. Diante disso, é preocupante o nível de exposição das pessoas que executam varrições e limpeza de móveis no IFCE. Os funcionários exercem as atividades de serviços gerais em torno de 6 horas por dia em vários ambientes desde salas de aula a laboratórios e banheiros. No IFCE existe também laboratório de microbiologia, com maior potencial de agentes microbiológicos presentes nas partículas em suspensão, onde os procedimentos de limpeza ocorrem diariamente.

A relação das concentrações I/E também foi estudada. Nos dias três e quatro as amostragens realizadas no ambiente exterior não puderam ser realizadas devido a problemas na fonte de alimentação do MiniVol. Desta forma, no P4 a comparação entre o interior e o exterior só foi possível para os dias 1 e 2 (Figura 38).

Figura 38 – Gráfico da relação MP_{10} interior e exterior no LTQ



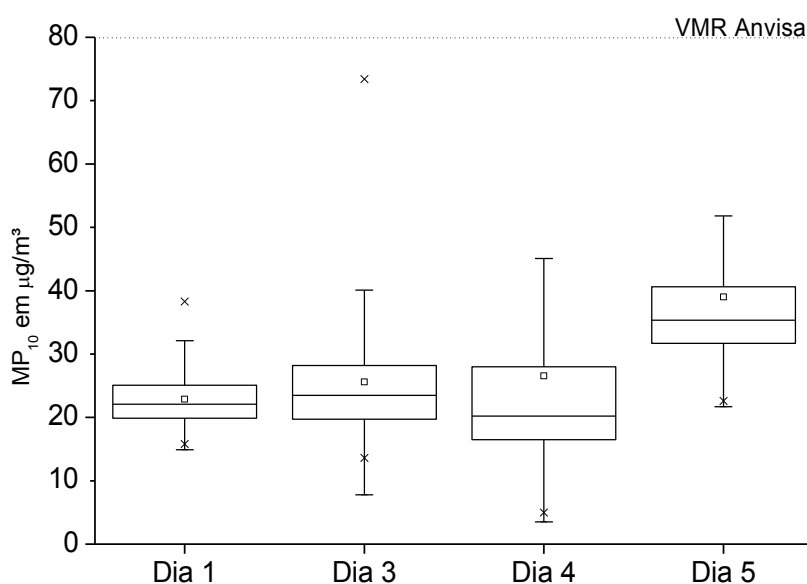
Fonte: Próprio Autor (2014).

No gráfico acima, observa-se que os níveis de particulado interiores foram menores que as exteriores, apresentando concentrações médias diárias não alarmantes. Ao contrário de muitos estudos, a qualidade do ar interior quanto a material particulado foi melhor que a do ar exterior.

4.3.6 Sala de aula do bloco central – P5

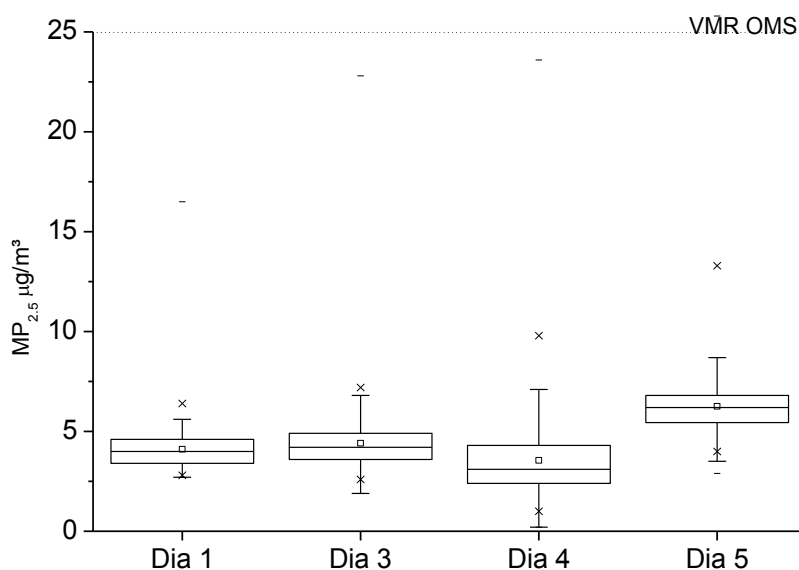
A amostragem foi realizada entre os dias 27 e 31 de janeiro de 2014, numa sala de aula do Bloco Central de ensino do IFCE. As figuras 39 e 40 apresentam os gráficos *Boxplot* dos dados obtidos de MP_{10} e $MP_{2.5}$, respectivamente:

Figura 39 – Gráfico *Boxplot* do MP_{10} na sala do Bloco Central.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Figura 40 – Gráfico *Boxplot* do $MP_{2.5}$ na sala do Bloco Central.



Fonte: Próprio Autor (2014).

Os resultados de MP_{10} e $MP_{2.5}$ indicam um bom desempenho da qualidade do ar da sala de aula. As concentrações MP_{10} ficaram bem abaixo do VMR estabelecido pela ANVISA. A maioria dos dados para $MP_{2.5}$ também estiveram abaixo do que é definido pela OMS, $25 \mu g/m^3$, contudo, algumas concentrações dessa fração de material particulado estiveram próximas a este limite. Para as duas frações, as variações ocorreram em relação à dinâmica de ocupação do ambiente.

Um dos fatores que colaboraram para as baixas concentrações de material particulado inalável e respirável foi à existência de um bom sistema de ventilação natural do cômodo (Figura 41). As aberturas permitem a boa penetração de luz, a manutenção de uma temperatura agradável e uma satisfatória renovação do ar.

Figura 41 – Fotografia das aberturas para ventilação na sala do Bloco Central.



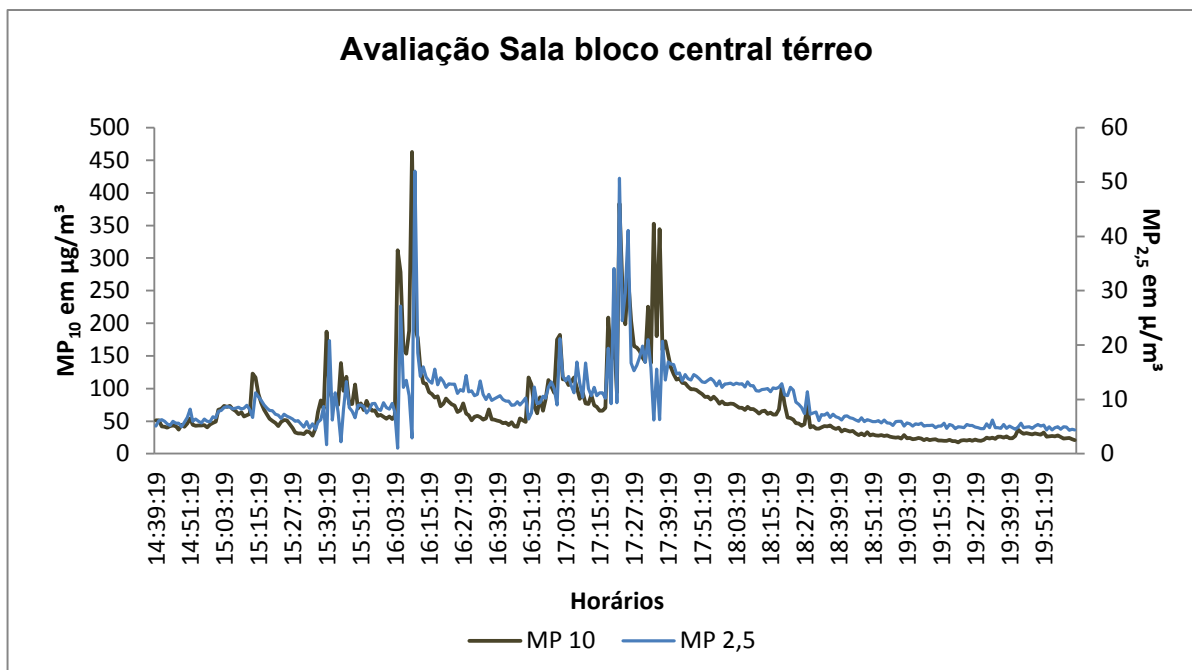
Fonte: Próprio Autor (2014).

A localização do bloco central também faz certa proteção das partículas do ambiente exterior, pois é cercado de outros blocos e árvores que interceptam poeira em suspensão, partículas sedimentáveis e partículas em suspensão no ar. Não obstante, a sala se encontra no pavimento superior, onde o fluxo de alunos é referente apenas ao acesso às salas de aula, não havendo laboratório ou acesso direto a áreas administrativas.

O fluxo de alunos no pátio que fica abaixo da sala não chega a impactar significativamente as salas do primeiro andar, como é o caso da que foi estudada nesse episódio. Com o intuito de verificar os impactos causados pela ocupação da área de convivência entre alunos nas salas que ficam no térreo, tomou-se uma sala

do pavimento térreo como amostra para estudo durante um período de aula (Figura 42).

Figura 42 – Gráfico da avaliação da sala de aula do bloco central no térreo.

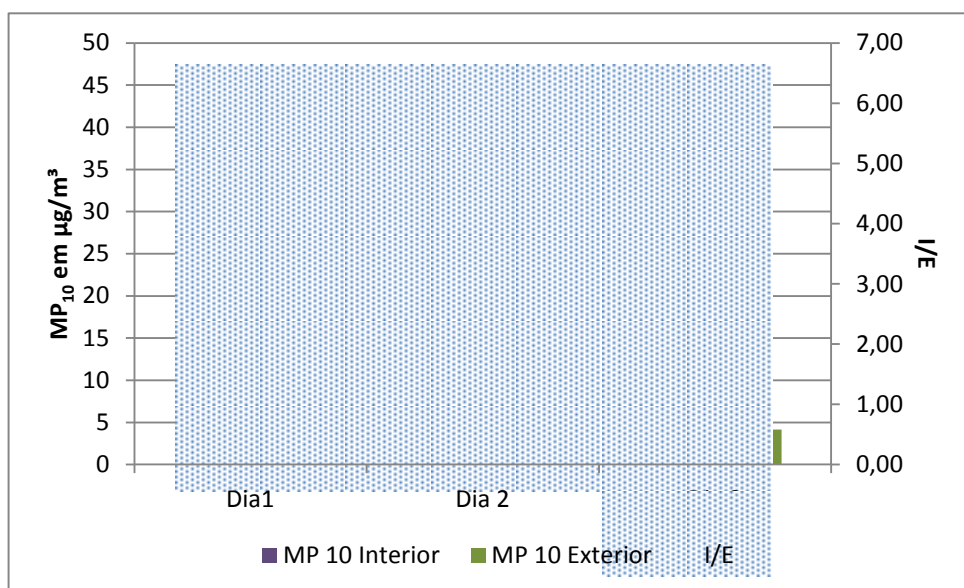


Fonte: Próprio Autor (2014).

No gráfico acima, observa-se que as concentrações foram significativamente maiores que as obtidas na sala estudada (P5). As condições de ventilação, renovação do ar e a localização no primeiro piso favorecem uma qualidade de ar melhor, enquanto que esta o ambiente desta sala do térreo apresenta valores bem elevados de material particulado, tanto na fração MP₁₀ como MP_{2,5}.

Quando observadas as relações entre I/E para o material particulado da sala 2 do bloco central, obtemos os seguintes valores (Figura 43).

Figura 43 – Gráfico da relação I/E de MP_{10} no episódio Bloco Central.



Fonte: Autor (2014).

As concentrações interiores foram menores que as exteriores, exceto no dia 3 (30 de janeiro) quando houve a maior precipitação do mês de janeiro em Fortaleza de 17 mm, pois a precipitação da água carrega as partículas da atmosfera, reduzindo as concentrações de material particulado interior.

Pode-se observar que para a sala de aula do bloco central as fontes de material particulado nas duas frações estudadas estão diretamente ligadas à ocupação do espaço, pois quando a concentração de MP exterior reduziu significativamente, as concentrações interiores não reduziram.

5 CONCLUSÕES

A realização do presente trabalho permitiu as conclusões a seguir.

O ar do ambiente exterior, durante o período de amostragem, apresentou-se dentro do padrão da legislação brasileira quanto às concentrações de MP_{10} , como o entendimento ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90 de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores também estiveram dentro do recomendado pela OMS, com exceção do dia 25 de novembro ($94 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Referente ao Índice de Qualidade do Ar (IQA_r), quanto o parâmetro da fração estudada, o ar exterior do IFCE é classificado como 'Bom'.

A sala de recepção dos alunos (P1) e a sala de recepção do bloco de artes (P2) foram os ambientes que se mostraram com os piores resultados de temperatura e material particulado. Temperaturas do ar maiores que 29°C foram recorrentes, excedendo em 1°C o valor máximo recomendável para ambientes de acesso de acordo com a RE 09/03 da ANVISA. Embora os dados não se mantivessem altos durante todo o período de amostragem diário, alguns horários, como os dos intervalos das aulas, geraram concentrações altas de particulado como $165,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP_{10} no P1.

As salas de aula, PGTGA (P3) e Sala 02 do bloco central (P5), apresentaram temperaturas pouco maiores que o máximo recomendado pela ANVISA e menores que as exteriores. As concentrações de dióxido de carbono, menores que 700ppm, mostram que os ambientes possuem uma adequada renovação do ar, propiciando boas condições para o exercício de ensino. A sala do bloco central possui uma ventilação natural combinada com ventiladores que mantêm as temperaturas e a umidade relativa do ar sob controle, sem grandes elevações. Os níveis de material particulado para esses ambientes também foram adequados, abaixo do padrão da ANVISA e até mesmo da OMS para $MP_{2.5}$. Essas salas de aula ficam no primeiro piso e são favorecidas com uma ventilação melhor e a influência do ar externo na qualidade do ar interior das salas de aula é reduzida, condicionando um melhor ambiente para o ensino.

Durante a amostragem no Laboratório de Tecnologia Química (P4), a execução de limpeza do ambiente traz a importância do uso de máscara por parte das pessoas que exercem essas atividades. Foram registradas concentrações do

MP₁₀ de até 672 µg/m³. Esses profissionais ficam expostos a concentrações muito maiores que a recomendada por lei, durante um longo período do dia, podendo agravar ou desencadear problemas respiratórios.

Na análise dos dados de material particulado interior e exterior pode-se observar a influência das concentrações encontradas no ambiente exterior nas dependências do IFCE. A influência não acarreta níveis alarmantes, contudo, o incremento de veículos na cidade e os problemas de tráfego podem tornar essa influência um grande problema para a qualidade ambiental na área da instituição.

O sistema para monitoramento e amostragem de material particulado, exterior e interior, mostra-se eficiente para estudos da qualidade do ar, confirmando a confiabilidade dos amostradores MiniVol e *MetOne Aerosol* 831. As membranas filtrantes PTFE mostraram-se com bons resultados para coleta de dados de material particulado, principalmente pela mínima interferência da umidade.

A pesquisa indicou que o ambiente interior do IFCE possui um bom desempenho ambiental quanto os parâmetros de conforto ambiental e de concentrações de material particulado nas frações inalável e respirável em todos os locais estudados. Essa qualidade do ambiente reflete diretamente na aprendizagem dos alunos. O ambiente interior da sala de aula pode afetar negativamente o desempenho acadêmico. Muitos estudos apontam a umidade interior e os poluentes microbiológicos como intensificadores de sintomas de asma, alergias e infecções respiratórias, que por sua vez se relacionam com o desempenho reduzido dos alunos. Taxas de ventilação baixas estão relacionadas com efeitos adversos a saúde das crianças e adultos. A umidade e a ventilação inadequadas são problemas cada vez mais verificados.

6 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Para continuidade dos estudos relacionados com a qualidade do ar de ambiente interiores e exteriores e colaborar com a criação e manutenção de ambientes de qualidade ambiental, sugerem-se:

- A análise das variáveis climáticas e a relação com estudo do comportamento de poluentes.
- Aplicação de questionários aos ocupantes dos espaços estudados: professores, alunos, técnicos administrativos, auxiliares, recepcionista, guardas, etc.; para conhecer a sensação de conforto com o ar e o ambiente em que estes estão inseridos diariamente.
- Estudo dos aspectos microbiológicos e químicos das partículas em suspensão. Os laboratórios do Instituto Federal do Ceará ligados às pesquisas do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental estão a desenvolver estudos para que a caracterização química e microbiológica seja possível.
- A aplicação de uma gestão ambiental adequada, observando os aspectos de conforto ambiental, para que em longo prazo os problemas não se agravem. A funcionalidade e qualidade do ar do edifício devem ser pensadas, já que devido algumas estrutura serem muito antigas, carecem de medidas corretivas para os problemas estruturais que impactam diretamente a qualidade do ar interior.
- O Brasil deve avançar na definição de novos padrões de qualidade do ar e na atualização dos padrões já existentes. Os padrões da ANVISA e do Conama se mostram desatualizados quando comparado com os estudos desenvolvidos na área de controle e monitoramento da qualidade do ar pela CETESB e pela OMS. Quando analisados os impactos ambientais e à saúde humana pelo MP_{10} e $MP_{2.5}$ observa-se a necessidade da revisão dos padrões no Brasil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **RE/ANVISA nº 09**: Avaliação da qualidade do ar interior, 2003. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com_gmg&controller=document&id=899>. Acesso em: 12 ago. 2013.

ALLEY, E.R.; STEVENS, L.B.; CLELAND, W.L.; **Air Quality Control Handbook**. ISBN 0-07-001411-6. Michigan: Mc Graw Hill, 1998. 784 p.

ALVES, C. Characterisation of solvent extractable organic constituents in atmospheric particulate matter: an overview. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 80, n. 1, p. 1-62, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 55-1992**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 1992.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 62-1999**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, 1999.

Av. Antônio Sales tem o trecho com maior fluxo de veículos de Fortaleza. **G1-Ceará**, Fortaleza, 08 Julho 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2011/07/av-antonio-sales-tem-o-trecho-com-maior-fluxo-de-veiculos-de-fortaleza.html>>. Acesso em: 27 ago. 2013.

BATISTA, C. A. T. **Poluição do ar de interiores**: uma avaliação de casos relacionados à climatização artificial. 2008. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Faculdade de Engenharia da UFFJ, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

BERNSTEIN, J.A.; ALEXIS, N.; BACCHUS, H.; BERNSTEIN, I.L.; FRITZ, P.; HORNER, E.; LI, N.; MASON, S.; OULLETTE, A.N.J.; REIJULA, K.; REPONEN, T.; SELTZER, J.; SMITH, A.; TARLO, S.M. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 121, p. 585-591, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº 3.523**, de 28 de Agosto de 1998. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html>. Acesso em: 12 ago. 2013.

BRAUER, M.; LENCAR, C.; TAMBURIC, L.; KOERHOORN, M.; DEMERS, P.; KARR, C. A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes. **Environmental Health Perspectives**, National Institute of Environmental Health Science, v. 116, n. 5, p. 680, 2008.

BRICKUS, L. S. R.; NETO, F. R. A. A qualidade do ar de interiores e a Química. **Química Nova**, v. 22 (1), p. 65 –74, 1999.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do ar interno**. Texto técnico. Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999.

CELLI, C.; MARQUES, K. A.; TEIXEIRA, D.; BACHIEGA, E.; MACHADO, A. P. G.; BRUNO, R. L.; CARVALHO, W. M.; AGUIAR, M. L.; COURRY, J. R. Concentração de material particulado suspenso na atmosfera em São Carlos-SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 1/2, p. 6–12, 2003.

COLOME, S. D.; KADO, N. Y.; JAQUES, P.; KLEINMAN, M. Indoor-outdoor air pollution relations: particulate matter less than 10 μm in aerodynamic diameter (PM₁₀) in homes of asthmatics, **Atmospheric Environment**. Part A. General Topics, Volume 26, Issue 12, p. 2173-2178, 1992, ISSN 0960-1686. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096016869290405A>>. Acesso em: 15 set. 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Padrões de Qualidade do Ar**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa%C3%A7%C3%B5es-B%C3%A1sicas/22->>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

DAINIUS, M.; SERGEY A.; GRINSHPUN, T. L.; SHAOHUA, H.; PRATIM, B.; TIINA R.; GRACE, L. Traffic-related PM 2.5 aerosol in residential houses located near major highways: indoor versus outdoor concentrations, **Atmospheric Environment**, VOLUME 42, ISSUE 27, PAGES 6575-6585, ISSN 1352-2310, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.009>>. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008005037>>. Acesso em: 20 out 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Frota nacional de veículos**, 2014. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 19 jan. 2014.

EMPRESA DE TRANSPORTE URBANO DE FORTALEZA (ETUFOR). 2013. Disponível em: <<http://www.fortaleza.ce.gov.br/etufor>>. Acesso em 26 abr 2014.

FENGER, J.; HERTAL, O.; PALMGREM, F. Urban air quality – European Aspects. **Enviromental Pollution**, v. 2, 1999. 482 p.

FISK, W.J. Estimates of potential nationwide productivity and health benefits from better indoor environments: an update. In: Spengler, John D., Samet, Jonathan M., McCarthy, John F. **Indoor Air Quality Handbook**, cap. 4. New York: Mc Graw Hill, 2000.

FISK, W.J., ROSENFELD, A.H. Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. **Indoor Air Journal**, v.7, p. 158-172, 1997.

FROMMEA, H.; DIEMER, J.; DIETRICH, B.; SCYRYS, A. J.; HEINRICH, C.D.; LANG, C. W.; KIRANOGLU, E. M.; TWARDELLA, A. D. Chemical and morphological properties of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}) in school classrooms and outdoor air. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 6597–6605, 2008.

FROMME, H.; TWARDELLA, D.; DIETRICH, S.; HEITMANN, D.; SCHIERLC, R.; LIEBLD, B.; RUDENE, H. Particulate matter in the indoor air of classrooms — exploratory results from Munich and surrounding area. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 854–866, 2007.

GEO4. **Perspectivas del Medio Ambiente Mundial**: médio ambiente para el desarrollo. GEO4, 2007.

GILLI, G.; TRAVERSI, D.; ROVERE, R.; PIGNATA, C. E SCHILIRO, T. Airborne particulate matter: Ionic species role in different Italian sites. **Environmental Research**, v. 103, p. 1-8, 2007.

GODOI, R.; AVIGO, D.; CAMPOS, V.; TAVARES, T.; MARCHI, M.; GRIEKEN, R.; GODOI, A. Indoor air quality assessment of elementary schools in Curitiba, Brazil. **Water Air Soil Poll**, n. 9, p. 171-177, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**: Fortaleza, 2012. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=ceara|fortaleza>>. Acesso em: 12 ago. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Básico Municipal 2013 Fortaleza**, 2013. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2013/Fortaleza.pdf> Acesso em: 24 abr. 2014.

JIE, Y.; ISMAIL, N.H.; JIE, X.; MD ISA, Z. Do indoor environments influence asthma and asthma-related symptoms among adults in homes: A review of the literature. **Journal of the Formosan Medical Association**, v. 110, p. 555-563, 2011.

JO, W.; SEO, Y. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. **Chemosphere**, v. 61, p. 1570-1579, 2005.

KATS, G.; ALEVANTIS, L.; BERMAN, A.; MILLS, E.; PERLMAN, J. The Costs and Financial Benefits of Green Buildings. **California Sustainable Building Task Force Report**, Sacramento, 2003.

KOTZIAS, D.; GEISS, O.; TIRENDI, S.; BARRERO-MORENO, J.; REINA, V.; GOTTI, A. Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens e the European indoor air monitoring and exposure assessment (AIRMEX) study. **Fresenius Environment Bulletin**, v.18, n. 5a, p. 670-681, 2009.

KROLL, J.H. E SEINFEL, J.H. Chemistry of secondary organic aerosol: Formation and evolution of low-volatility organics in the atmosphere. **Atmospheric Environment**, v.42, p. 3593-3624, 2008.

KUMAR, S.; FISK, W.J. The role of emerging energy efficient technology in promoting workplace productivity and health: final report. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, v. 13, p. 20-21, 2002.

LEE, S.C.; CHANG, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. **Chemosphere**, v. 41, p. 109-113, 2000.

LOHBECK, D. Design for Dust. **Test & Measurement World**, p. 47-52, 2008.

MARONI, M.; SEIFERT, B.; LINDVALL, T. Indoor Air Quality: A comprehensive reference book. **Air Quality Monographs**, v. 3, p. 1-6, p. 91-98, 1995.

MARQUES, K.; CELLI, C. E.; PASSONI, J. H.; TEIXEIRA, D.; BACHIEGA, E.; VIDAL, E. S.; CARVALHO, W. M.; AGUIAR, M. L.; COURRY, J. R.. Assessment of atmospheric particulate matter in São Carlos-SP, Brazil. **Environmental Management and Health**, MCB UP Ltd, v. 12, n. 1, p. 17–25, 2001.

MARTUZEVICIUS, D.; GRINSHUPUN, S.A.; LEE, T.; HU, S.; BISWAS P.; REPONEN, T.; MASTERS, G.L. Traffic-related PM_{2.5} Aerosol in Residential Houses Located near Major Highways: Indoor Versus Outdoor Concentrations. **Atmospheric Environment**, v.42, n. 27, p. 6575–6585, 2008.

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 Journal**, v. 15, p. 27-32, 2005.

MOUVIER, G. A. **Poluição Atmosférica**. Série Domínio, São Paulo: Ed. Ática, 1997.

MUDARRI, D.; FISK, W.J. Public health and economic impact of dampness and mold. **Indoor Air Journal**, v. 17, p. 226-235, 2007.

OLMO, N.; SALDIVA, P.; PEREIRA, L. A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. **Clinics**, v. 66, n. 4, p. 681–690, São Paulo, 2011.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Air Quality and Health**, 2014. Disponível em: < <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/> >. Acesso em: 23 abr. 2014.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Air Quality Guidelines Global Update**, 2005. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf?ua=1>. Acesso em: 12 out. 2013.

PARREIRAL, A. R. V. **Caracterização da Qualidade do Ambiente Interior num Edifício Escolar Recentemente Requalificado**. 2011. Dissertação (Mestrado em

Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente) - Departamento de Engenharia mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

PEGAS, P.N.; ALVES, C.A.; EVTYUGINA, M.; NUNES, T.; CERQUEIRA, M.; FRANCHI, M.; PIO, C.; ALMEIDA, S.M.; CABO VERDE, S.; FREITAS, M.C. Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon. **Journal of Environmental Monitoring** v. 13, p. 657-667, 2011a.

PEGAS, P.N.; NUNES, T.; ALVES, C.A.; SILVA, J.R.; VIEIRA, S.L.A.; CASEIRO, A.; PIO, C.A. Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal, **Atmospheric Environment**, v. 55, p. 80-89, ISSN 1352-2310, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.059>>. Acesso em: 12 out. 2013.

PIO, C., ALVES, C., DUARTE, A. Identification, abundance and origin of atmospheric organic particulate matter in a Portuguese rural área. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 365-1375, 2001.

POLLUTION OLIVE. **Impactors**, 2014. Disponível em: <<http://www.pollutiononline.com/doc/impactors-0001>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

QUADROS, M. E.; LISBOA, H. M. **Controle da Poluição Atmosférica**: Qualidade do Ar Interno. Cap. IX. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2010. Disponível em: <<http://www.lcqr.ufsc.br/adm/aula/Capitulo%209%20Ar%20Interno.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2013.

QUINTELA, C. M. S. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos**: Biblioteca Engenheiro Waldyr Diogo de Siqueira – IFCE. 2013. Monografia (Graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental) – Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2013.

RAASCHOU-NIELSEN, O.; HERTEL, O.; THOMSEN, B. L.; OLSEN, J.H. Air pollution from traffic at the residence of children with cancer. **American journal of epidemiology**, Oxford Univ Press, v. 153, n. 5, p. 433, 2001.

RIOS, J.L.M., BOECHAT, J.L., GIODA, A., DOS SANTOS, C.Y., DE AQUINO NETO, F.R., LAPA E SILVA, J.R. Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: associations to indoor air quality. **Environment International**, v. 35, p. 1136-1141, 2009.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 607 p.

SAMET, J.M., SPENGLER, J.D. Indoor environments and health: moving into the 21st century. **American Journal of Public Health**, v. 93, p. 1489-1493, 2003.

SCHORNOBAY, E. **Caracterização de ambientes internos da região central de são carlos/sp**: material particulado e poluição sonora. 2012. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SEPPANEN, O.; FISK, W.J.; WARGOCKI, P. Indoor environment, productivity in offices. **ASHRAE IAQ Applications**, v. 8, p 1-6, Dinamarca, 2007.

SILVA, A. I. R. **Avaliação da exposição de crianças a material particulado em suspensão**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2010.

SILVA, J. R. R. **Caracterização química e biológica de PM10 em ambiente escolar**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

SLEZAKOVA, K.; CASTRO, D.; PEREIRA, M.; MORAIS, S.; DELERUE-MATOS, C.; ALVIM-FERRAZ, M. Influence of tobacco smoke on carcinogenic PAH composition in indoor PM10 and PM2.5. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 6376 – 6382, 2009.

SMITH, K.R.; CORVALÁN, C.F.; KJELLSTRÖM, T. How much global ill health is attributable to environmental factors. **Journal of Epidemiology**, v. 10, n. 5, p. 573-584, 1999.

STERN, A.C. **Air pollution**: The effects of Air Pollution, v. 2. 3 ed. United Kingdom: Academic Press, 1977.

TRENBERTH, K. E. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>. Acesso em: 20 nov. 2013.

THURSTON, G., ITO, K. E LALL, R. A source apportionment of U.S. fine particulate matter air pollution. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 3924-3936, 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter**. 40 CFR Parts 50, 51, 52. Washington D.C, 2013. Disponível em: <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-01-15/pdf/2012-30946.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2014.

WEST BERKELEY COMMUNITY MONITORING PROJECT-BCMP. **Monitor**. 2014. Disponível em: <<http://berkeleycitizen.org/Air%20Quality/monitor.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

WICHMANN, J.; LIND, T.; NILSSON, M.A.-M.; BELLANDER, T. PM2.5, soot and NO2 indoor-outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden. **Atmospheric Environment**, v. 44, p. 4536-4544, ISSN 1352-2310, 2010.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.023>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

WILHELM, M.; RITZ, B. Residential proximity to traffic and adverse birth outcomes in Los Angeles county, California, 1994-1996. **Environmental Health Perspectives**, National Institute of Environmental Health Science, v. 111, n. 2, p. 207, 2003.

YANG, W.; SOHN, J.; KIM, J.; SON, B.; PARK, J. Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 348-354, 2009.

YASSI A, K. T.; KOK T.; KJELLSTRÖM, T.; GUIDOTTI, T.L. **Salud Ambiental Básica**, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México DF, 2002.

YU, B.F., HU, Z.B., KONG, Q.X. E LIU, Y.H. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health, **International Journal of Refrigeration**, v. 32, p. 3-20, 2009.

ZEILER, W.; BOXEM, G. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. **Building and Environment**, v. 44, p. 2308–2317, 2009.