

Avaliação da Qualidade do ar: Concentrações de Material Particulado MP_{10} e $MP_{2.5}$ no interior de uma instituição de ensino de Fortaleza (CE, Brasil)

Assessment of Air Quality: Particulate Matter Concentrations PM_{10} and $PM_{2.5}$ in an educational institution in Fortaleza (Ceará, Brazil)

Phylippe Gomes de Lima Santos*¹, Ricardo Luis Teles de Carvalho² e Adeildo Cabral da Silva³

¹Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental, PGTGA-IFCE, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Fortaleza, Brasil.

²Doutorando em Tecnologia Ambiental, Alborg University, Portugal

³Doutor, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, campus Fortaleza, Brasil.

Resumo

A poluição do ar interior pode apresentar risco à saúde humana muito maior que o ar exterior, pois cerca de 90% do tempo das pessoas é passado em ambientes interiores. Este trabalho se propõe a estudar as concentrações de material particulado em suspensão (MP_{10} e $MP_{2.5}$) no interior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, campus na cidade de Fortaleza, com o objetivo de conhecer os níveis em que alunos e funcionários estão expostos diariamente a esses poluentes. Utilizou-se o monitor de partículas Aerosol Mass 831 MetOne® para obtenção dos dados de concentração de material particulado MP_{10} e $MP_{2.5}$ em cinco ambientes do IFCE: 2 salas de recepção (P1 e P2); 2 salas de aula (P3 e P5) e 1 laboratório (P4). Analisaram-se as concentrações diárias e contínuas (a cada minuto) de material particulado. As concentrações diárias dos ambientes atenderam o padrão brasileiro da ANVISA para MP_{10} de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e internacional da OMS para $MP_{2.5}$ de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na análise em contínuo foram encontradas algumas concentrações elevadas, principalmente nos ambientes de recepção (P1 e P2). Observaram-se concentrações bastante elevadas no P4 (laboratório) durante a limpeza ($> 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Palavras-chave: Poluição interior, material particulado, saúde.

Abstract

The indoor air pollution can pose risks to the human health much larger than the air outside because about 90 % of people's time is spent indoors. This paper aims to study the concentrations of particulate matter (PM_{10} and $MP_{2.5}$) within the Federal Institute for Education, Science and Technology of Ceará (Brazil), in Fortaleza campus, aiming to meet the levels at which students and employees are exposed daily to these pollutants. We used the particle counter Aerosol Mass MeOne 831 ® to obtain the data of concentration of particulate matter PM_{10} and $MP_{2.5}$ in five environments IFCE : 2 reception rooms (P1 and P2) ; 2 classrooms (P3 and P5) and 1 lab (P4) . Were analyzed daily and continuously (every minute) concentrations of particulate material. The daily concentrations of ambient attended the Brazilian ANVISA standard for PM_{10} of $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and international WHO $PM_{2.5}$ of $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In analysis in continuous some high concentrations were found, especially in the reception rooms (P1 and P2). Were observed very high concentrations in P4 (Lab) during cleaning ($> 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Keywords: Indoor pollution, Particulate matter, health.

1 Introdução

Indicadores da qualidade do ar ambiente 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 da Qualidade do Ar Interior (QAI) e as consequências da exposição humana a poluentes atmosféricos.

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 et al. (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, de 750 milhões de habitantes em 1950 para 3,6 bilhões em 2011 (ONU, 2014).

A poluição do ar 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 geralmente 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 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, sobre o 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) estudando material particulado e elementos de conforto ambiental. 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 instituições de ensino são ainda escassos, inclusive no Estado do Ceará.

Com base nestas considerações este trabalho se propõe a estudar as concentrações de partículas em suspensão (MP10 e MP2.5) no interior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, campus na cidade de Fortaleza, com o objetivo de conhecer os níveis em que alunos e funcionários estão expostos diariamente a esses poluentes.

2 Material particulado

- Partículas Inaláveis – MP10

As partículas cujo diâmetro aerodinâmico equivalente é menor do que 10 μm (MP10) 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 (MP10) 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 sulfato, nitrato, amônio, aerossol carbonáceo, sal marinho, 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 MP10, por sua vez, é muito importante, pois parte do que é inalado pode ser irreversivelmente depositado nas vias respiratórias.

Segundo Rocha et al. (2009), as fontes emissoras de material particulado inalável são, principalmente, os processos de combustão, industriais e de veículos, poeira suspensa do solo, spray marinho, construção civil, incluindo obras, e ainda a flora, com a emissão de pólen.

O padrão brasileiro para exposição às partículas inaláveis (MP10) é definido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), estabelecendo o valor máximo recomendável de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ANVISA, 2003). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005) recomenda valores de até 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas inaláveis em 24 horas.

- Partículas respiráveis ou material particulado fino – MP2.5

A composição do MP2.5 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). As fontes de emissão compreendem os processos industriais, fuligem de carros, queima de biomassa e compostos biogênicos (ROCHA et al., 2009).

De acordo com Silva (2010) as partículas mais finas

(MP2.5) 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).

A legislação brasileira não define valores limites de exposição à partículas respiráveis. Para o presente trabalho, utilizou-se a referência da OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 horas de exposição).

3 Metodologia

- Local de estudo

A cidade de Fortaleza é a capital do Estado do Ceará, com mais de 2,5 milhões de habitantes em 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 foi de 1330 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).

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) é localizado no bairro do Benfica, próximo ao centro da cidade. A latitude local é $03^\circ43.566'S$ e a longitude de $038^\circ32.371'O$. Está inserido em uma região de trânsito intenso de veículos, em uma área cercada de quatro vias de tráfego: Avenida 13 de Maio, Avenida dos Expedicionários e ruas Paulino Rocha e Marechal Deodoro. De acordo com levantamentos da Autarquia Municipal de Trânsito (2011) o fluxo de veículos na Avenida Treze de Maio, principal acesso ao IFCE, foi de mais e 40 mil veículos por dia. 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.

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 na primeira o aluno estuda apenas um período na instituição e na 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

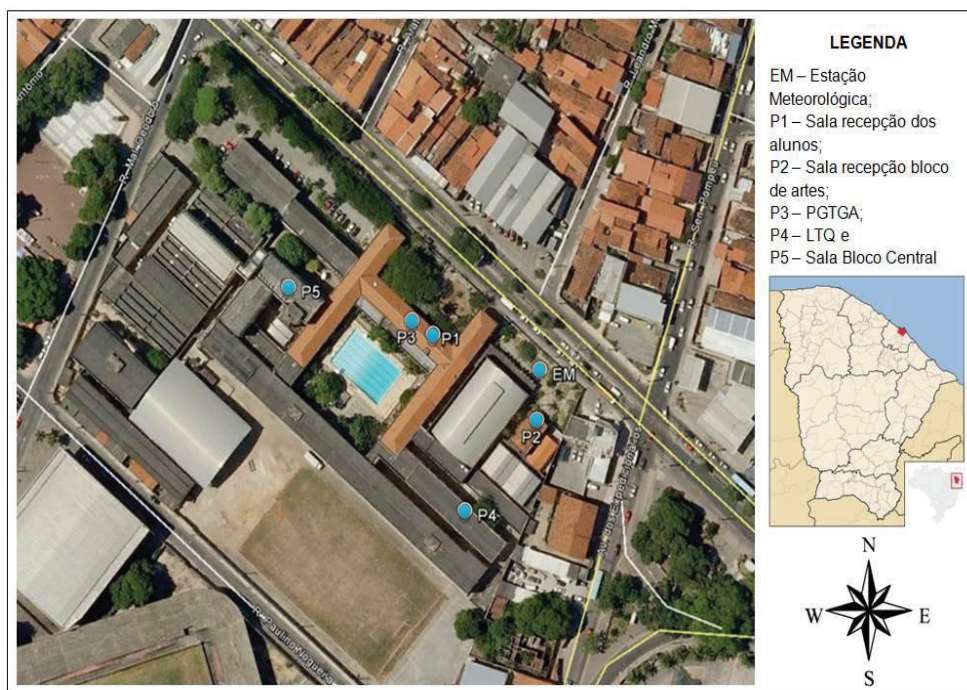


Figura 1 – Mapa da localização do IFCE e disposição dos pontos de amostragem. Fonte: Google Earth, 2014. Alterado pelo autor.

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 é apresentada na ilustração a seguir (Figura 1).

- Pontos de Amostragem

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. Para isso, selecionaram-se os pontos: 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 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. Nestes locais é possível conhecer os níveis de poluentes na entrada da instituição. 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 et al. (2007), com os equipamentos colocados a uma altura de 90 cm do solo e oposto ao quadro negro.

- Coleta e análise dos dados

As amostragens foram realizadas de outubro de 2013 a janeiro de 2014. As coletas de dados nas duas salas de recepção, P1 e P2, foram semanais (duas vezes por semana em cada ponto), e os registros aconteceram entre outubro e dezembro, para monitoramento desses compartimentos. As amostragens nos demais pontos foram realizadas durante uma semana nos dias úteis (segunda a sexta).

Foram coletados dados diários de concentração para as duas frações em estudo: 8 horas por dia para P1, P2 e P5; 24 horas para o P3 e P4. Além da concentração diária foram registradas concentrações no modo contínuo, coletando dados a cada 1 minuto.

As concentrações de material particulado interior foram obtidas através do monitor portátil de partículas 831 Aerosol Mass da marca MetOne®, que obtém dados da concentração de partículas para quatro dos principais diâmetros equivalentes ($d < 10 \mu\text{m}$, $d < 4 \mu\text{m}$, $d < 2,5 \mu\text{m}$ e $d < 1 \mu\text{m}$) a cada 1 minuto.



Figura 2 – Foto do contador de partículas 831 Aerosol Mass MetOne®. 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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Fundamentalmente, o contador 831 calcula o volume de cada partícula detectada então atribui uma densidade padrão para a conversão. 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 foram baixados com o auxílio do software Comet® que acompanha o produto. O suporte para essa passagem é 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. O software OriginPro 8 também foi utilizado para confeccionar gráficos com os dados diários.

3 Resultados

As de concentrações de material particulado (MP10 e MP2.5) obtidas nos ambientes interiores durante as etapas do estudo estão apresentadas na tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Concentrações médias de material particulado obtidas nos ambientes amostrados e respectivos desvios padrões (d.p.).

Ponto	Data	MP ₁₀	MP _{2.5}	d.p. MP ₁₀	d.p. MP _{2.5}
P1 (8 h)	08/10/2013	40,71	5,79	11,52	0,99
	16/10/2013	64,22	10,65	21,61	1,86
	21/10/2013	54,66	8,3	24,77	2,52
	24/10/2013	52,82	8,02	12,79	1,69
	07/11/2013	33,95	5,6	10,14	1,6
	12/11/2013	42,45	7,51	9,06	1,02
	19/11/2013	36,2	5,03	12,18	2,07
	26/11/2013	43,28	8,1	8,3	2,83
	28/11/2013	36,57	5,49	9,69	1,18
	03/12/2013	30,34	4,8	7,51	0,77
	05/12/2013	33,35	5,84	7,53	1,01
	10/12/2013	32,57	5,11	9,5	1,28
12/12/2013	30,21	4,67	6,15	0,76	
P2 (8 h)	08/11/2013	28,8	5,66	16,39	1,2
	11/11/2013	35,95	7,65	5,89	1,01
	18/11/2013	32,16	6,82	9,98	1,49
	22/11/2013	24,71	4,9	7,05	0,87
	25/11/2013	29,84	6,01	9,88	1,09
	29/11/2013	35,1	6,94	7,88	0,86
	02/12/2013	22,86	4,65	6,6	0,67
	06/12/2013	25,38	5,28	4,24	0,54
	09/12/2013	26,28	4,86	6,28	0,93
	13/12/2013	25,72	5,12	4,77	0,49
P3 (24 h)	13/01/2014	19,59	5,4	2,64	0,89
	14/01/2014	27,47	6,53	6,01	1,68
	15/01/2014	16,22	5,47	7,17	0,88
	16/01/2014	21,14	6,71	8,75	1,15
	17/01/2014	28,21	7,35	7,13	0,8
P4 (24 h)	16/12/2013	23,08	5,65	13,62	0,86
	17/12/2013	21,01	5,51	3,07	0,56
	18/12/2013	31,69	6,49	30,16	1,7
	19/12/2013	39,58	7,81	64,86	4,77
P5 (8 h)	27/01/2014	22,9	4,1	5,74	0,98
	29/01/2014	25,61	4,41	11,83	1,31
	30/01/2014	26,54	3,55	21,55	1,98
	31/01/2014	39,03	6,26	15,89	1,72

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 de ensino.

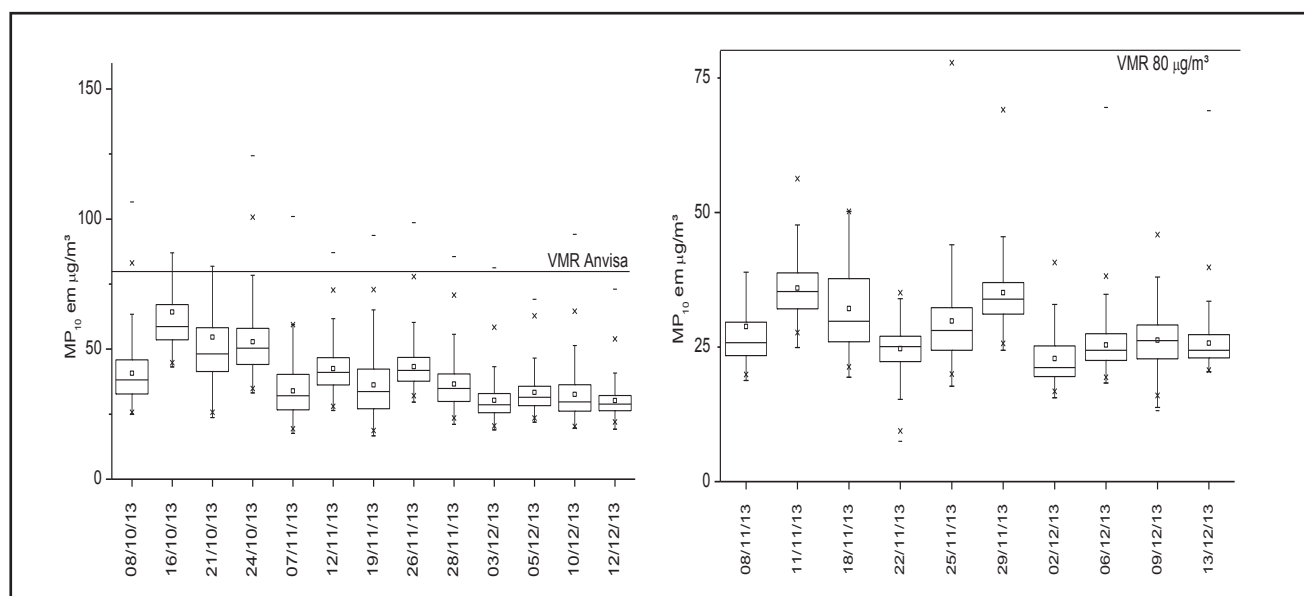


Figura 3 – Distribuição estatística das concentrações horárias do MP10 no P1 (à esquerda) e P2 (à direita). Sendo que a caixa contém a metade dos dados, o limite superior indica o percentil de 75% e o limite inferior o percentil de 25%; a linha no meio indica o valor da mediana; os extremos indicam os valores mínimo e máximo, e os pontos fora do gráfico são outliers.

Se considerado o padrão definido pela OMS, de 50 µg/m³ de MP10 para exposição de 24 horas, os ambientes do P3 (PGTGA) e do P4 (LTQ), os quais o período de amostragem compreendeu 24 horas, atenderam o valor estabelecido.

O ambiente que apresentou os maiores valores para MP10 e MP2.5 foi o P1, ambiente de acesso do IFCE. Este ambiente registrou valores médios de 40,87 µg/m³ e 6.52 para essas respectivas frações. Apesar do período de amostragem nesse ponto não ser a referência de exposição da OMS, de 24 horas para material particulado. Durante as 8 horas de coletas de dados, alguns dias apresentaram concentrações maiores 50 µg/m³ de MP10, como os dias: 16 out 2013 (64,22 µg/m³); 21 de out 2013 (54,66 µg/m³); 24 out 2013 (52,82 µg/m³).

Os resultados de MP2.5 diários, ou seja, menores que 2,5 µm, não foram preocupantes. A ANVISA não define valores limites para exposição a essa fração de partículas em ambientes interiores, por isso, adotou-se o valor da OMS de 25 µg/m³ para 24 horas. Nenhum dos pontos amostrados apresentou concentrações diárias (8 horas ou 24 horas de exposição) que ultrapassassem o valor padrão da OMS.

A sala de recepção dos alunos também registrou os valores diários mais elevados para MP2.5 que os outros pontos. Este ambiente, em 8 horas de amostragem, acumulou 10,65 µg/m³ em 16 de outubro de 2013, o maior valor diário obtido na série de amostragem.

A amostragem em contínuo, com dados coletados a cada minuto, confirmam a pior qualidade do ar do P1, quanto a particulado. A Figura 3 (à esquerda) é um gráfico boxplot, onde é apresentado o intervalo dos dados registrados em contínuo em todos os dias de amostragem.

Observa-se que em praticamente todos os dias, dados acima do VMR da ANVISA foram registrados em algum momento do dia.

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 (07:30h), intervalo (09:30h) 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 (Figura 4). Não há impacto da varrição nas

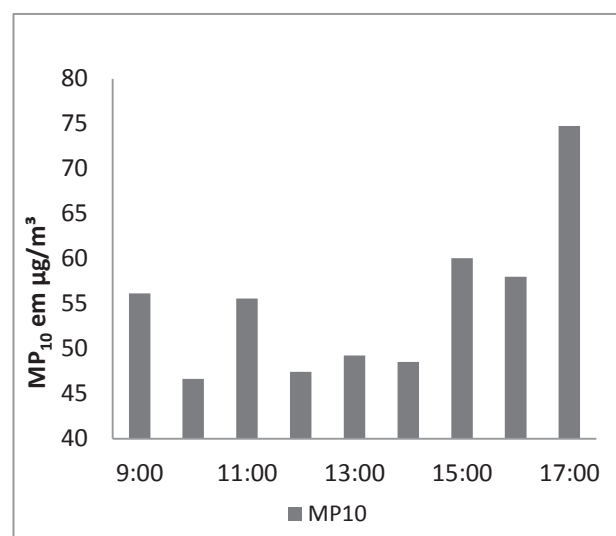


Figura 4 – Variabilidade das concentrações médias horárias ao longo do dia 24 de outubro de 2013 no P1.

concentrações, pois o ambiente é varrido uma única vez durante o dia em torno das 06:30h da manhã. A amostragem de 24 de outubro é uma representação típica do que ocorre no P1 (Figura 4).

Neste dia, 24 de outubro, registraram-se sete eventos maiores que 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pode-se verificar também um agrupamento de maiores concentrações no período após

as 14 horas até às 17 horas, 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 sequência de dados representou uma média que ultrapassasse as normas estabelecidas pelos valores guia, ou seja, com todos os dados elevados.

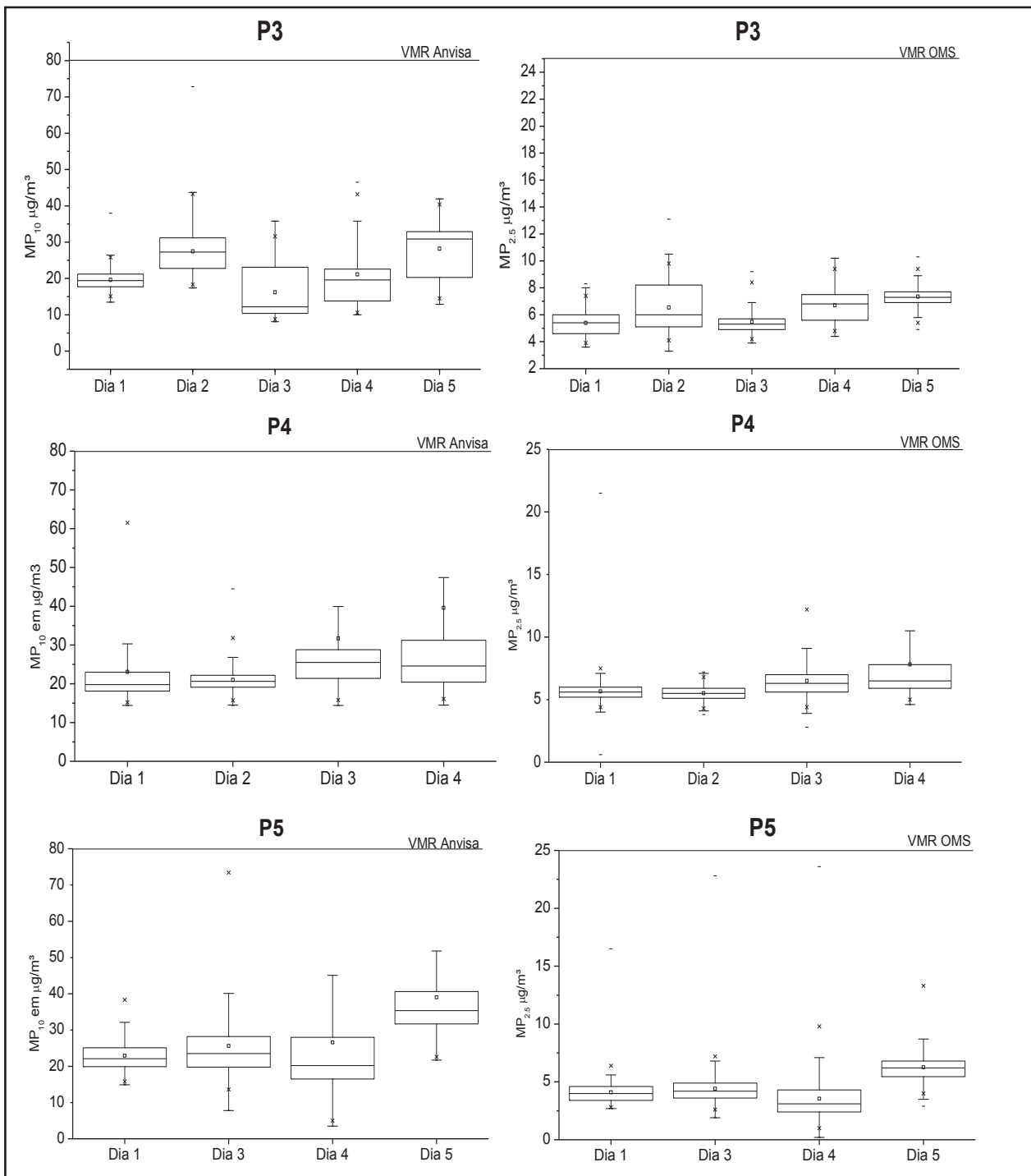


Figura 5 – Distribuição estatística das concentrações de MP10 e MP2.5 nos pontos P3, P4 e P5. Sendo que a caixa contém a metade dos dados, o limite superior indica o percentil de 75% e o limite inferior o percentil de 25%; a linha no meio indica o valor da mediana; os extremos indicam os valores mínimo e máximo, e os pontos fora do gráfico são outliers.

As concentrações registradas na sala de aula do Mes-trado em Tecnologia em Gestão Ambiental (P3) apresentaram valores agrupados majoritariamente entre 12 e 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a faixa das inaláveis (MP10) e entre 4 e 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para as para as respiráveis (MP2.5) (Figura 5 – P3).

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). No período de amostragem houve 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 MP10. Na tarde do dia 3 e na manhã do dia 4 alguns bolsistas utilizaram a sala para desenvolverem atividades relativas a 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, por reduzir a influência de fontes externas, como a avenida. Não obstante, mesmo durante o uso com as janelas fechadas e o condicionado de ar ligado, as fontes internas da sala, por exemplo, a presença de alunos e funcionários, não representaram grandes emissões de partículas.

Durante a avaliação no P3 observou-se o aumento das concentrações de material particulado durante a madrugada. 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) mostraram que em Monique que cerca de 43% do MP2.5 e 24% do MP10 eram de origem biogênia. Logo, devido à existência de plantas e um jardim próximo à sala, infere-se que a influência seja da atividade vegetal durante a noite.

Através da Figura 5 (P4) pode-se observar que os dados referentes às concentrações de MP10 no LTQ se agruparam em baixas concentrações, na maioria das vezes, em menos da metade do VMR ANVISA. Na análise dos dados em contínuo percebe-se que as concentrações se elevam nos períodos de intervalo (09:30h; 12:00h; 15:30h), quando os bolsistas saem para lanchar.

Isso pode acontecer pelo revolvimento das partículas depositadas no chão e devido a maior ocorrência de abertura de portas.

Segundo as especificações definidas pela OMS para MP2.5, essa fração do material particulado encontrado no LTQ esteve em baixas concentrações, não apresentando riscos à saúde dos ocupantes do ambiente na área estudada.

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 (Figura 6). A limpeza no laboratório ocorreu nos dias 1 (meio-dia), 3 (meio-dia) e 4 (à tarde), no mês de dezembro. Isso explica o alto desvio padrão calculado para MP10 e MP2.5 nesse ambiente nesses dias (Tabela 1).

Os funcionários e as pessoas presentes no local ficaram expostos a concentrações até 8 vezes maiores que as permitidas por lei, atingindo até 672 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 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.

Na avaliação da sala de aula no bloco central (P5), os resultados de MP10 e MP2.5, menores que 10 μm e 2.5 μm , respectivamente, indicam um bom desempenho da qualidade do ar da sala de aula. As concentrações MP10 ficaram bem abaixo do VMR estabelecido pela ANVISA (Figura 5 – P5). A maioria dos dados para MP2.5 também estiveram abaixo do que é definido pela OMS, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, contudo, algumas concentrações dessa fração de material particulado estiveram próximas a este limite (22,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Para as duas frações, as variações ocorreram em relação à dinâmica de ocupação do ambiente: entrada e saída dos alunos.

Um dos fatores que colaboraram para as baixas con-

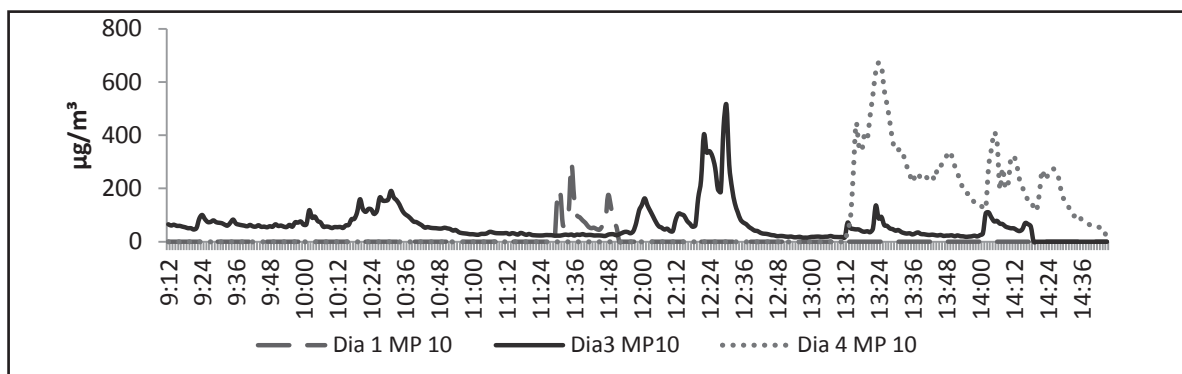


Figura 6 – Variabilidade das concentrações de MP10 em horários de limpeza do LTQ nas amostragens nos dias 1, 3 e 4.



Figura 7 – Fotos da sala no Bloco Central (P5) mostrando as aberturas para ventilação.

centrações de material particulado inalável e respirável foi a existência de um bom sistema de ventilação natural do cômodo (Figura 7). As aberturas permitem a boa penetração de luz, a manutenção de uma temperatura agradável e uma satisfatória renovação do ar. Além disso, a localização do bloco central também faz certa proteção das partículas do ambiente exterior, observando que as concentrações médias diárias do ambiente exterior foram em torno de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O local 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.

4 Conclusões

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 material particulado (diário e contínuo). 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 MP10 no P1.

Os níveis de material particulado para os ambientes das salas de aula, PGTGA (P3) e Sala 02 do bloco central (P5), também foram adequados, abaixo do padrão da ANVISA e até mesmo da OMS para MP2.5. 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 $672 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esses profissionais ficam expostos às concentrações muito maiores que a recomendada por lei, durante um longo período do dia,

podendo agravar ou desencadear problemas respiratórios.

A pesquisa indicou que o ambiente interior do IFCE possui bom desempenho ambiental quanto às concentrações de material particulado nas frações inalável e respirável em todos os locais estudados. Essa qualidade do ambiente reflete diretamente na aprendizagem dos alunos, pois 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.

É importante salientar a necessidade da revisão dos padrões de material particulado estabelecidos pela legislação brasileira, que são defasados se comparados com os padrões recomendados pela OMS, além de no Brasil não apresentar valores de padrão de qualidade do ar para partículas respiráveis (MP2.5). Também é importante que a legislação brasileira acrescente outros poluentes que afetam saúde de ocupantes de ambientes interiores, aprimorando a avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) no Brasil. Para isso, é necessário o desenvolvimento de novas pesquisas sobre a QAI, ampliando o conhecimento quanto a composição química do material particulado.

Agradecimentos

A CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro.

Ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental – PGTGA pelo apoio.

Ao Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental – LERCA e o Laboratório de Tecnologia Química – LTQ pela estrutura.

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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. *Environmental Pollution*, v. 2, 1999. 482 p.
- FROMME, H.; DIEMER, J.; DIETRICH, B.; SCYRYS, A. J.; HEINRICH, C.D.; LANG, C, W.; KIRANOGLU, E, M.; TWARDDELLA, A. D. Chemical and morphological properties of particulate matter (PM10, PM2.5) in school classrooms and outdoor air. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 6597–6605, 2008.
- FROMME, H.; TWARDDELLA, 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.
- 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.
- JO, W.; SEO, Y. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere*, v. 61, p. 1570-1579, 2005.
- KOTZIAS, D.; GEISS, O.; TIRENDI, S.; BARREROMORENO, 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.
- LEE, S.C.; CHANG, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. *Chemosphere*, v. 41, p. 109-113, 2000.
- MARTUZEVICIUS, D.; GRINSHPUN, S.A.; LEE, T.; HU, S.; BISWAS P.; REPONEN, T.; MASTERS, G.L. Traffic-related PM2.5 Aerosol in Residential Houses Located near Major Highways: Indoor Versus Outdoor Concentrations. *Atmospheric Environment*, v.42, n. 27, p. 6575–6585, 2008.
- 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 DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Cidades, 2014. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/cidades.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2014.

- 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.
- 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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012003007>>. Acesso em: 12 out. 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.
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução à Química Ambiental. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 607 p.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231010006977>>. 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.
- 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.