



## ESTUDO DA RELAÇÃO INTERIOR/EXTERIOR DO MATERIAL PARTICULADO MP<sub>10</sub>: ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM FORTALEZA

PHYLIPPE GOMES DE LIMA SANTOS<sup>1</sup>  
RICARDO LUÍS TELES DE CARVALHO<sup>2</sup>  
ADEILDO CABRAL DA SILVA<sup>3</sup>

**Resumo:** A poluição do ar interior pode apresentar riscos à saúde humana muito maiores 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 partículas em suspensão (MP<sub>10</sub>) no interior e exterior 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. Utilizaram-se os amostradores de material particulado Aerosol Mass 831 (MP<sub>10</sub> - interior) e o MiniVol Tas (MP<sub>10</sub> - exterior) em cinco ambientes do IFCE: 2 salas de recepção (P1 e P2); 2 salas de aula (P3 e P5) e 1 laboratório (P4). Os resultados demonstram a influência das concentrações exteriores no interior do IFCE, nos ambientes de recepção, salas de aula e laboratório.

**Palavras-chave:** material particulado, saúde humana, ambiente interior, ambiente exterior.

**Abstract:** The indoor air pollution can pose risks to 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<sub>10</sub>) inside and outside the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará in Fortaleza campus, aiming to meet the levels at which students and staff are daily exposed to these pollutants. Were used the particulate matter samplers 831 Mass Aerosol (PM<sub>10</sub> - indoor) and MiniVol Tas (PM<sub>10</sub> - Outdoor) in five rooms of IFCE: 2 reception rooms (P1 and P2); 2 classrooms (P3 and P5) and 1 lab (P4). The results demonstrate the influence of external concentrations inside the IFCE in reception rooms, classrooms and lab.

**Keywords:** particulate matter, human health, indoor, outdoor.

### 1 – Introdução

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).

A poluição do ar interior pode apresentar riscos para a saúde humana muito maiores que a poluição exterior (OMS, 2014). Muitos trabalhos têm sido publicados em periódicos

<sup>1</sup> Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental, IFCE. phyllippesantos@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutorando em Tecnologia do Ambiente, *Alborg University*.

<sup>3</sup> Professor doutor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, IFCE/PGTGA. adeildocabral@ifce.edu.br.



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; PEGAS *et al.*, 2011; YANG *et al.*, 2009), fortalecendo a necessidade de explorar esse ramo dos estudos sobre o ar.

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 materiais particulados 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 de diâmetro equivalente inferior a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) no 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 poluente.

### 1.1 – Material particulado inalável ( $\text{MP}_{10}$ )

As partículas cujo diâmetro aerodinâmico equivalente é menor do que 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) são consideradas como fração torácica, que alcançam os pulmões, 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 ( $\text{MP}_{10}$ ) é 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). Enquanto se discute a faixa de tamanho de partícula que consegue atingir as diferentes partes do aparelho respiratório, a medida de  $\text{MP}_{10}$ , por sua vez, é muito importante, pois parte do que é inalado pode ser irreversivelmente depositado nas vias respiratórias.



Segundo Rocha (2009), as fontes emissoras de material particulado inalável são principalmente os processos de combustão, industriais e de veículos, poeira suspensa do solo, sprays marinhos, construções civis (incluindo obras), e ainda os vegetais, diretamente com a emissão de pólen.

O padrão brasileiro para exposição às partículas inaláveis (MP10) em ambientes interiores com climatização artificial 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. Para o ambiente exterior, os padrões são estabelecidos pela Resolução CONAMA 003, de 28 de junho de 1990.

## 2 – Metodologia

### 2.1 – Local de estudo

A cidade de Fortaleza é a capital do Estado do Ceará, com mais 2.500.000,00 habitantes em 100% de área urbana (IBGE, 2012). A dinâmica da cidade é inteiramente urbana. O clima da cidade é o tropical quente sub-úmido, com temperaturas médias anuais de 26° a 28°C. A pluviosidade anual foi de 1330,0 mm em 2012. 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°43.566'S e a longitude de 038°32.371'O. Está inserido em uma região de trânsito intenso de veículos, em uma área cercada de quatro importantes vias de tráfego da cidade, duas delas as Avenidas 13 de Maio e Expedicionários. O fluxo diário de veículos na Avenida Treze de Maio, principal acesso ao IFCE, é de 41.939 veículos (G1, 2011). Aproximadamente 21 linhas de ônibus diurnas e 4 linhas noturnas, 3 linhas de transporte alternativo municipais e 5 intermunicipais passam pela região (ETUFOR, 2013).

Nesse ambiente do IFCE – Campus Fortaleza os pontos para coleta dos dados foram selecionados, conforme é apresentada na ilustração a seguir (Figura 01).

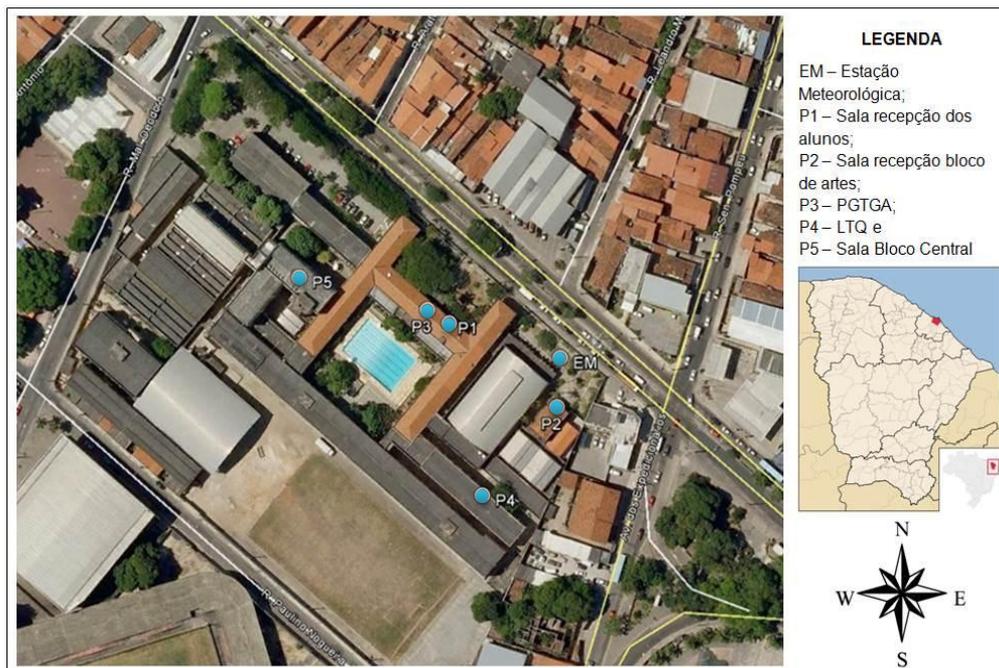


Figura 01 – Mapa da localização do IFCE e disposição dos pontos de amostragem.  
Fonte: Google Earth, 2014. Alterado pelo autor.

## 2.2 – Pontos de Amostragem

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. 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.

Nos pontos P1, P2 e P4 (salas de recepção e laboratório) os equipamentos foram instalados à altura de 1,5 m do solo, próximo da altura média da região de inalação do ser humano. Nos pontos P3 e P5 (salas de aula) 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.

## 2.3 – 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, e os registros



aconteceram entre outubro e dezembro, para monitoramento desses compartimentos. As amostragens seguintes foram realizadas durante uma semana, nos dias úteis (segunda a sexta). Foram coletados dados diários de concentração para a fração 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 contador portátil de partículas 831 Aerosol Mass da marca MetOne®. 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 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.



Figura 02 – Foto do contador de partículas 831 Aerosol Mass MetOne®.

Fonte: Autor (2014)

O material particulado exterior foi coletado com o equipamento MiniVol TAS Airmetrics (Figura 03). Para esta pesquisa o impactador foi configurado para selecionar partículas na fração  $\text{MP}_{10}$  (inaláveis) e o sistema de sucção regulado para operar a 5 l/min.



Figura 01 – Fotografia do MiniVol TAS.

Fonte: Autor (2014).

### 3 – Resultados

Os dados obtidos em todos ambientes amostrados estão organizados na tabela a seguir:



Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Índice I/E
Sala de Recepção Alunos (8 horas)	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	1,82
	19/11/2013	36,2	18,06	2
	26/11/2013	43,3	18,06	2,4
	28/11/2013	36,6	33,33	1,1
	03/12/2013	30,35	33,33	0,91
	05/12/2013	33,35	38,89	0,86
	10/12/2013	32,6	25	1,3
12/12/2013	30,21	34,72	0,87	
Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Relação I/E
Sala de Recepção no Bloco das Artes (8 horas)	08/11/2013	28,8	22,22	1,3
	11/11/2013	36	31,94	1,13
	18/11/2013	32,2	20,83	1,55
	25/11/2013	29,8	94,44	0,32
	29/11/2013	35,1	47,22	0,74
	02/12/2013	22,8	30,56	0,75
	06/12/2013	25,4	19,44	1,31
	09/12/2013	26,3	29,17	0,9
	13/12/2013	25,7	24,44	1,05
Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Relação I/E
PGTGA (24 horas)	14/01/2014	19,6	31,94	0,61
	15/01/2014	27,5	48,15	0,57
	16/01/2014	16,21	43,05	0,37
	17/01/2014	21,14	55,09	0,38
	18/01/2014	28,2	52,77	0,53
Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Relação I/E
LTQ (24 horas)	16/12/2013	23,08	41,6	0,55
	18/12/2013	35,3	54,16	0,65
Ponto de Coleta	Data	Interno	Externo	Relação I/E
Sala de aula (8 horas)	27/01/2014	22,9	23,61	0,97
	29/01/2014	25,6	47,22	0,54
	30/01/2014	26,5	4,17	6,35

Tabela 1 – Dados de concentração obtidos nos ambientes estudados.



As concentrações de material particulado inalável obtidas na recepção dos alunos (P1) estão apresentadas no gráfico abaixo (Figura 04):

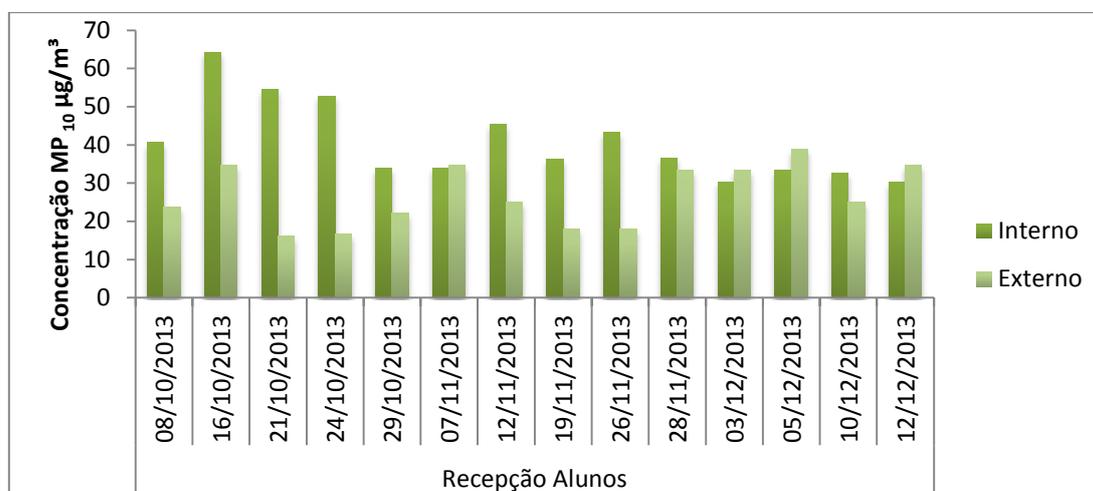


Figura 042 – Gráfico das concentrações  $MP_{10}$  no ambiente exterior e interior no P1

Fonte: Autor (2014).

Nesse ponto, as concentrações exteriores foram, na maioria das vezes, próximas ou menores que  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  enquanto as concentrações interiores foram superiores a esse valor, principalmente no período entre outubro e novembro. Em dezembro, quando das férias (recesso) no IFCE, se reduz significativamente o fluxo de alunos neste ambiente, as concentrações interiores registradas foram ao todo próximas ao valor de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As concentrações interiores são 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. Essas fontes explicam as concentrações interiores elevadas nos período entre outubro e novembro, devido às atividades escolares e acadêmicas diárias. Porém, no período de dezembro as concentrações sofreram menores influências das fontes internas, e se aproximaram dos valores das concentrações exteriores. Branis *et al.* (2005), em Praga, estudando num período considerado meteorologicamente estável e sem elevada poluição, confirmam 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.

Para os valores encontrados na segunda sala de recepção (P2), 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 concentrações de material particulado. Quando os dados são observados em gráfico (Figura 04), pode-se notar o



acompanhamento dos dados, ou mesmo a proximidade dos valores, com exceção do dia 25 de novembro quando uma concentração exterior atípica foi registrada.

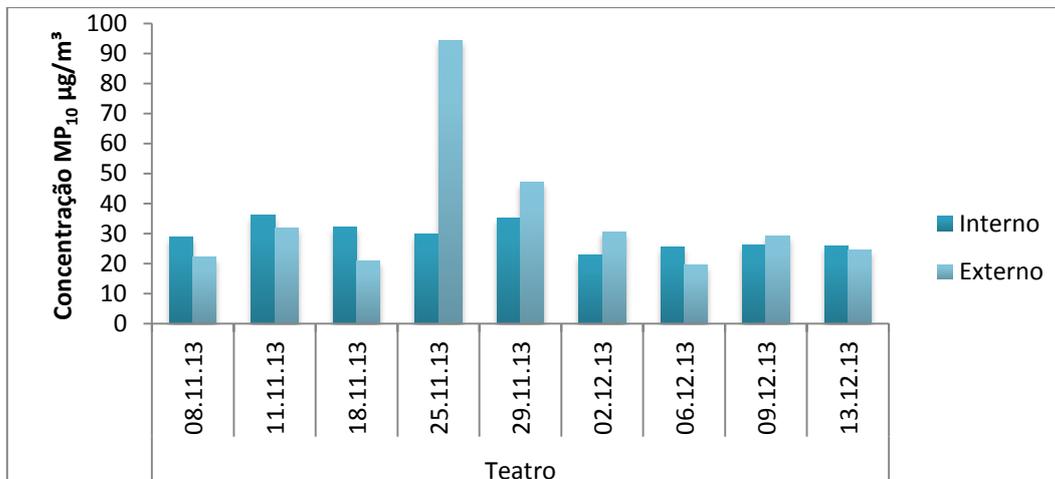


Figura 043 – Concentração MP<sub>10</sub> no ambiente Exterior e Interior no P2.

Fonte: Autor (2014).

Os resultados encontrados no ambiente da sala de aula do mestrado (P3) analisados em gráfico também pode-se observar uma proporcionalidade nos níveis de MP interiores em relação aos exteriores (Figura 05).

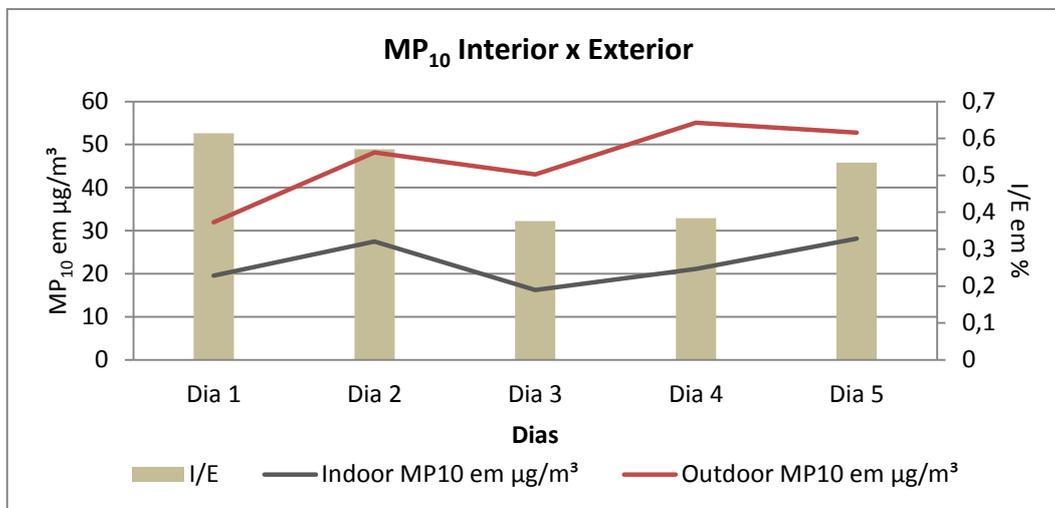


Figura 04 – Gráfico da relação entre MP<sub>10</sub> interior e exterior.

Fonte: Autor (2014).

As concentrações exteriores foram maiores que as interiores em todo o período, como observado no gráfico da Figura 05, o que indica também um bom desempenho na dispersão de material particulado no ambiente da sala de aula. Vale ressaltar que no período estudado esse ambiente teve o uso normal, com aulas e reuniões.

No ambiente laboratorial (P4) as amostragens realizadas no ambiente exterior não puderam ser executadas nos dias três e quatro 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 06). Esse ambiente é climatizado artificialmente por equipamentos condicionadores do ar.

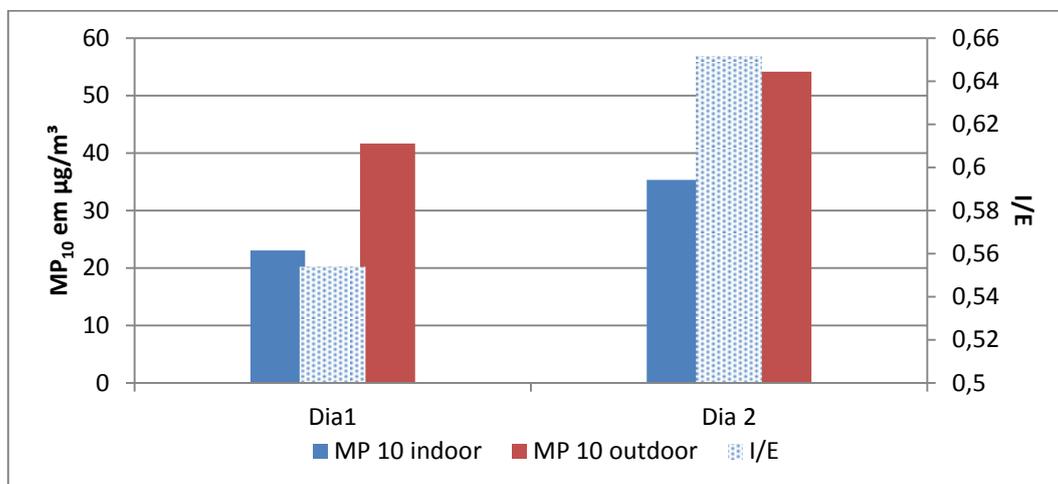


Figura 06 – Relação  $MP_{10}$  interior e exterior no LTQ

Fonte: Autor (2014).

Na Figura 06 observa-se que os níveis de particulado interiores foram menores que os exteriores, apresentando concentrações médias diárias não alarmantes, bem inferiores ao estabelecido na legislação brasileira ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nota-se que o aumento da concentração do  $MP_{10}$  exterior no dia 2 foi acompanhado da elevação da concentração interior. Além disso, ao contrário de muitos estudos, a qualidade do ar interior quanto a material particulado foi melhor que a do ar exterior.

No outro ambiente de sala de aula (P5), 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 na fração estudada, estão diretamente ligadas à ocupação do espaço, pois quando a concentração de MP exterior reduziu significativamente, as concentrações interiores não reduziram.

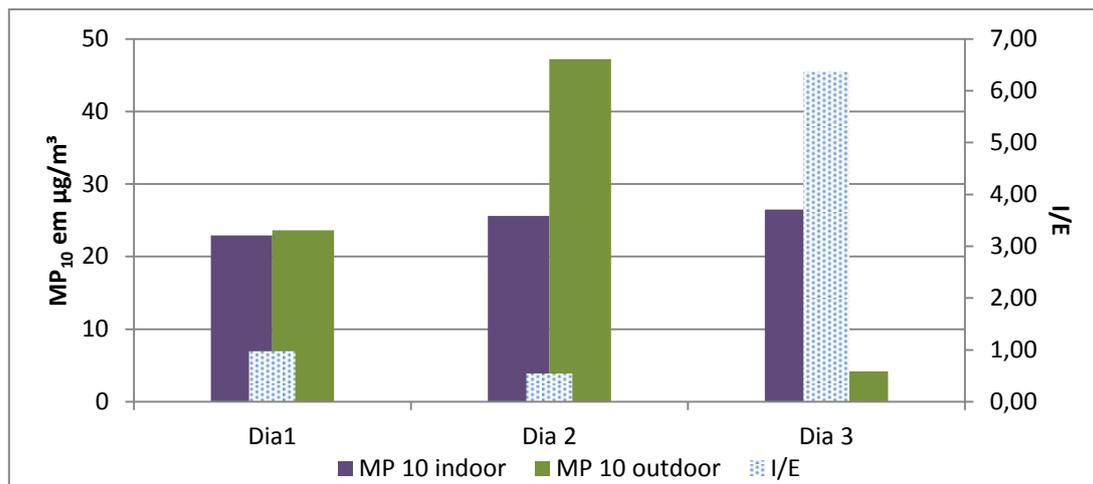


Figura 07 – Relação I/E de MP<sub>10</sub> no episódio Bloco Central.

Fonte: Autor (2014).

#### 4 – Conclusões

Na análise dos dados de material particulado interior e exterior pode-se observar a influência das concentrações exteriores no interior do IFCE, nos ambientes de recepção, salas de aula e laboratório. Destaca-se a existência de proporcionalidade direta para o ambiente de laboratório (P4), por esse ser um ambiente climatizado artificialmente por ar condicionado. A sala de aula no bloco dos alunos (P5), bloco mais distante das Av. Treze de Maio e Expedicionários, foi o ambiente que os dados mostraram menor proporcionalidade entre MP exterior e interior.

A influência observada não acarreta níveis alarmantes, principalmente porque as avaliações demonstraram que quando as concentrações são elevadas a níveis preocupantes, as fontes emissoras são interiores. 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.

#### 5 - Referências Bibliográficas

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](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.

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.

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.; TWARDILLA, D.; DIETRICH, S.; HEITMANN, D.; SCHIERL, R.; LIEBL, 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.

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.; 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.

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](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, 2011.

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.

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.

WICHMANN, J.; LIND, T.; NILSSON, M.A.-M.; BELLANDER, T. *PM<sub>2.5</sub>, soot and NO<sub>2</sub> 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.