

Ana Maria Conceição Ferreira^ISalvador Massano Cardoso^{II}

Estudo exploratório da qualidade do ar em escolas de educação básica, Coimbra, Portugal

Exploratory study of air quality in elementary schools, Coimbra, Portugal

RESUMO

OBJETIVO: Analisar a qualidade do ar em escolas de educação básica e suas condições estruturais e funcionais.

MÉTODOS: Foi avaliada a qualidade do ar de 51 escolas (81 salas de aula) de educação básica da cidade de Coimbra, Portugal, tanto na parte interior das salas como na exterior, durante as quatro estações do ano, de 2010 a 2011. Foram avaliadas a temperatura (T°), umidade relativa (Hr), concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), ozona (O_3), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), compostos orgânicos voláteis (COV), formaldeído e material particulado (PM_{10}), de novembro de 2010 a fevereiro de 2011 (outono/inverno) e de março de 2011 a junho de 2011 (primavera/verão). Procedeu-se ao preenchimento de uma grelha de caracterização das condições estruturais e funcionais das escolas. Aplicaram-se os testes estatísticos *t*-Student para amostras emparelhadas e o teste *t* de Wilcoxon.

RESULTADOS: Em 47 escolas, as concentrações médias de CO_2 encontravam-se acima da concentração máxima de referência (984 ppm) mencionada na legislação portuguesa. Os valores máximos de concentração encontrados no interior das salas foram críticos, principalmente no outono/inverno (5.320 ppm). As concentrações médias de COV e de PM_{10} no interior ultrapassaram a concentração máxima de referência legislada em algumas escolas. Não foram detetados valores relevantes (risco) de CO, formaldeído, NO_2 , SO_2 e O_3 .

CONCLUSÕES: Houve maior concentração de poluentes no interior das salas, comparativamente com o exterior. A inadequada ventilação está associada à elevada concentração de CO_2 nas salas de aula.

DESCRITORES: Instituições Acadêmicas. Ensino Fundamental e Médio. Poluição do Ar em Ambientes Fechados. Poluição do Ar, efeitos adversos. Poluentes do Ar, análise. Qualidade do Ar.

^I Departamento de Saúde Ambiental. Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra. Coimbra, Portugal

^{II} Instituto de Higiene e Medicina Social. Faculdade de Medicina. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal

Correspondência | Correspondence:

Ana Maria da Conceição Ferreira
Rua 5 de Outubro, São Martinho do Bispo
3000 Coimbra, Portugal
E-mail: anaferreira@estescoimbra.pt

Recebido: 4/3/2013
Aprovado: 28/3/2013

Artigo disponível em português e inglês em:
www.scielo.br/rsp

ABSTRACT

OBJECTIVE: To analyze the air quality in elementary schools and their structural and functional conditions.

METHODS: Air quality in 51 elementary schools (81 classrooms) in the city of Coimbra, Portugal, both inside and outside of the rooms was evaluated during the four seasons, from 2010 to 2011. Temperature (T°), relative humidity (Hr), concentrations of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), compounds were evaluated, as were volatile organics (VOC), formaldehyde and particulate matter (PM₁₀), from November 2010 to February 2011 (autumn/winter) and March 2011 to June 2011 (spring/summer). A grid characterizing the structural and functional conditions of the schools was created. The statistical Student t test for paired samples and the Wilcoxon t test were applied.

RESULTS: In 47 schools, the average CO₂ concentrations were above the maximum reference concentration (984 ppm) mentioned in Portuguese legislation. The maximum concentration values found inside the rooms were critical, especially in the fall/winter (5,320 ppm). In some schools the average concentrations of VOC and PM₁₀ within the maximum concentration exceeded the reference legislated. The values (risk) of CO, formaldeído, NO₂, SO₂ and O₃ detected were not relevant.

CONCLUSIONS: There was a higher concentration of pollutants inside the rooms compared with outside. Inadequate ventilation is associated with high CO₂ concentration in the classroom.

DESCRIPTORS: Schools. Education, Primary and Secondary. Air Pollution, Indoor. Air Pollution, adverse effects. Air Pollutants, analysis. Air Quality.

INTRODUÇÃO

O moderno e crescente padrão de consumo tem consequências no ambiente que inevitavelmente se refletem na saúde humana. A qualidade do ar tem implicações no nosso bem-estar, influencia o nosso futuro e pode afetá-lo. A qualidade do ar interior (QAI) é um dos principais riscos ambientais para a saúde pública e torna-se especialmente importante no caso de grupos vulneráveis, como as crianças.^a

O nível de poluição do ar no interior dos edifícios é muitas vezes pior do que o do exterior e pode atingir valores duas a cinco vezes, ocasionalmente até cem vezes, superiores ao nível de poluição do ar exterior. Os níveis de contaminação do ar interior adquirem mais relevância quando se considera que as pessoas passam cerca de 80,0% a 90,0% do seu tempo dentro dos edifícios.

Devido às funções complexas e diversificadas exercidas nas escolas, a qualidade do ar assume grande importância face aos efeitos adversos que pode ter na saúde, na concentração e no desempenho dos ocupantes.^{8,9,13}

Os efeitos da poluição do ar sobre as crianças estão aumentando^b em decorrência da escolarização cada vez mais precoce e do maior tempo de permanência da criança nas escolas. Uma das consequências é o aumento dos problemas respiratórios, nomeadamente o aumento da prevalência de rinite alérgica, bronquite e asma.⁶ A qualidade do ar das escolas possui extrema importância, uma vez que as crianças passam pelo menos 1/3 de seu tempo dentro desses edifícios, i.e., cerca de sete horas ou mais por dia na escola.^{2,11,c} Pobre QAI pode afetar o desempenho, assiduidade, conforto

^a Borrego C, Neuparth N, Carvalho AC, Carvalho A, Miranda AI, Costa AM, et al. A saúde e o ar que respiramos - um caso de estudo em Portugal. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian; 2008.

^b Khan I, Freitas MC, Dionísio I, Pacheco AMG. Indoor habits of children aged 5 to years learning at the public basic schools of Lisbon city, Portugal. Proceedings of the Ninth REHVA World Congress Climate - Well Being Indoors, Helsinki; 2007.

^c United States Environmental Protection Agency (US). Managing Asthma in the School Environment - Indoor air quality tools for schools. Washington (DC); 2010 [citado 2012 jul 20]. Disponível em: <http://www.epa.gov/iaq/schools>

e produtividade.^{3,5} As condições existentes nos edifícios que as acolhem podem condicionar a incidência de sintomas respiratórios.^{7,9,15} Vários estudos sobre a qualidade do ar nas escolas têm sido publicados recentemente.^{2,4,11,12,a} No entanto, é escassa a investigação desenvolvida nessa área em Portugal.

O objetivo deste estudo foi analisar a qualidade do ar de escolas de educação básica e suas condições estruturais e funcionais.

MÉTODOS

Estudo exploratório da QAI, com medidas de temperatura, umidade relativa do ar e de concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozona (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), compostos orgânicos voláteis (COV), formaldeído e material particulado com diâmetro de 2,5 µm (PM_{2,5}) e 10 µm (PM₁₀), nos períodos de outono/inverno e primavera/verão, em 51 escolas e 81 salas de aula de educação básica, Coimbra, Portugal, em 2011. Coimbra é um município com cerca de 143.052 habitantes, subdividido em 31 prefeituras, das quais 15 são áreas predominantemente urbanas (APU), 14 áreas mediantemente urbanas (AMU) e duas áreas predominantemente rurais (APR).^d Coimbra foi selecionada por ser considerada a maior cidade da região centro e uma das mais importantes cidades portuguesas, devido à infraestrutura, organização e às empresas de que dispõe, pela sua importância histórica e pela privilegiada posição geográfica no centro do país. Este é o primeiro estudo de avaliação da QAI nas escolas de Coimbra. Foram avaliadas escolas de educação básica (EB1), integradas nas 31 prefeituras do Concelho de Coimbra.

Foram analisadas 45 escolas públicas e seis escolas privadas, abrangendo 81 salas de aulas (com média de 18 alunos) totalizando 1019 crianças. Essas escolas foram selecionadas a partir da análise comparativa entre o universo das 81 escolas (230 salas de aula) EB1, Público e Privado do Concelho de Coimbra.

Optou-se por uma amostra não probabilística de conveniência. Os critérios de inclusão foram: uma escola por prefeitura e, nas restantes, teve-se em atenção os critérios de comparação enumerados anterior e

concomitantemente com as escolas cuja Direção Regional de Educação do Centro, os agrupamentos de escolas e os diretores das escolas autorizaram a participação no estudo. A não autorização por parte dos pais/enferregados de educação para colaborar na investigação foi critério de exclusão.

Não foi possível a avaliação de parâmetros biológicos (por falta de recursos). Foram avaliados parâmetros químicos e físicos no interior e no exterior das 51 escolas. Essas avaliações foram realizadas nos períodos de outono/inverno (novembro de 2010 a fevereiro de 2011) e de primavera/verão (março de 2011 a junho de 2011).

Foi realizada visita preliminar aos estabelecimentos escolares para avaliar as condições gerais de instalação, tipo de atividades desenvolvidas, tipo de sistema de ventilação, número de ocupantes e identificação de potenciais fontes de poluição interior e exterior. Determinaram-se os pontos de amostragem nas salas de aula, considerando o *layout* das salas, a localização de portas e janelas e a existência de fontes de contaminação interior e exterior. A quantificação dos parâmetros ambientais foi baseada nas recomendações descritas na NT-SCE-02^e e no guia técnico de qualidade do ar em espaços interiores da Agência Portuguesa do Ambiente.^f

Foram utilizadas as concentrações máximas de referência (CMR) estabelecidas no anexo VII do Decreto-Lei n° 79/2006, de 4 de abril,^g para a QAI e no Decreto-Lei n° 80/2006, de 4 de abril,^h para os parâmetros temperatura do ar e umidade relativa e recomendações internacionais da *Indoor Air Quality Association* (IAQA)ⁱ e *American Society of Heating, Refrigeration and Air – Conditioning Engineers*, 2001 Standard 62.1.^j

A legislação portuguesa não estabelece valor limite para as PM_{2,5}, o SO₂ e NO₂ dentro dos edifícios. Há padrões que definem os limiares máximos de exposição a NO₂ aplicáveis em contexto laboral. Tomaram-se como ponto de referência os valores médios analíticos registados nas medições do ar exterior.

As medições da QAI decorreram no período normal de funcionamento das aulas, duas horas após seu início. O equipamento foi colocado aproximadamente à altura das vias respiratórias dos alunos, na posição de sentados. A amostragem foi realizada à altura de 1 m do solo e pelo

^d Portugal. Deliberação n° 2717/2009 de 6 de agosto. 8ª Deliberação da Secção Permanente de Coordenação Estatística. Revisão da tipologia de áreas urbanas. *Diário Republica*. 28 set 2009.

^e Agência Portuguesa do Ambiente. Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Direção Geral de Energia e Geologia, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Lisboa; 2006.

^f Agência Portuguesa do Ambiente. Qualidade do ar em espaços interiores – um guia técnico. Lisboa; 2010 [citado 2010 set 27]. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/serviços/LaboratórioReferencia/Manual%20QAI%20APA%20Maio%202010.pdf>

^g Portugal. Decreto-Lei n° 79/2006 de 4 de Abril. Estabelece o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em edifícios/RSECE. *Diário Republica*. 4 abr 2006;2416-68.

^h Portugal. Decreto-Lei n° 80/2006 de 4 de Abril. Estabelece a Norma Técnica NTSC02-Metodologia para Auditorias periódicas de qualidade do ar interior em edifícios existentes no âmbito do RSECE. *Diário Republica*. 4 abr 2006.

ⁱ Indoor Air Quality Association. Quick Reference Guide to IAQA 01-2000. Recommended Guidelines for Indoor Environments. Washington (DC); 2000 [citado 2010 set 28]. Disponível em: <http://americanhomeinspect.net/reference.html>

^j American National Standards Institute. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta; 2004.

Tabela 1. Parâmetros avaliados, equipamentos e métodos de monitorização.^a Coimbra, Portugal, 2011.

Parâmetro Ambiental	Equipamento	Método de Monitorização M.I. ^b	Método/Princípio de Referência ^c	Método/Princípios Equivalentes ^d
Avaliação da velocidade do ar	DELTA OHM - HD32.1			
Avaliação da umidade relativa	TSI 9555-P	Sensor electroquímico		
Avaliação da temperatura	TSI 9555-P	Sensor electroquímico		
Avaliação da concentração de CO ₂	TSI 9555-P	Sensor NDIR	NDIR	Método electroquímico; Infra Vermelho
Avaliação da concentração de CO	TSI 9555-P	Sensor NDIR	NDIR	Método electroquímico; Infra Vermelho
Avaliação da concentração de O ₃	AEROQUAL séries 500	Sensor electroquímico	Absorção Ultra Violeta	Método electroquímico
Avaliação da concentração de COV	PHOTOVAC 220ppb Pro	Detector de fotoionização	Recolha e análise por cromatografia ISO 16000 – 2007	PID-Detector de Foto Ionização; PAS-Sensor Foto Acústico
Avaliação de NO ₂ e SO ₂	QRAE Plus PGM-2000/2020			
Avaliação da concentração de partículas em suspensão no ar	TSI DUSTTRACK	Quantificador a laser de partículas	Método gravimétrico com cabeça de amostragem seletiva PM10	Dispersão óptica (UV; Laser); Absorção por Radiação Beta
Avaliação de formaldeído	PPM formaldmeter	Sensor electroquímico	Recolha e análise por cromatografia ISO 16000-2:2006	Método electroquímico; Método de fotometria

NDIR: Infra Vermelho Não Dispersivo

^a Esta tabela teve em consideração o Anexo III da NT_SCE_02 que consiste nos métodos de monitorização

^b Método Interno de acordo com a NT_SCE_02 (Princípio de Referência ou Princípio Equivalente).

^c Método/Princípio de Referência. Método estabelecido por legislação nacional, comunitária, ou internacional (ex, ISO) para a medição de um poluente específico do ar ambiente. Os métodos CEN (EN-ISO), são considerados métodos de referência.

^d Métodos/Princípios Equivalentes. O método equivalente é um método de medição que estabelece uma resposta adequada para os fins em vista em relação ao método de referência; no método equivalente, os resultados não diferem do método de referência dentro de um determinado intervalo de incerteza estatística.

menos a 3 m das paredes, em áreas representativas para medição, de forma a garantir uma distância apropriada em relação aos próprios alunos para que não houvesse interferência nas leituras dos aparelhos.

As medições foram efetuadas de acordo com o estabelecido pela Nota Técnica NT-SCE-02, do Sistema Nacional de Certificação, Portugal, 2009, entre as 10:30h e as 17:30h, num período de 30 min, com amostragens para as partículas a cada 30 segundos, os compostos orgânicos voláteis^a a cada 15 segundos, e os restantes parâmetros a cada minuto, durante uma semana.^k As medições de qualidade do ar ambiente decorreram no espaço de recreio, à mesma altura que foram realizadas as medições de QAI, mas afastada pelo menos 1 m das paredes exteriores das escolas.^k

Utilizaram-se os equipamentos portáteis específicos (Tabela 1) de leitura em tempo real, calibrados antes

de qualquer período de amostragem, recorrendo-se, sempre que necessário, ao “branco” ou padrão-zero, com base comparativa dos resultados encontrados nos casos de medidas com troca de sensores. Foram consideradas as variações de temperatura/pressão para a conversão das leituras.

A análise dos dados foi realizada por meio do programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), versão 19.0. Os dados foram sujeitos a análise descritiva e inferencial. Foram calculados parâmetros da estatística descritiva, designadamente a média, o desvio-padrão e a amplitude de variação com a indicação dos valores máximos e mínimos para o conhecimento das variáveis quantitativas. Em algumas situações, após constatação da normalidade (testes: Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk), foram aplicados testes paramétricos para avaliação das diferenças entre os valores médios. Quando não punham

^k Carvalho R, Coelho D, Ferreira C, Nunes T. A monitorização da Qualidade do Ar Interior (QAI) em Portugal - estudo comparativo de metodologias de amostragem e medição de QAI. Aveiro: Universidade de Aveiro; 2009.

em causa a avaliação da assimetria, aplicaram-se medidas paramétricas. Quando eram muito assimétricas ($>$ ou $<$ a 1,96), aplicaram-se modelos estatísticos não paramétricos.

Aplicaram-se os testes estatísticos *t*-Student para amostras emparelhadas e o teste *t* de Wilcoxon.

A interpretação estatística foi realizada com base no nível de significância de 0,05, com intervalo de confiança de 95%.

O estudo foi aprovado pelo Conselho Científico da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra (aprovado em dezembro de 2010). Foi obtido Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado por todos os responsáveis pelas escolas.

RESULTADOS

A maioria das escolas possuía calefação (86,3%), mas nenhuma tinha refrigeração/climatização. Nenhuma escola possuía qualquer sistema de ventilação, e a ventilação era asseverada por meios passivos pela abertura das janelas ou portas. A maioria das salas de aulas estava equipada com quadro de lousa e giz (88,3%) e tinha

piso de madeira (80,4%). As salas possuíam volume de 150 m³, em média.

O parâmetro ambiental que apresentou resultados mais significativos e de elevado risco potencial foi o CO₂. As concentrações médias de CO₂ no interior das salas de aula estiveram acima da CMR (984 ppm), chegando a 1.942 ppm. Os valores máximos encontrados no interior das salas de aula colocavam em risco a saúde das crianças, chegando aos 5.320 ppm em uma das escolas. As concentrações de CO₂ encontradas nas salas de aula no outono/inverno apresentavam valores superiores às concentrações observadas na primavera/verão.

A concentração média de COV ultrapassou a CMR em ambas as estações do ano em duas escolas. A CMR de material particulado com diâmetro de 10 µm (PM₁₀) foi ultrapassada em salas de aula de quatro escolas.

A concentração média do formaldeído encontrava-se acima da CMR (0,08 ppm) na primavera/verão em uma sala de aula.

As concentrações de O₃ encontravam-se abaixo dos valores da CMR. E as de CO estiveram significativamente abaixo da CMR (10,7 ppm). Não foram detetados valores relevantes de NO₂ e de SO₂.

Tabela 2. Distribuição dos valores da concentração média dos poluentes por local avaliado. Coimbra, Portugal, 2011.

Parâmetro Ambiental	Local da medição							
	Salas de aula				Exterior			
	1º ano (n = 35)		4º ano (n = 34)		1º e 4º anos juntos (n = 12)		(n = 51)	
	Média	dp	Média	dp	Média	dp	Média	DP
CO (ppm) - outono/inverno	0,44 ^b	0,627	0,39 ^b	0,445	0,45 ^a	0,433	0,33 ^a	0,329
CO (ppm) - primavera/verão	0,15	0,107	0,15	0,159	0,12	0,075	0,21	0,194
CO ₂ (ppm) - outono/inverno	1.575,17 ^b	791,251	1.632,64 ^a	707,493	1.414,64 ^b	422,946	425,16 ^c	33,779
CO ₂ (ppm) - primavera/verão	1.080,94	642,457	1.282,23	602,939	976,18	281,810	402,71	27,091
PM _{2,5} (mg/m ³) - outono/inverno	0,09	0,039	0,08 ^a	0,031	0,08	0,034	0,07 ^b	0,028
PM _{2,5} (mg/m ³) - primavera/verão	0,09	0,026	0,10	0,025	0,07	0,023	0,09	0,028
PM ₁₀ (mg/m ³) - outono/inverno	0,13	0,054	0,11	0,040	0,11	0,035	0,08 ^c	0,033
PM ₁₀ (mg/m ³) - primavera/verão	0,11	0,026	0,11	0,025	0,10	0,024	0,12	0,059
O ₃ (ppm) - outono/inverno	0,00 ^a	0,005	0,00	0,008	0,00	0,000	1,29	8,956
O ₃ (ppm) - primavera/verão	0,00	0,001	0,00	0,007	0,00	0,004	0,03	0,024
COV (ppb) - outono/inverno	97,85	74,382	96,41	73,818	102,23	78,143	31,28	73,567
COV (ppb) - primavera/verão	89,44	68,258	92,46	65,567	87,82	63,043	45,27	50,046
SO ₂ (ppm) - outono/inverno	0,01	0,022	0,00	0,014	0,00	0,000	0,00	0,010
SO ₂ (ppm) - primavera/verão	0,01	0,037	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,014
Formaldeído (ppm) - outono/inverno	0,01 ^a	0,016	0,01 ^a	0,009	0,01 ^a	0,008	0,00 ^c	0,003
Formaldeído (ppm) - primavera/verão	0,02	0,019	0,02	0,014	0,02	0,014	0,01	0,008

O₃: Ozona; T°: Temperatura; Hr: Umidade relativa; NO₂: Dióxido de nitrogénio; SO₂: Dióxido de enxofre; COV: Compostos orgânicos voláteis; PM₁₀: Material particulado de diâmetro < 10 µg; PM_{2,5}: Material particulado de diâmetro < 2,5 µg; O parâmetro NO₂ não foi apresentado por não ter expressão quantitativa em nenhum dos espaços avaliados

Teste *t*-Student para amostras emparelhadas; Teste *t* de Wilcoxon

^a p < 0,05

^b p < 0,001

^c p < 0,0001

As temperaturas médias do ar no outono/inverno encontravam-se abaixo do valor de referência (20°C). A maioria das escolas tinha calefação insuficiente devido à idade dos edifícios, às próprias dimensões e às condições de isolamento das escolas. Os valores das temperaturas do ar no interior das escolas, na primavera/verão, estiveram acima do valor referenciado (25°C) devido à temperatura exterior e ao facto das salas não possuírem sistema de climatização/refrigeração. Os valores de umidade relativa estiveram compreendidos entre os limites inferior e superior na primavera/verão e no outono/inverno (30% e 70%), exceto em sete escolas que apresentaram umidade relativa acima de 70% no outono/inverno.

Os poluentes atmosféricos CO, CO₂, O₃ e formaldeído sofreram variação expressiva entre as duas estações do ano avaliadas em salas frequentadas pelos alunos do primeiro ano. Registraram-se alterações significativas entre as estações do ano em relação a alguns poluentes atmosféricos e material particulado também nas salas dos alunos que frequentaram o quarto ano. Foram ainda registadas variações significativas entre as duas épocas do ano quando avaliadas as salas frequentadas, em conjunto, pelos alunos do primeiro e quarto ano (estavam juntos numa só sala) (Tabela 2).

O CO, CO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ e o formaldeído foram os que revelaram uma variação média significativa nos espaços exteriores das diferentes escolas.

Observou-se padrão de correlação entre o valor médio de umidade relativa no outono/inverno com o CO, CO₂, COV e formaldeído (Tabela 3), como também padrões de variação entre a umidade relativa e PM₁₀, COV e HCHO na primavera/verão.

Ao aplicar o teste Kruskal Wallis para a comparação das distribuições dos parâmetros ambientais por área geográfica, verificou-se que existiram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) nas concentrações de CO no interior das salas de aula no outono/inverno. Em média, as escolas localizadas em áreas predominantemente rurais revelaram valores mais elevados face às escolas localizadas em áreas mediantemente ou predominantemente urbanas. As PM₁₀ apresentaram valores médios mais elevados nas escolas localizadas em áreas mediantemente urbanas ($p < 0,05$). Apesar de não existirem diferenças estatisticamente significativas no outono/inverno, as escolas localizadas em áreas predominantemente rurais revelaram valores mais elevados de CO₂, COV. As concentrações de PM_{2,5} e formaldeído foram semelhantes e mais elevadas nas escolas localizadas em áreas predominantemente rurais ou mediantemente urbanas. O O₃ mostrou valores mais elevados nas escolas localizadas em áreas predominantemente urbanas e o SO₂ em áreas mediantemente urbanas (Tabela 4).

Existiram diferenças estatisticamente significativas nas concentrações médias de PM_{2,5}, PM₁₀ e COV na

primavera/verão. As concentrações de COV e as PM₁₀ foram mais elevadas nas escolas localizadas nas áreas predominantemente rurais. As concentrações médias de PM_{2,5} foram semelhantes e mais elevadas em escolas localizadas nas áreas predominantemente rurais e predominantemente urbanas. O O₃ teve valores mais elevados nas escolas localizadas em áreas predominantemente urbanas, tal como o SO₂. O formaldeído e o CO₂ apresentaram concentrações médias mais elevadas nas escolas localizadas em áreas predominantemente rurais. As escolas que se encontram em áreas mediantemente urbanas possuíam valores médios de CO mais elevados.

DISCUSSÃO

Os resultados mais significativos deste estudo referem-se às concentrações de CO₂, as quais se encontram acima da concentração máxima de referência legislada na maioria das escolas (92%). Dado que a única fonte de contaminação nas salas de aula com esse gás era o metabolismo dos ocupantes, seu teor foi usado como indicador do grau de viciação do ambiente interior, possibilitando uma indicação sobre a QAI.

Os resultados encontrados no outono/inverno mostraram teores de CO₂ mais elevados que na primavera/verão. As salas em que é prática deixar as portas e janelas abertas durante as aulas apresentaram melhores valores e possuíam número reduzido de alunos (< 10). O CO₂ é o principal indicador das condições de renovação de ar em espaços fechados e sugere deficiência na renovação de ar no interior das salas de aulas que ultrapassam o valor de referência (984 ppm). A volumetria das salas, associada ao número de ocupantes, não permite que durante os intervalos seu arejamento seja suficiente para baixar os níveis de CO₂ a valores aceitáveis. Algumas salas têm as janelas abertas durante as aulas. No entanto essa prática nem sempre é possível quando existe ruído no exterior ou quando as condições climáticas, e.g., frio e chuva, não o permitem. O arejamento durante a noite seria uma boa prática (exceto no período de frio), mas escolas referiram que tal prática não era possível por motivos de segurança. Estudos recentes, incluindo alguns portugueses,^{3,13} apontam a existência de teores de CO₂ elevados em escolas devido à elevada densidade de ocupação e à insuficiente ventilação.^{1,10} Altos teores de CO₂ aparecem associados a altos teores de outros poluentes.¹²

No presente estudo, os valores encontram-se abaixo do valor de referência, com exceção do CO₂, apresentando, no entanto valores significativos para alguns parâmetros ambientais analisados, como os COV e as PM₁₀.

Encontrámos valores médios de material particulado acima do legislado. A maioria das salas de aula estava equipada com quadro de lousa e giz, possuíam

Tabela 3. Variação dos poluentes atmosféricos em função da temperatura e umidade relativa no outono/inverno e na primavera/verão. Coimbra, Portugal, 2011.

		Outono/Inverno							
Temperatura/Umidade		CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	PM _{2,5} (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)	O ₃ (ppm)	COV (ppb)	SO ₂ (ppm)	Formaldeído (ppm)
Valor médio/Temperatura	r	-0,152	0,063	-0,077	0,130	-0,090	0,098	0,070	-0,124
	p	0,174	0,573	0,490	0,243	0,421	0,379	0,530	0,266
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor mínimo/Temperatura	r	-0,157	0,069	-0,082	0,090	-0,121	0,064	0,139	-0,061
	p	0,158	0,535	0,465	0,422	0,280	0,565	0,212	0,586
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor máximo/Temperatura	r	-0,133	0,050	-0,067	0,153	-0,056	0,118	0,006	-0,168
	p	0,233	0,653	0,552	0,169	0,616	0,290	0,955	0,131
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor médio/Umidade relativa	r	0,425	0,433	0,184	0,065	-0,210	0,284	0,074	0,370
	p	0,000	0,000	0,099	0,559	0,059	0,010	0,511	0,001
	N	81	81	81	81	81	81	81	82
Valor mínimo/Umidade relativa	r	0,393	0,373	0,169	0,035	-0,189	0,207	0,114	0,377
	p	0,000	0,001	0,129	0,755	0,090	0,062	0,309	0,000
	N	81	81	81	81	81	81	81	82
Valor máximo/Umidade relativa	r	0,432	0,466	0,187	0,091	-0,218	0,342	0,031	0,343
	p	0,000	0,000	0,092	0,416	0,049	0,002	0,783	0,002
	N	81	81	81	81	81	81	81	82
		Primavera/Verão							
		CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	PM _{2,5} (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)	O ₃ (ppm)	COV (ppb)	SO ₂ (ppm)	Formaldeído (ppm)
Valor médio/Temperatura	r	0,085	0,047	-0,115	-0,022	-0,038	0,093	-0,038	0,201
	p	0,448	0,674	0,305	0,846	0,737	0,406	0,732	0,071
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor mínimo/Temperatura	r	0,038	0,033	-0,113	-0,066	-0,035	0,137	-0,007	0,185
	p	0,735	0,770	0,313	0,557	0,754	0,220	0,949	0,095
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor máximo/Temperatura	r	0,132	0,052	-0,079	0,004	-0,052	0,072	-0,062	0,130
	p	0,237	0,645	0,481	0,972	0,645	0,519	0,579	0,245
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor médio/Umidade relativa	r	0,054	-0,011	0,141	0,223	-0,051	0,313	0,073	0,466
	p	0,631	0,923	0,208	0,044	0,651	0,004	0,514	0,000
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor mínimo/Umidade relativa	r	0,017	-0,025	0,126	0,209	-0,019	0,270	0,086	0,471
	p	0,879	0,825	0,258	0,060	0,868	0,014	0,443	0,000
	N	81	81	81	81	81	81	81	81
Valor máximo/Umidade relativa	r	0,069	-0,014	0,147	0,231	-0,062	0,299	0,059	0,454
	p	0,541	0,902	0,187	0,037	0,583	0,006	0,599	0,000
	N	81	81	81	81	81	81	81	81

r: Coeficiente de correlação linear de Pearson; p: *p-value*; N: Amostra; O₃: Ozona; T°: Temperatura; Hr: Umidade relativa; NO₂: Dióxido de nitrogénio idem; SO₂: Dióxido de enxofre idem; COV: Compostos orgânicos voláteis; PM₁₀: Material particulado de diâmetro < 10 µg; PM_{2,5}: Material particulado de diâmetro < 2,5 µg

prateleiras/armários com grandes quantidades armazenadas de folhas de papel, que acumulam poeira. Nessas salas de aula realizam-se inúmeras atividades, muitas vezes recorrendo a colchões, colas,

tintas, barro, e outros, e de acordo com os resultados encontrados por Almeida et al³ (2011) e Pegas et al¹³ (2012), a atividade das crianças também contribui para o aumento das partículas em suspensão.

Tabela 4. Variação dos poluentes atmosféricos em função da área de localização das escolas no outono/inverno e na primavera/verão. Coimbra, Portugal, 2011.

Poluentes/Área de localização	Outono/Inverno		
	Média	Desvio padrão	p
Valor médio CO (ppm) - Área predominantemente urbana	0,28	0,38	0,003 ^a
Valor médio CO (ppm) - Área mediamente urbana	0,69	0,69	
Valor médio CO - Área predominantemente rural	0,95	0,21	
Valor médio CO ₂ (ppm) - Área predominantemente urbana	1.550,84	750,62	0,437
Valor médio CO ₂ (ppm) - Área mediamente urbana	1.611,65	636,82	
Valor médio CO ₂ (ppm) - Área predominantemente rural	1.941,50	685,19	
Valor médio PM _{2,5} (mg/m ³) - Área predominantemente urbana	0,08	0,03	0,063
Valor médio PM _{2,5} (mg/m ³) - Área mediamente urbana	0,10	0,04	
Valor médio PM _{2,5} (mg/m ³) - Área predominantemente rural	0,10	0,04	
Valor médio PM ₁₀ (mg/m ³) - Área predominantemente urbana	0,11	0,05	0,024 ^a
Valor médio PM ₁₀ (mg/m ³) - Área mediamente urbana	0,14	0,04	
Valor médio PM ₁₀ (mg/m ³) - Área predominantemente rural	0,11	0,06	
Valor médio O ₃ (ppm) - Área predominantemente urbana	0,002	0,007	0,580
Valor médio O ₃ (ppm) - Área mediamente urbana	0,001	0,003	
Valor médio O ₃ (ppm) - Área predominantemente rural	0,000	0,000	
Valor médio COVs (ppb) - Área predominantemente urbana	99,12	76,46	0,234
Valor médio COVs (ppb) - Área mediamente urbana	89,60	68,91	
Valor médio COVs (ppb) - Área predominantemente rural	160,00	7,07	
Valor médio SO ₂ (ppm) - Área predominantemente urbana	0,005	0,02	0,806
Valor médio SO ₂ (ppm) - Área mediamente urbana	0,006	0,01	
Valor médio SO ₂ (ppm) - Área predominantemente rural	0,000	0,000	
Valor médio formaldeído (ppm) - Área predominantemente urbana	0,006	0,01	0,345
Valor médio formaldeído (ppm) - Área mediamente urbana	0,01	0,01	
Valor médio formaldeído (ppm) - Área predominantemente rural	0,01	0,01	
			Primavera/Verão
Valor médio CO (ppm) - Área predominantemente urbana	0,14	0,14	0,675
Valor médio CO (ppm) - Área mediamente urbana	0,15	0,10	
Valor médio CO (ppm) - Área predominantemente rural	0,10	0,00	
Valor médio CO ₂ (ppm) - Área predominantemente urbana	1.115,50	632,62	0,203
Valor médio CO ₂ (ppm) - Área mediamente urbana	1.222,66	528,32	
Valor médio CO ₂ (ppm) - Área predominantemente rural	1.359,00	66,47	
Valor médio PM _{2,5} (mg/m ³) - Área predominantemente urbana	0,10	0,03	0,003 ^a
Valor médio PM _{2,5} (mg/m ³) - Área mediamente urbana	0,08	0,02	
Valor médio PM _{2,5} (mg/m ³) - Área predominantemente rural	0,10	0,04	
Valor médio PM ₁₀ (mg/m ³) - Área predominantemente urbana	0,12	0,02	0,003 ^a
Valor médio PM ₁₀ (mg/m ³) - Área mediamente urbana	0,09	0,03	
Valor médio PM ₁₀ (mg/m ³) - Área predominantemente rural	0,14	0,02	
Valor médio O ₃ (ppm) - Área predominantemente urbana	0,0009	0,005	0,852
Valor médio O ₃ (ppm) - Área mediamente urbana	0,0007	0,002	
Valor médio O ₃ (ppm) - Área predominantemente rural	0,000	0,000	
Valor médio COVs (ppb) - Área predominantemente urbana	82,66	68,42	0,055 ^a
Valor médio COVs (ppb) - Área mediamente urbana	102,62	56,59	
Valor médio COVs (ppb) - Área predominantemente rural	165,00	7,07	
Valor médio SO ₂ (ppm) - Área predominantemente urbana	0,005	0,03	0,958
Valor médio SO ₂ (ppm) - Área mediamente urbana	0,002	0,01	
Valor médio SO ₂ (ppm) - Área predominantemente rural	0,000	0,000	
Valor médio formaldeído (ppm) - Área predominantemente urbana	0,02	0,02	0,220
Valor médio formaldeído (ppm) - Área mediamente urbana	0,01	0,01	
Valor médio formaldeído (ppm) - Área predominantemente rural	0,03	0,01	

O₃: Oárea; T°: Temperatura; Hr: Umidade relativa; NO₂: Dióxido de nitrogénio; SO₂: Dióxido de enxofre; COV: Compostos orgânicos voláteis; PM₁₀: Material particulado de diâmetro < 10 ug; PM_{2,5}: Material particulado de diâmetro < 2,5 ug

Teste: Kruskal Wallis

^a p < 0,05

Os valores de COV medidos encontram-se abaixo da CMR, embora com valores significativos. Muitas poderão ser as fontes, desde colas, tintas e todo o material presente nas salas de aulas à base de compostos orgânicos.

Os valores de CO medidos estão abaixo da CMR, tanto no outono/inverno quanto na primavera/verão. Em média, as escolas localizadas em áreas predominantemente rurais revelaram valores mais elevados de CO face às escolas localizadas em áreas mediantemente ou predominantemente urbanas. O valor mais elevado no outono/inverno ocorreu numa escola em que era perceptível o odor de fumaça vindo de uma estufa sem chaminé, indicando um problema de extração de fumaça das salas de aula.

Os valores de O₃ e formaldeído medidos estão abaixo da CMR. Algumas salas apresentaram valores mais elevados, no entanto não eram perceptíveis fontes de contaminação (Tabela 2). Duas salas apresentaram valores do formaldeído com significância no outono/inverno, embora abaixo da CMR. Nessas salas, os alunos tinham trabalhado com colas na hora anterior, o que mostra a falta de arejamento e ventilação da sala após esse tipo de atividade. Uma escola apresentou valores do formaldeído com significância na primavera/verão e não haviam realizado trabalhos manuais previamente.

Os valores de NO₂ e SO₂ eram muito próximos da condição de zero.

A temperatura média do ar no outono/inverno em todas as escolas encontrava-se acima do valor limite de referência no DL n.º 80/2006 (20°C). Isso se deve provavelmente ao facto de todas as salas possuírem sistema de aquecimento e as portas e janelas permanecerem fechadas. Os valores da temperatura do ar estiveram abaixo do valor referenciado na primavera/verão, com exceção de duas escolas, que se encontravam acima do valor de referência (25°C). Sete escolas apresentaram valores de umidade relativa > 70,0% no outono/inverno. São diversificadas as origens dos contaminantes encontrados no interior de edifícios. Podem ter origem nos ocupantes e nas suas atividades, nos materiais de construção e decoração, e no ar exterior que entra no edifício. As condições termo-higrométricas são importantes para garantir ambientes saudáveis. Além de afetarem o conforto térmico, temperatura e umidade influenciam a emissão de poluentes químicos a partir das fontes de contaminação existentes.¹

QAI deficiente durante curtos períodos (horas) pode provocar incómodo, diminuição da atenção e diminuição da capacidade de aprendizagem. No entanto, exposição prolongada (dias e semanas) a poluentes do ar interior podem gerar graves problemas de saúde, como doenças respiratórias ou alérgicas.

A maioria das escolas estudadas corresponde a edifícios que há muito tempo não são objeto de restauração e possuem muitos anos de existência. Apresentaram cuidados nos seus aspetos construtivos, falta de sistema de climatização e falta de ventilação mecânica ou mista, e a ventilação era assegurada pela abertura de janelas ou portas. Foram medidos teores especialmente elevados de CO₂ no ambiente interior, mostrando deficiências da QAI devido à insuficiente ventilação.

As concentrações dos poluentes no ar interior das escolas são superiores aos observados no exterior, o que indica a importância das fontes de emissões interiores.

É fundamental que as escolas realizem monitorizações contínuas de forma a não exporem as crianças a situações de risco. É importante também melhorar os sistemas de renovação de ar para que sejam mais eficazes e eficientes. No entanto, o comportamento e as atitudes dos ocupantes dos edifícios precisam ser modificados, e.g., desenvolver o simples hábito de abrir frequentemente as janelas.

Atualmente questiona-se a reestruturação do parque escolar, sobretudo aumentando o número de alunos por turma. Considerando que o CO₂ resulta essencialmente do metabolismo biológico dos seres vivos, os decisores dessa política devem perceber que, se aumentarmos a lotação das salas, aumentamos o CO₂ e, conseqüentemente, os problemas de saúde.

É preciso intensificar esforços no desenvolvimento de metodologias dos fatores determinantes e condicionantes dos poluentes do ar que interferem na saúde humana, que poderão criar ferramentas eficazes no âmbito da saúde pública, contribuindo para a elaboração de políticas voltadas para a qualidade do ar. Da mesma forma, é preciso estabelecer programas de controle e prevenção das conseqüências para a saúde dos ocupantes desses ambientes.

O desenvolvimento de outros estudos avaliando o impacto dos poluentes do ar sobre a saúde da população deve ser estimulado para contribuir com medidas adequadas de saúde ambiental nos edifícios.

¹ Viegas J, Papoila Al, Martins P, Aelenei D, Cano M, Proença C, et al. Ventilação, qualidade do ar e saúde em creches e infantários resultados preliminares do Projeto ENVIRH. Seção reabilitação, ambiente interior, conforto e energia. 4º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal, dez 2012.

REFERÊNCIAS

1. Al-Rashidi K, Loveday D, Al-Mutawa N. Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms. *Energy Build.* 2012; 47:540-9. DOI:10.1016/j.enbuild.2011.12.030
2. Almeida SM, Canha N, Silva A, Freitas MC, Pegas P, Alves C, et al. Children exposure to air particulate matter in indoor of Lisbon primary schools. *Atmos Environ.* 2010;45:7594-9. DOI:10.1016/j.atmosenv.2010.11.052
3. Daisey JM, Angell WJ, Apte MG. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air.* 2003;13(1):53-64. DOI:10.1034/j.1600-0668.2003.00153.
4. Freitas MC, Canha N, Martinho M, Silva M, Almeida S, Pegas P, et al. Indoor Air quality in primary schools. In: Modoveanu A, editor. *Advanced topics in environmental and air pollution case studies.* Rijeka: InTech Europe; 2011. p. 361-84.
5. Godoi RHM, Avigo DJ, Campos VP, Tavares TM, Marchi MRR, Grieken R, et al. Indoor air quality assessment of elementary schools in Curitiba, Brazil. *Water Air Soil Pollut Focus.* 2009;9(3-4):171-7. DOI:10.1007/s11267-009-9220-3
6. International Study of Asthma and Allergies in Childhood. Worldwide variation in prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and atopic eczema: ISAAC. The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Steering Committee. *Lancet.* 1998;351(9111):1225-32. DOI:10.1016/S0140-6736(97)07302-9
7. Kim JL, Elfman L, Mi Y, Johansson M, Smedje G, Norback D. Current asthma and respiratory symptoms among pupils in relation to dietary factors and allergens in the school environment. *Indoor Air.* 2005;15(3):170-82. DOI:10.1111/j.1600-0668.2005.00334.x
8. Kotzias D, Geiss O, Tirendi S, Barrero-Moreno J, Reina V, Gotti A. Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens - The European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Study (AIRMEX). *Fresenius Environ Bull.* 2009;18(5):670-81.
9. Mendell M, Heath G. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air.* 2005;15(1):27-52. DOI:10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x
10. Mumovic D, Palmer J, Davies M, Orme M, Ridley I, Oreszczyn T, et al. Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built schools in England. *Build Environ.* 2009;44(7):1466-77. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.06.014
11. Pegas PN, Evtugina MG, Alves CA, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M, et al. Outdoor/Indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study. *Quim Nova.* 2010;33(5):1145-9. DOI:10.1590/S0100-40422010000500027
12. Pegas PN, Alves CA, Evtugina MG, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M, et al. Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon. *J Environ Monit.* 2011;13(3):657-67. DOI:10.1039/c0em00472c
13. Pegas PN, Nunes T, Alves CA, Silva JR, Vieira SLA, Caseiro A, et al. Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal. *Atmos Environ.* 2012;55:80-9. DOI:10.1016/j.atmosenv.2012.03.059
14. Shusterman D, Murphy MA. Nasal hyperreactivity in allergic and non-allergic rhinitis: a potential risk factor for non-specific building-related illness. *Indoor Air.* 2007;17(4):328-33. DOI:10.1111/j.1600-0668.2007.00482.x
15. Sundell J. On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air.* 2004. 14 Suppl7:51-8. DOI:10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x

Os autores declaram não haver conflito de interesses.