

## Qualidade do ar interior em jardins-de-infância: relação entre os parâmetros ambientais e os níveis de ocupação dos espaços

### Indoor air quality in kindergartens: the relationship between environmental parameters and levels of occupation of spaces

Santos, Joana<sup>a</sup>; Aguiar, Mafalda<sup>a</sup>; Carvalhais, Carlos<sup>b</sup>; Pereira, Cristiana<sup>b</sup>; Fernandes, Anabela<sup>c</sup>; Silva, Manuela<sup>a</sup>; Baptista, João<sup>d</sup>; Teixeira, João<sup>b</sup>

<sup>a</sup> CISA/ESTSP, Rua Valente Perfeito, 322 4400-330 Vila Nova de Gaia PORTUGAL, jds@estsp.ipp.pt ; mso@estsp.ipp.pt; m.silva@eu.ipp.pt

<sup>b</sup> DSA UASO P/ INSA, Rua Alexandre Herculano, 321 4000-055 Porto PORTUGAL, cristina.pereira@insa.min-saude.pt ; joao.teixeira@insa.min-saude.pt;

<sup>c</sup> USP/ACES MAIA, ANABELAF@CSMAIA.MIN-SAUDE.PT

<sup>d</sup> CIGAR/FEUP, R. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto PORTUGAL, jsbap@fe.up.pt

#### RESUMO

Os edifícios escolares são espaços com características específicas, onde a garantia de condições de trabalho saudáveis é fundamental para a aprendizagem e bem-estar dos ocupantes. Contudo, os novos padrões arquitectónicos têm potenciado o aparecimento de edifícios mais herméticos, com reduzidas taxas de ventilação e problemas relacionados com a qualidade do ar interior (QAI). Com a recente legislação, adoptaram-se valores de referência para os parâmetros químicos e microbiológicos. A concentração de CO<sub>2</sub> e microrganismos viáveis pode dar uma boa indicação da eficiência da ventilação. Neste âmbito, efectuou-se um estudo que teve como objectivos relacionar as concentrações de CO<sub>2</sub> e microrganismos viáveis com os níveis de ocupação e eficiência da ventilação de salas de aulas. A quantificação dos parâmetros ambientais baseou-se na caracterização estrutural e de funcionamento do edifício. As amostragens foram efectuadas na Primavera, em nove salas de aula de quatro jardins-de-infância (JI) com diferentes tipos de construção. Os resultados demonstraram que os JI recentes apresentaram concentrações médias de CO<sub>2</sub> superiores às verificadas nos JI do "plano centenário", atingindo valores máximos de 3400 ppm nos períodos de ocupação. Obtiveram-se concentrações elevadas de bactérias gram positivas nos JI de construção recente, que podem estar relacionadas com a sobrelotação dos espaços e ventilação insuficiente. Os valores de velocidade do ar também revelam a constante estagnação do ar nos espaços. O aumento das taxas de ventilação e sensibilização dos ocupantes são medidas chave para a melhoria da QAI. Contudo, é na fase de projecto do edifício que devem surgir preocupações com a QAI.

**Palavras-chave:** *Qualidade do ar interior, parâmetros ambientais, jardins-de-infância, tipo de construção*

#### ABSTRACT

School buildings are spaces with specific characteristics where the guarantee of healthy working conditions are crucial for learning and welfare of the occupants. However, the new architectural standards have enhanced the appearance of buildings more airtight, with reduced ventilation rates and problems related to indoor air quality (IAQ). With the new regulation were adopted reference values for chemical and microbiological parameters. The concentration of CO<sub>2</sub> and microorganisms can give a good indication of the efficiency of ventilation. In this context, was carried out a study which aims was to correlate the concentrations of CO<sub>2</sub> and microorganisms with occupant density and efficiency of ventilation in classrooms. The quantification of environmental parameters was based on structural characterization and operation of the building. Samples were taken in Spring in nine classrooms in four kindergartens with different construction types. The results showed that the new kindergartens had average concentrations of CO<sub>2</sub> higher than those found in old ones, maximum values around 3400 ppm when in use. The concentrations values of gram positive bacteria in the new kindergartens, which may be related to overcrowding and insufficient ventilation of the spaces. The values of air velocity also showed the air stagnation. The increased of ventilation rates and awareness of occupants are key measures for improving IAQ. However, is in the design phase of the building that should emerge the concerns with IAQ.

**Keywords:** *Indoor air quality, environmental parameters, kindergartens, type of construction*

#### 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar que respiramos no interior dos edifícios é um factor determinante da saúde e bem-estar [1]. Estudos desenvolvidos pela U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA), indicam que os níveis de poluentes no interior de edifícios podem ser duas a cinco vezes – e, ocasionalmente, mais de 100 vezes - superiores aos níveis exteriores. Estes níveis de contaminação revestem-se de especial importância, quando se tem em consideração que a sociedade moderna passa cerca de 80-90% do seu tempo [2] em ambientes fechados. As causas da poluição do ar interior são uma combinação de factores físicos, químicos e biológicos, estando também relacionadas com a adequação da ventilação. Um grupo particularmente sensível à poluição do ar interior são as crianças. Estas respiram maior volume de ar por unidade de peso corporal e apresentam pulmões e tecidos pouco desenvolvidos [3]. Uma análise da exposição destes indivíduos à poluição do ar interior deve ter em consideração as fontes interiores de poluentes, o design do edifício e os sistemas de ventilação. Os novos padrões arquitectónicos e as actuais preocupações na redução dos custos energéticos têm potenciado o aparecimento de edifícios mais herméticos, com maior recirculação de ar e menor entrada de ar exterior [4]. Estas tendências aplicam-se também aos edifícios escolares, onde as crianças passam cerca de 30% do seu tempo. Geralmente, estas instituições apresentam problemas relacionados com a má qualidade da construção, deficiente ventilação, existência de humidade, inadequados processos de limpeza e sobrelotação das salas, que contribuem para uma pobre Qualidade do Ar Interior (QAI). Esta situação pode acarretar uma grande variedade de problemas de saúde e afectar o conforto, concentração e rendimento de crianças (grupo susceptível) e profissionais [5]. Alguns organismos nacionais e internacionais estabeleceram programas e orientações que

visam melhorar as condições ambientais deste tipo de edifícios. São exemplos de referência, o “Programa Nacional de Saúde Escolar: 2004-2010” do Ministério da Saúde português e o programa “*Indoor Air Quality Tools for Schools* (IAQ TFS)” criado pela EPA. Convém, ainda, referir outros documentos de carácter geral, que revelam a preocupação crescente em torno desta temática, como o plano “*Environment and Health Strategy launched the Environment and Health Action Plan (2004-2010)*” da Comissão Europeia (CE), as recentes orientações publicadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) - “*WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*” e o documento “*Parma Declaration on Environment and Health*” da mesma entidade. Em Portugal, além do programa referido anteriormente, foi publicado o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) que estabelece as concentrações máximas de referência (CMR) de poluentes no interior dos edifícios. Tendo em consideração que os estabelecimentos de ensino devem oferecer condições de trabalho e conforto adequadas e que são necessários dados mais precisos sobre a QAI destes locais [6], foi efectuado um estudo que teve como objectivos a avaliação de parâmetros ambientais em quatro jardins-de-infância com tipos de construção diferente (construídos no “plano centenário” e de construção recente) e a sua influência na QAI.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O referido estudo foi realizado em jardins-de-infância localizados no concelho da Maia, sendo que dois foram construídos no “plano centenário” e os restantes são de construção recente. Este concelho apresenta um parque escolar público constituído por sete estabelecimentos de ensino que funcionam exclusivamente como jardins-de-infância. A escolha da amostra prendeu-se, essencialmente, com facto de os estabelecimentos de ensino apresentarem o mesmo tipo de actividades escolares. Foram avaliadas um total de nove salas de aula durante um dia normal de actividades lectivas.

### 2.1. Caracterização das condições estruturais dos jardins-de-infância

Para a caracterização das condições estruturais foi elaborada uma lista de verificação que apresenta como principais campos de análise: condições gerais de instalação, tipo de actividades desenvolvidas, tipo de sistema de ventilação, nº de ocupantes e identificação de potenciais fontes de poluição interior e exterior.

### 2.2. Avaliação dos parâmetros ambientais

Numa primeira fase determinaram-se os pontos de amostragem, tendo em consideração o *layout* das salas de aula, a localização de portas e janelas e a existência de fontes de contaminação interior. A medição dos parâmetros térmicos – temperatura do ar e humidade relativa do ar – bem como a determinação das concentrações de CO<sub>2</sub>, realizou-se em contínuo durante o período de actividades lectivas e foi efectuada através do equipamento de leitura directa IAQ-CALCTM- Modelo 8762. Na avaliação microbiológica do ar procedeu-se à quantificação de microrganismos mesófilos totais a 37°C (*Tripticase Soy Agar*), bactérias gram positivas (*Manitol Salt Agar*) e gram negativas (*MacConkey Broth*), utilizando o equipamento de recolha de ar MAS 100 (MERCK), regulado para um volume de 100 l e 250 l. Foram seleccionados dois pontos de amostragem por sala e efectuadas avaliações em dois períodos do dia (manhã e tarde). Importa referir que a amostragem e análise de microrganismos viáveis, teve em consideração método 0800 – *Bioaerosol Sampling (Indoor Air)* – da *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH).

Durante as medições foram registadas todas as alterações de funcionamento das salas de aula, nomeadamente, variação do número de ocupantes, tipo de actividades desenvolvidas, abertura e fecho de portas e janelas e procedimentos de limpeza. Na análise e interpretação dos resultados foram utilizados os valores de referência estabelecidos no Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril, Decreto-lei n.º 243/86 de 20 de Agosto, ASHRAE Standard 62.1 2004 e as recomendações *Indoor Air Quality Association* (IAQA).

### 2.3. Análise estatística

O tratamento e análise dos dados envolveu estatística descritiva, com análise de médias aritméticas e desvios padrões. A distribuição das variáveis estudadas foi comparada com a distribuição normal através do teste Kolmogorov-Smirnov. Para verificar se existiam diferenças significativas entre os tipos de construção para o parâmetro CO<sub>2</sub> utilizou-se o teste-t para amostras independentes. No procedimento de análise e tratamento dos dados foram utilizados os programas *Microsoft Excel* e o *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) – versão 17.0.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentadas as principais características dos espaços avaliados. De modo a manter a confidencialidade dos dados, os jardins-de-infância do “plano centenário” foram codificados como JI-A e JI-B e os recentes como JI-C e JI-D. Nos gráficos da Figura 1 encontram-se os resultados relativos às variações das concentrações de CO<sub>2</sub> no interior da sala de aula do JI-B e de uma sala de aula do JI-C.

Tabela 1: Principais características dos espaços avaliados

Jardins-de-infância	Ano de construção	Área (m <sup>2</sup> )	Nº ocupantes	Tipo de ventilação
A	1928	Sala 1 - 41 m <sup>2</sup>	Sala 1 - 25	Natural
		Sala 2 - 41 m <sup>2</sup>	Sala 2 - 17	
B	1982	Sala 1-110 m <sup>2</sup>	Sala 1 - 23	Natural
		Sala 1 - 47 m <sup>2</sup>	Sala 1 - 27	
C	2002	Sala 2 - 42 m <sup>2</sup>	Sala 2 - 17	Natural
		Sala 3 - 47 m <sup>2</sup>	Sala 3 - 21	
		Sala 1 - 49 m <sup>2</sup>	Sala 1 - 23	
D	2005	Sala 2 - 49 m <sup>2</sup>	Sala 2 - 7	Inexistente
		Sala 3 - 45 m <sup>2</sup>	Sala 3 - 25 (manhã)	

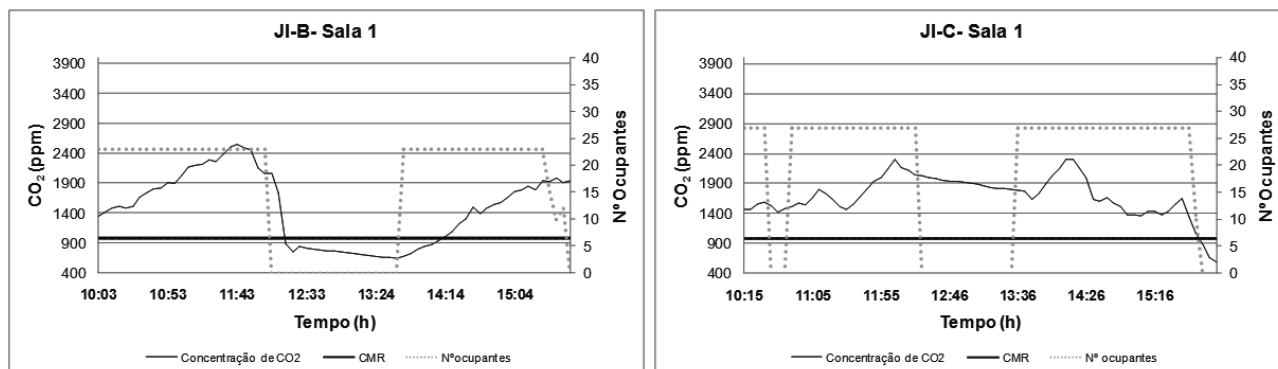


Figura 1: Variações da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo do dia

Como pode ser observado nos gráficos da Figura 1, na sala de aula do JI-B as concentrações de CO<sub>2</sub> mantiveram-se acima da Concentração Máxima Recomendada (CMR) (984 ppm) nos períodos da manhã e da tarde. Contudo, verificou-se um decréscimo acentuado no intervalo para almoço, após a saída dos ocupantes e abertura de portas. Considerando que este agente é um bom indicador da eficiência da ventilação [7], os resultados evidenciaram que, durante a permanência dos ocupantes, as taxas de ventilação eram insuficientes para garantir concentrações de CO<sub>2</sub> aceitáveis. No caso da sala de aula do JI-C, apesar de se verificar uma diminuição dos níveis de CO<sub>2</sub> nos períodos de interrupção das actividades escolares (durante o intervalo de almoço), as concentrações mantêm-se sempre acima da CMR, o que indicia uma permanente inadequação da ventilação deste espaço. Este jardim-de-infância apresenta janelas de grandes dimensões, no entanto, estas mantêm-se, apenas, parcialmente abertas durante o horário escolar, dado que promovem a ocorrência de correntes de ar que interferem com actividades desenvolvidas. Além disso, devido à falta de sensibilização dos educadores para a necessidade de arejar os espaços, as janelas são ocupadas com cartazes e trabalhos das crianças, o que também dificulta a sua abertura.

De um modo geral, tanto nos jardins-de-infância do “plano centenário” como nos de construção recente, verificou-se que as concentrações médias de CO<sub>2</sub> foram mais elevadas durante os períodos de maior ocupação (variando entre 857±317 ppm e 1696±497 ppm respectivamente) e menores durante a ausência de ocupantes, (variando entre 636±137 ppm e 1663±446 ppm respectivamente). Estes resultados revelam que, de facto, a ocupação humana pode influenciar as concentrações de CO<sub>2</sub> em ambientes interiores [8].

A Figura 2 apresenta os resultados relativos às concentrações médias de CO<sub>2</sub> em todas as salas de aula avaliadas. Como se pode verificar, apenas uma sala cumpriu com o valor de referência estabelecido na legislação nacional. Além disso, a generalidade dos espaços avaliados apresentaram diferenças superiores a 700 ppm entre o interior e o exterior [9]. Este resultado é semelhante ao obtido por Zuraimi *et al.* (2008).

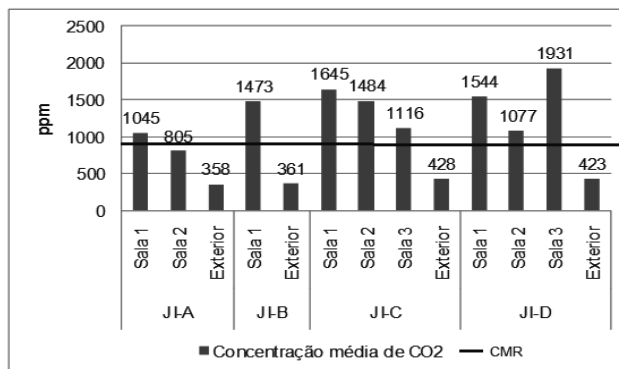


Figura 2: Concentrações médias de CO<sub>2</sub> no interior e exterior das salas de aula

Analisando os jardins-de-infância por tipo de construção, constatou-se que os de construção recente apresentaram concentrações médias de CO<sub>2</sub> significativamente superiores ( $p < 0,01$ ) às encontradas nos jardins-de-infância do “plano centenário”. Estes resultados podem indicar que os edifícios recentes apresentam taxas de ventilação insuficientes, o que pode estar relacionado com quatro factores: concepção inadequada dos espaços (inexistência de janelas ou sistemas de ventilação mecânica), necessidade de manter portas e janelas fechadas devido ao ruído proveniente de outras salas ou ruído exterior e falta de sensibilização dos educadores para a problemática da QAI. Pode ainda referir-se que, a sobrelotação das salas de aula pode também estar na origem das concentrações obtidas, já que, na maioria das salas, é ultrapassado o valor padrão referido pela ASHRAE Standard 62.1 2004 (25 ocupantes/100m<sup>2</sup>).

Os gráficos da Figura 3 apresentam os resultados relativos à concentração de microrganismos mesófilos totais a 37°C, bactérias gram positivas e gram negativas presentes no ar interior da sala de aula do JI-B e de uma sala de aula do JI-C. Através da análise dos gráficos podemos constatar que, de um modo geral, ocorreu uma diminuição da concentração de todos os agentes microbiológicos avaliados no período da tarde. O arejamento

da sala no período de pausa poderá justificar em parte os resultados obtidos. Deste modo, além da ocupação humana [10], também a ventilação insuficiente dos espaços pode ter tido um papel importante nas concentrações detectadas.

No gráfico da Figura 4 encontram-se os resultados obtidos para as concentrações médias de microrganismos viáveis em todos os jardins-de-infância estudados. Tendo em consideração a CMR preconizada na legislação portuguesa (500 UFC/m<sup>3</sup>), verificou-se que nenhum jardim-de-infância cumpriu com este requisito. Os jardins-de-infância do “plano centenário” apresentaram concentrações médias de microrganismos mesófilos totais a 37°C, bactérias Gram positivas e negativas inferiores às detectadas nos jardins-de-infância recentes. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Yang *et al.* (2009), que estudaram QAI em edifícios escolares com menos de ano, entre 1 a 5 anos e com mais de 10 anos e obtiveram concentrações médias de microrganismos viáveis totais superiores nos jardins-de-infância de construção mais recente. A sobrelotação da maioria das salas, bem como as inadequadas condições de ventilação destes jardins-de-infância, podem ter estado na origem dos resultados obtidos.

Como se pode verificar através dos gráficos da Figura 5, existe uma homogeneidade entre as temperaturas médias do ar interior em todas as salas de aula (18,6°C-20,7°C). Como o estudo foi realizado na Primavera, não se considerou correcto seguir estritamente os critérios de conforto Verão/Inverno. Assim, optou-se por comparar os resultados com o Decreto-lei n.º 243/86 de 20 de Agosto (18°C-22°C). Constatou-se que os valores obtidos se enquadram na gama proposta por este diploma. Relativamente aos resultados obtidos para humidade relativa do ar, verificou-se que os valores médios oscilam entre os 42,5% (Sala 2 – JI-C) e os 64,3% (Sala 3 – JI-D). Neste caso, em todas as salas do JI-C, os valores obtidos encontram-se abaixo do limite inferior da gama recomendada pelo Decreto-lei n.º 243/86 de 20 de Agosto (50%-70%). Por outro lado, comparando os resultados com os valores estabelecidos pela IAQA (30%-60%), constata-se que nas salas 1 e 3 do JI-D obtiveram-se valores superiores ao limite superior que esta entidade recomenda. Esta situação pode levar ao desconforto de parte dos ocupantes, tendo implicações ao nível seu desempenho.

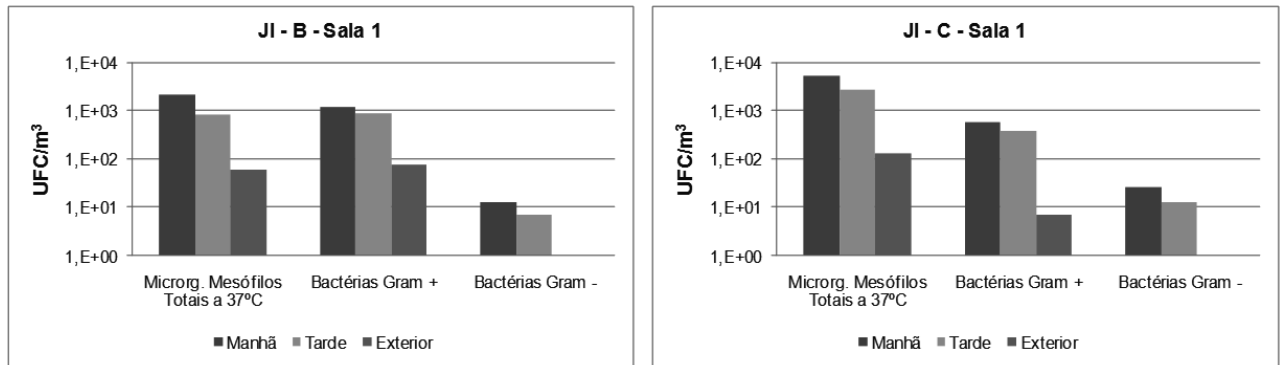


Figura 3: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e no exterior

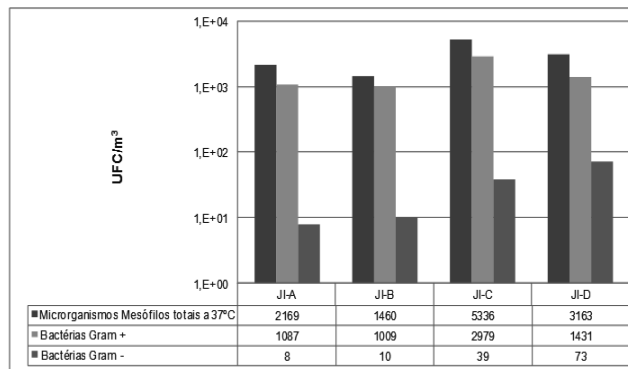


Figura 4: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos por jardim-de-infância

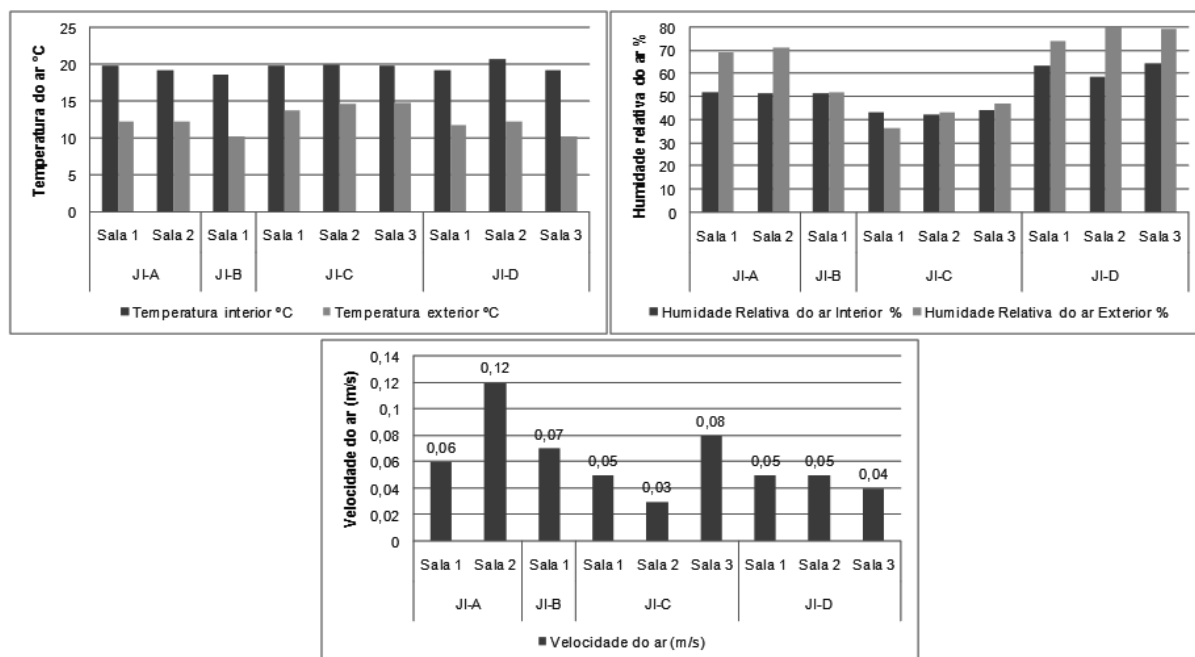


Figura 5: Valores médios dos parâmetros térmicos

Além disso, a humidade relativa do ar é um factor que afecta os níveis de poluentes no ar interior [3]. Através da análise dos valores de velocidade do ar, verificou-se, igualmente, uma uniformidade (variaram entre 0,05 m/s e 0,08 m/s). Os valores de velocidade média do ar encontrados nos diferentes espaços estão abaixo do limite legalmente estabelecido (<0,2 m/s) e, portanto, cumprem com a legislação nacional. No entanto, estes encontram-se no limiar da zona de conforto definido pela IAQA (0,05 m/s), o que indicia a existência de constante estagnação do ar devido a problemas de ventilação dos espaços.

#### 4. CONCLUSÕES

Os estabelecimentos de ensino representam um grupo de edifícios nos quais é fundamental garantir uma QAI adequada, dada a especificidade dos seus ocupantes e objectivos a que se propõem. As novas tendências estéticas/arquitectónicas levaram à construção de edifícios escolares com características que podem, caso as estruturas implementadas não funcionem correctamente, originar problemas sérios relacionados com a QAI. Os resultados do presente estudo demonstraram que os jardins-de-infância de construção recente apresentaram concentrações médias de CO<sub>2</sub> superiores (entre 1695-1931 ppm) às obtidas nos jardins-de-infância construídos no plano centenário (entre 805-1473 ppm), verificando-se que mesmo na ausência total de ocupantes as taxas de ventilação não eram suficientes para manter este agente em concentrações aceitáveis. Relativamente aos parâmetros microbiológicos, as elevadas concentrações de bactérias gram positivas reflectem a sobrelotação dos espaços, bem como as reduzidas taxas de ventilação, nomeadamente, nos edifícios de construção recente. Os valores de velocidade do ar também indiciam situações de estagnação de ar, evidenciando mais uma vez a deficiente ventilação. A análise das condições estruturais, de funcionamento e a avaliação dos parâmetros ambientais nos diferentes tipos de construção revelou que as novas construções apresentam maiores problemas de QAI que as construções do “plano centenário”. Deve, portanto, proceder-se à revisão das taxas de ocupação dos espaços, bem como, à sensibilização dos educadores e auxiliares para a importância desta temática. Este estudo demonstrou ainda que é fundamental na fase de concepção e construção de edifícios ter em consideração a sua futura utilização, de modo a garantir condições de ventilação adequadas. Factores como a orientação das fachadas, exposição solar, isolamento térmico não devem ser descurados, na medida em que têm impacto na QAI e podem ser responsáveis por situações de desconforto por parte dos ocupantes.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OMS (2009). WHO Guidelines for Indoor Air Quality - Dampness and Mould. Consultada em Janeiro 2010, em [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43325/E92645.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf)
- Ashmore, M.R. e Dimitroulopoulou, C. (2009). Personal exposure of children to air pollution. *Atmospheric Environment*, 43, 128-141.
- EPA (2009). Indoor Air Quality Tools for Schools - Reference Guide. Consultada em Dezembro, 2009, em [http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/kit/reference\\_guide.pdf](http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/kit/reference_guide.pdf)
- Lai, A.C.K., Mui, K. W., Wong, L.T. e Law, L.Y. (2009). An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. *Energy and Buildings*, 41, 930-936.
- Bernstein, J.A., Alexis N., Bacchus, H., Bernstein, I.L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A. e Tarlo, S.M. (2008). The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121, 585-591.
- Clements-Croome, D. J., Awbi, H.B., Bakó-Biró, Zs, Kochhar, N. e Williams, M. (2008). Ventilation rates in schools. *Building and Environment*, 43, 362-367.
- Heudorf, U., Neitzert, V. e Spark, J. (2009). Particulate matter and carbon dioxide in classrooms - The impact of cleaning and ventilation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212, 45-55.

- Fromme, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B. e Rüden, H. (2007). Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*, 41, 854-866.
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2004). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.
- Zuraimi, M. S. e Tham, K. W. (2008). Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers. *Atmospheric Environment*, 42, 2225–2239.
- Kalogerakis, N., Paschali, D., Lekaditis, V., Pantidou, A., Eleftheriadis, K., Lazaridis, M. (2005). Indoor air quality—bioaerosol measurements in domestic and office premises. *Journal of Aerosol Science*. 36: 751–761.
- Yang, W., Shon, J., Kim, J., Son, B. e Park, J. (2009). Indoor air quality investigation according to age of school buildings in Korea. *Journal of Environmental Management*. 90: 348-354.
- Santos, Joana (2010). Qualidade do ar interior em jardins-de-infância: monitorização de Compostos Orgânicos Voláteis. *Apresentação oral*. ESTSP/IPP 2010-09-24. Congresso Internacional da Saúde Gaia-Porto.