

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E

HIGIENE OCUPACIONAIS



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM JARDINS-DE-INFÂNCIA

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre

Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Joana Carvalho dos Santos

Outubro de 2010

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE
OCUPACIONAIS



Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM JARDINS-DE-INFÂNCIA

Joana Carvalho dos Santos

Orientador: Professor Doutor: João Paulo Fernandes Teixeira

Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge-Porto

Co-orientador: Professor Doutor: João Manuel Abreu dos Santos Baptista

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Outubro de 2010



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654

☎ Telephone: +351 22 508 14 00

☎ Fax: +351 22 508 14 40

🌐 URL: <http://www.fe.up.pt>

✉ Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho só foi possível com o apoio de várias pessoas, a quem quero agradecer especialmente:

Ao meu orientador Professor Doutor João Paulo Teixeira, pela sua orientação, disponibilidade e apoio, fundamentais à realização deste trabalho;

Ao meu co-orientador Professor Doutor João Santos Baptista, pela sua disponibilidade, apoio e simpatia,

À Mestre Anabela Fernandes por toda a simpatia, disponibilidade e apoio que sempre demonstrou ao longo da realização deste trabalho;

À Dr.^a Cristiana Pereira pela sua ajuda e disponibilidade;

À Mestre Manuela Vieira da Silva, por acreditar em mim;

A todo gabinete de Saúde Ambiental da Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, Mafalda Nunes, Marisa Freitas, Matilde Rodrigues, Mafalda Aguiar, Andreia Rebelo, por todo o apoio e carinho;

Ao Carlos Carvalhais, um agradecimento muito especial;

A todos os meus amigos que apoiam-me desde sempre, Juliana Ferreira, Sílvia Santos, Ana Xavier, Filipe Dias, Catarina Ramos, Alexandra Duarte, Hélder Martins, Juliana Rocha, Irina Lourenço;

Ao João Gonçalves, pela ajuda e paciência;

À Georgina Santos, e a todas as minhas mais que antigas colegas de trabalho, pelo carinho que sempre demonstraram;

Aos meus pais, pelo amor, carinho e por terem possibilitado que chegasse até aqui.

À minha família, avó, tias, tios, primos e primas que sempre me ajudaram e incentivaram.

Resumo

A problemática da Qualidade do Ar Interior tem despertado o interesse da comunidade científica e do público em geral. As escolas e jardins-de-infância 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 e as actuais preocupações com a redução dos custos energéticos, aplicáveis a todo o tipo de edifícios, têm potenciado o aparecimento de edifícios mais herméticos, com reduzidas taxas de ventilação. Em Portugal, desde de 2006, com a publicação do Decreto de Lei nº 79/2006 de 4 de Abril, adoptaram-se valores de concentração máxima de referência para parâmetros químicos e microbiológicos, potencialmente presentes no ar interior de edifícios.

Neste âmbito efectuou-se um estudo que objectivou caracterizar a qualidade do ar interior de nove salas de aula de quatro jardins-de-infância com tipos de construção diferente (centenários e recentes), localizados no concelho da Maia.

Procedeu-se à monitorização de parâmetros ambientais, nomeadamente, dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas em suspensão, compostos orgânicos voláteis totais, bactérias, fungos, temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar e à análise dos factores responsáveis pelas suas variações ao longo do dia. A quantificação destes parâmetros envolveu a utilização de equipamentos de leitura directa e métodos activos de amostragem de ar.

Na generalidade os resultados obtidos demonstraram que as condições de ventilação inadequadas são responsáveis pela acumulação de poluentes do ar interior em todos os locais avaliados. Contudo, também a ocupação e as actividades escolares foram identificadas como determinantes da qualidade do ar interior. As concentrações de dióxido de carbono e partículas suspensas no ar foram mais elevadas nos períodos de maior ocupação. Foram detectadas elevadas concentrações de bactérias Gram positivas e Gram negativas nos jardins-de-infância recentes que revelam a sobrelotação dos espaços e ventilação insuficiente. A concentração de fungos revelou o impacto da envolvente e dos problemas de infiltrações. Os géneros mais frequentes foram *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Aspergillus spp.* e *Alternaria spp.*

Os jardins-de-infância recentes apresentam maiores problemas de qualidade do ar interior que os de construção centenária. O aumento das taxas de ventilação e a sensibilização dos ocupantes representam regras chave para a melhoria da qualidade do ar interior neste tipo de construção.

Palavras-chave: Qualidade do Ar Interior, poluentes do ar interior, jardins-de-infância, tipo de construção.

Abstract

The issue of indoor air quality has attracted the interest of the scientific community and the general public. The schools and kindergartens are spaces with specific characteristics, where the guarantees of healthy working conditions are crucial for and the welfare and learning activities of the occupants. However, the new architectural standards and the current energy reducing costs concerns, applicable to all types of buildings have enhanced more airtight buildings more airtight, with low rates of ventilation. In Portugal, since 2006, with the publication of Decree Law No. 79/2006 of April 4 were adopted reference concentration levels for chemical and microbiological parameters, potentially present in buildings indoor air.

In this context a study was carried out aiming characterize the indoor air quality of nine classrooms of four kindergartens with different types of construction (centenarians and recent), located in the municipality of Maia.

The monitoring of environmental parameters, including carbon dioxide, carbon monoxide, suspended particles, total volatile organic compounds, bacteria, fungi, air temperature, relative humidity and air velocity and analysis of the factors responsible for their variations over days, was carried out. The quantification of these parameters involved the use of direct reading equipment and active methods of air sampling.

In general the results showed that poor ventilation are responsible for the accumulation of indoor air pollutants at all sites measured. However, also the occupation and school activities have been identified as determinants of indoor air quality. Concentrations of carbon dioxide and airborne particles were higher in the busiest periods. A high concentration of Gram positive and Gram negative bacteria in the recent kindergartens were detected, revealing overcrowding and insufficient ventilation of the spaces. The concentration of fungi revealed the impact of the environment and the problems of infiltration. The most common genera were *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Aspergillus spp.* and *Alternaria spp.*

The recent buildings show higher indoor air quality problems that the centenarian ones. The increase in ventilation rates and occupant awareness represent key rules to improve indoor air quality in this type of construction.

Keywords: indoor air quality, indoor air pollutants, kindergartens, type of construction.

Índice Geral

CAPITULO I . INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS DO ESTUDO.....	1
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Relevância e objectivos do estudo	3
CAPITULO II . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2. QUALIDADE DE AMBIENTES INTERIORES	6
2.1. Qualidade do Ar Interior: fontes de poluição do ar interior	6
2.2. Síndrome do Edifício Doente	9
2.3. Poluentes do ar interior e os efeitos na saúde	11
2.3.1. Poluentes químicos.....	12
2.3.1.1. Partículas ou aerossóis em suspensão no ar.....	12
2.3.1.2. Dióxido de carbono	15
2.3.1.3. Monóxido de Carbono	16
2.3.1.4. Ozono	17
2.3.1.5. Compostos Orgânicos Voláteis.....	19
2.3.1.6. Formaldeído.....	22
2.3.1.7. Radão	23
2.3.2. Poluentes biológicos	24
2.3.2.1. Bactérias.....	24
2.3.2.2. Fungos.....	26
2.3.3. Agentes físicos	29
2.3.3.1. Ambiente térmico	29
2.4. Enquadramento legal.....	30
2.5. A problemática da QAI em edifícios escolares.....	31
2.5.1. Prevenção e controlo da QAI em edifícios escolares	33
2.5.2. Projectos de Investigação de QAI em edifícios escolares	33
CAPITULO III . METODOLOGIA	35
3.1. AMOSTRA	36
3.1.1. Jardins-de-Infância	36
3.2. MÉTODOS.....	36
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS A AVALIAR	37
3.3.1. Ficha de caracterização	37
3.3.2. Ficha de recolha de informação	38
3.4. MONITORIZAÇÃO DA QAI	39
3.4.1. Equipamentos de medição e técnicas de amostragem e análise	39
3.5. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	41

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
CAPITULO IV . RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS JARDINS-DE-INFÂNCIA ESTUDADOS	44
4.2. MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL	45
4.2.1. Análise da concentração de CO ₂	45
4.2.2. Análise da concentração de CO.....	49
4.2.3. Análise da concentração de PM ₁₀	52
4.2.4. Análise da concentração de Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)	56
4.2.5. Análise da concentração de microrganismos viáveis no ar interior.....	58
4.2.5.1. Identificação de fungos.....	63
4.2.6. Análise dos parâmetros térmicos	65
4.2.6.1. Temperatura do ar.....	65
4.2.6.2. Humidade Relativa	65
4.2.6.3. Velocidade do ar	66
CAPITULO V - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	68
5.1. CONCLUSÕES	69
5.2. TRABALHOS FUTUROS.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS.....	1
ANEXO I . Ficha de Caracterização	2
ANEXO II . Recolha de Informação	6

Índice de tabelas

Tabela 1: Principais agentes e factores que afectam a QAI e respectivas fontes	8
Tabela 2: Influência da concentração de CO no ar na concentração de COHb no sangue	17
Tabela 3: Classificação dos COVs em espaços interiores	20
Tabela 4: COVs e as suas principais fontes	20
Tabela 6: Classificação dos microrganismos de acordo com os níveis de humidade.....	27
Tabela 7: Valores de referência nacionais para os parâmetros químicos, biológicos e térmicos da QAI	31
Tabela 8: Características dos edifícios escolares de construção centenária	37
Tabela 9: Características dos edifícios escolares de construção recente	38
Tabela 10: Meios de cultura, tempo e temperaturas de incubação dos parâmetros microbiológicos	40
Tabela 11: Equipamentos, métodos e técnicas de amostragem e análise.....	41
Tabela 12: Valores de referência nacionais e internacionais para parâmetros de QAI.....	42
Tabela 13: Dados sobre o funcionamento das salas de aula dos JI centenários	44
Tabela 14: Dados sobre o funcionamento das salas de aula dos JI recentes.....	44
Tabela 15: Concentrações médias de CO ₂ nos JI avaliados	48
Tabela 16: Concentrações médias de CO no interior e exterior dos JI	52
Tabela 17: Concentrações médias de PM10 nos JI	55
Tabela 18: Concentrações de COVT nas salas de aula AE e SAE.....	58
Tabela 19: Fungos mais frequentes no ar interior dos JI.....	64

Índice de figuras

Figura 1: Factores que condicionam a qualidade de ambientes interiores (adaptado de Martínez e Callejo, 2006).....	6
Figura 2: Carga de doença devido à poluição do ar interior na UE27 por fonte de poluição (em 1000 DALY/ano)	10
Figura 3: Carga da doença devido à poluição do ar interior na UE27 por poluente (em 1000 DALY/ano)	11
Figura 4: Diâmetro das partículas (PM_x) e a penetração no aparelho respiratório	14
Figura 5: Interação do O_3 com outros compostos químicos e os efeitos na saúde.....	19
Figura 6: Variações da concentração de CO_2 e número de ocupantes nos JI centenários.....	46
Figura 7: Variações de concentração de CO_2 e número de ocupantes nos JI recentes	47
Figura 8: Variações da concentração de CO e valores de temperatura do ar nos JI centenários	49
Figura 9: Variações da concentração de CO e valores de temperatura do ar nos JI recentes ..	51
Figura 10: Variações da concentração de PM_{10} nos JI centenários.....	53
Figura 11: Variações da concentração de PM_{10} nos JI recentes	54
Figura 12: Concentrações de COVT nas salas de aula CAE e SAE.....	56
Figura 13: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e exterior.....	59
Figura 14: Concentração médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e exterior.....	60
Figura 15: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e exterior.....	61
Figura 16: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos por JI	62
Figura 17: Problemas de infiltrações e contaminação fúngica de materiais de construção no JI-B (à esquerda) e no JI-D (à direita)	63
Figura 18: Fungos mais frequentes nos ambientes estudados.....	63
Figura 19: Fotografias dos fungos mais frequentes no interior dos JI.....	64
Figura 20: Valores médios de temperatura do ar interior e exterior dos JI	65
Figura 21: Valores médios de Humidade Relativa no interior e exterior dos JI	66
Figura 22: Valores de velocidade média do ar nos JI.....	67

Siglas

ANSI *É American National Standards Institute*

APA- Agência Portuguesa do Ambiente

ASHRAE- *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*

AVAC *É Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado*

CEN *É European Committee for Standardization*

ECA- *European Collaborative Action*

IAQA - *Indoor Air Quality Association*

IARC- *International Agency for Research on Cancer*

IEE- *Institute of Environmental Epidemiology*

IEQ - *Indoor Environmental Quality*

NIOSH- *National Institute of Occupational Safety and Health*

OMS- Organização Mundial de Saúde

QAI- Qualidade do ar interior;

SED- Síndrome do Edifício Doente

U.S. EPA- *United States Environmental Protection Agency*

CAPITULO I   INTRODU AO E OBJECTIVOS DO ESTUDO

1. INTRODUÇÃO

A garantia de um ar interior saudável é reconhecida como um direito básico. A qualidade do ar que respiramos no interior dos edifícios é um factor determinante da saúde e bem-estar (OMS, 2009).

A poluição do ar exterior foi alvo de vários estudos epidemiológicos que tentaram correlacionar as doenças respiratórias e outras patologias com os poluentes presentes na atmosfera. Contudo, grande parte da investigação desenvolvida actualmente, no âmbito da qualidade do ar, tem procurado identificar os poluentes existentes no interior de edifícios, as suas fontes e os efeitos na saúde (Franklin, 2007; Ashmore e Dimitroulopoulou, 2009). Foi a partir da década de setenta, como consequência da crise energética, que se procurou conservar a maior quantidade de energia, melhorando o isolamento e reduzindo a ventilação nos edifícios. Esta situação originou um aumento do risco da exposição aos contaminantes interiores, emitidos pelos materiais de construção e por todos os elementos presentes nos espaços (Martínez e Callejo, 2006).

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 grande parte da sua vida em ambientes fechados, cerca de 80-90% do seu tempo (Wang *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2007; Ashmore e Dimitroulopoulou, 2009; Herberger *et al.*, 2010). As causas da poluição do ar interior são uma combinação de factores físicos, químicos e biológicos, estando também relacionadas com a adequação da ventilação. Nos últimos anos, o número de queixas relacionadas com a QAI tem aumentado, contribuindo para isso diversos factores como o aumento da densidade de edifícios, o crescente uso de materiais sintéticos, as medidas de conservação de energia e a poluição do ar exterior (Ashmore e Dimitroulopoulou, 2009). As reacções a estes agentes podem conduzir a um fenómeno conhecido como Síndrome do Edifício Doente (SED) (APA, 2010).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) contabilizou a contribuição de vários factores de risco para o desenvolvimento de doenças e determinou que a poluição do ar interior é o 8º factor de risco mais importante, sendo responsável por 2,7% do conjunto de casos de doenças no Mundo (OMS, 2010). Também a EPA (2009) (através do *Science Advisory Board* (SAB)) classificou a poluição do ar interior entre os cinco principais riscos ambientais para a saúde pública.

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 (EPA, 2009). 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. Tendo em conta que as crianças, em idade escolar, passam cerca de

30% do seu dia na escola, torna-se pertinente a recolha de dados mais precisos sobre a QAI nestes locais, no sentido de minimizar/eliminar os potenciais riscos para a saúde (Mendell *et al.*, 2005; Fromme *et al.*, 2007; Clements-Croome *et al.*, 2008; Santamouris *et al.*, 2008; Heudorf *et al.*, 2009; Sonhe *et al.*, 2009). Neste âmbito, 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 OMS - "WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould" e o documento "Barma Declaration on Environment and Health" da OMS.

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). Este regulamento veio substituir o decreto-lei n.º 156/92 de 29 de Julho e transpõe parcialmente a Directiva n.º 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Este regulamento tem como principais objectivos: melhorar a eficiência energética global dos edifícios, impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar as suas prestações energéticas efectivas e garantir os meios para a manutenção de uma boa QAI e inspecionar com regularidade as práticas de manutenção de climatização como condição de eficiência energética e da qualidade do ar interior. Em 2009, foi publicada uma Nota Técnica (NT-SCE-02) (definida no n.º 3 do artigo 12º do Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril) que estabelece a metodologia de auditorias à QAI.

1.1. Relevância e objectivos do estudo

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 (Lai *et al.*, 2009). Estas tendências aplicam-se também aos edifícios escolares e jardins-de-infância, onde as crianças, particularmente sensíveis à poluição do ar interior, passam a grande parte do seu tempo.

Geralmente, estas instituições apresentam problemas relacionados com a má qualidade da construção, deficiente ventilação, existência de humidades, inadequados processos de limpeza e sobrelotação das salas, que contribuem para uma pobre 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 (Bernstein, 2008). Assim, tendo em consideração que os estabelecimentos de ensino devem oferecer condições de trabalho e conforto adequadas e que as novas construções apresentam vários problemas ao nível da QAI,

realizou-se um estudo que visa caracterizar a QAI de jardins-de-infância de acordo com o tipo de construção (centenários e recentes). O presente estudo tem ainda como objectivos:

- Monitorizar os parâmetros ambientais que afectam a QAI, nomeadamente, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão no ar (PM₁₀), compostos orgânicos voláteis totais (COVT), microrganismos viáveis, temperatura do ar (t_a), humidade relativa (HR) e velocidade do ar (v_{ar}) nos jardins-de-infância (JI) durante todo o horário escolar;
- Identificar e analisar os factores responsáveis pelas variações dos diferentes parâmetros ambientais ao longo do horário escolar;
- Analisar a influência das actividades escolares nas concentrações de COVT;
- Caracterizar a qualidade microbiológica do ar interior, procedendo à quantificação de microrganismos mesófilos totais a 37°C, bactérias Gram positivas, bactérias Gram negativas e quantificação e identificação de fungos;
- Comparar os resultados relativos aos parâmetros ambientais entre os diferentes tipos de construção;
- Propor medidas correctivas e/ou preventivas que minimizem ou eliminem a exposição a poluentes do ar interior.

Para atingir os objectivos propostos, foi efectuada uma revisão bibliográfica que aborda genericamente a problemática da qualidade de ambientes interiores, enfatizando a importância da QAI no bem-estar e conforto dos ocupantes em espaços interiores. Foram identificados os agentes químicos, biológicos e físicos que caracterizam o ar interior de edifícios e os respectivos efeitos na saúde decorrentes da exposição a estes agentes. Além disso, são identificados os principais factores que degradam a QAI em edifícios escolares, bem como, o seu impacto na comunidade escolar.

A pesquisa bibliográfica auxiliou na definição dos parâmetros ambientais a monitorizar nos jardins-de-infância e de que forma poderia ser efectuada a recolha de dados, assim como, a respectiva análise. Deste modo, foram seleccionados dois jardins-de-infância de construção centenária e dois de construção recente localizados no concelho da Maia. Estes apresentam o mesmo tipo de actividades e os mesmos objectivos pedagógicos, dado que as crianças se encontram na faixa etária dos 3 aos 5 anos. Os trabalhos decorreram nos meses de Fevereiro, Março e Julho e foram monitorizadas nove salas de aula durante o horário escolar, incluindo intervalos. A selecção dos jardins-de-infância contou com a participação da Unidade de Saúde Pública do Agrupamento de Centros de Saúde (ACES) da Maia e a componente laboratorial foi realizada no Departamento de Saúde Ambiental . Unidade de Ar e Saúde Ocupacional - Centro de Saúde Pública Doutor Gonçalves Ferreira do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, I.P.

2. QUALIDADE DE AMBIENTES INTERIORES

A qualidade de ambientes interiores (*Indoor Environmental Quality* - IEQ) é perturbada pela interação de agentes físicos (como a temperatura, a radiação solar, ruído entre outros), químicos (compostos orgânicos e inorgânicos) e biológicos, produzindo diversos efeitos sobre o ambiente interior e, naturalmente, sobre as pessoas. As actuais avaliações efectuadas no interior de edifícios incluem quatro aspectos principais: conforto térmico, qualidade do ar interior (QAI), conforto visual e conforto auditivo (CEOH-IAQ, 2003; Martínez e Callejo, 2006; Wong *et al.*, 2008), como demonstra a Figura 1.

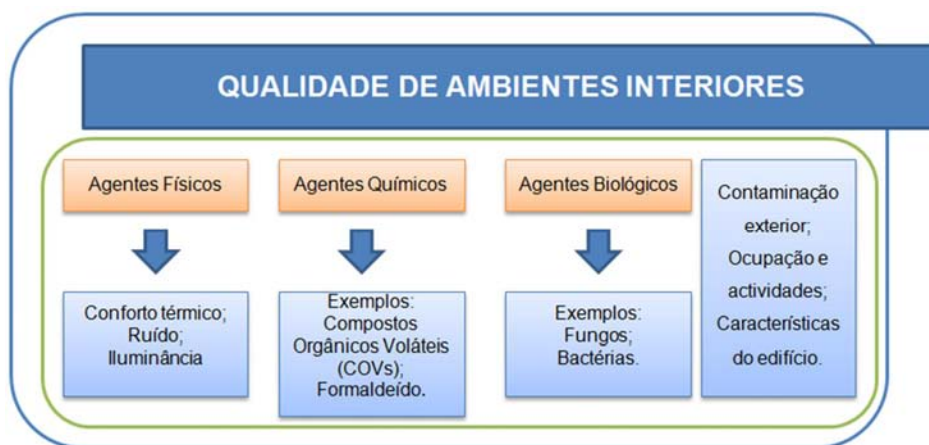


Figura 1: Factores que condicionam a qualidade de ambientes interiores (adaptado de Martínez e Callejo, 2006)

2.1. Qualidade do Ar Interior: fontes de poluição do ar interior

As questões no âmbito da QAI têm tido uma importância crescente na Europa e no resto do mundo, despertando o interesse da comunidade científica e da sociedade em geral, que durante muito tempo se preocuparam, essencialmente, com os efeitos da poluição exterior na saúde.

De acordo com Bluysen (2009), a QAI pode ser definida segundo três pontos de vista: o humano, o ar interior do espaço e as fontes que contribuem para a poluição do ar interior. Do ponto de vista humano, a QAI de um espaço é o efeito físico da exposição de pessoas ao ar interior dos locais que visitam ou ocupam e está relacionado com o que as mesmas experienciam nestes ambientes. Do ponto de vista do ar interior, a QAI é, por vezes, expressa por determinada taxa de ventilação (em L/s por pessoa ou L/s por m² de área útil) ou em concentrações de compostos específicos. Estas concentrações são influenciadas pelas fontes presentes no interior ou provenientes de fontes exteriores, pelo que a QAI pode também ser entendida de acordo com as fontes de poluição.

De um modo geral, a QAI refere-se às características físicas, químicas e biológicas do ar em ambientes interiores. Além disso, e segundo uma visão mais técnica, estes ambientes devem reunir três requisitos básicos para a ocupação humana: aceitabilidade térmica, a manutenção das concentrações normais dos gases respiratórios, a diluição e remoção dos contaminantes para níveis inferiores aos quais não se verifiquem efeitos na saúde ou desconforto. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* e a *American National Standards Institute (ANSI)*, no documento *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, definem uma QAI aceitável como sendo o «ar onde não existem contaminantes em quantidades passíveis de causar risco, e em que a maioria dos ocupantes dos edifícios (80% ou mais) não expressem insatisfação».

Os factores que afectam directamente a QAI são, entre outros:

- as fontes de poluição interior, como materiais de construção, equipamentos produtos de consumo, limpeza, entre outros;
- os ocupantes através dos seus comportamentos e actividades;
- os sistemas de ventilação, aquecimento e ar condicionado (AVAC);
- as fontes de poluição exterior, fumo de combustão de veículos, emissões industriais, pólen, deposição de resíduos (CEOH-IAQ, 2003; Martínez e Callejo 2006; EPA, 2009; APA, 2010).

Como já foi referido, existem dois tipos de fontes de poluição do ar interior: as fontes exteriores e interiores. Na Tabela 1, encontram-se os principais agentes e factores que afectam a QAI, bem como as suas fontes interiores e exteriores.

Tabela 1: Principais agentes e factores que afectam a QAI e respectivas fontes¹

Agente/Factor	Fonte Interiores	Fontes Exteriores
Compostos orgânicos voláteis (COVs) (Tricloroetileno, benzeno, tolueno, metil etil cetonas, álcoois metacrilatos, acroleína, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, e pesticidas)	Tintas, produtos de limpeza, impressoras, fotocopiadoras, computadores, solventes impermeabilizantes e isolantes derivados de silicone, carpetes, mobiliário, adesivos, calafetagem, insecticidas, herbicidas, produtos de combustão, fumo de tabaco, cosméticos e outros produtos de uso pessoal.	Emissões de veículos; Emissões industriais.
Dióxido de carbono (CO₂)	Utilização de equipamentos a gás ou outros combustíveis em espaços mal ventilados; Ocupantes (respiração humana).	Emissões industriais; Emissões de veículos.
Fibras Artificiais: fibra de vidro e lâ mineral	Isolantes e impermeabilizantes utilizados na construção.	Emissões industriais; Trabalhos de construção e demolição.
Formaldeído (HCHO)	Isolamento de espuma de ureia, madeira contraplacada não selada, madeira prensada, madeira aglomerada, painéis de revestimento de paredes, carpetes, tecidos, colas, adesivos, produtos de combustão (ex. fumo de tabaco).	O formaldeído é quase, exclusivamente, identificado em ambientes interiores.
Fumo do tabaco	Cigarros, charutos.	
Microorganismos e outros contaminantes biológicos	Água estagnada em sistemas AVAC, materiais húmidos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento (<i>chillers</i>), torres de refrigeração, plantas, animais.	Vegetação e flora microbiana ambiental; Animais; Deposição de resíduos.
Mistura de gases inorgânicos: amoníaco, ácido sulfídrico e dióxido de enxofre	Produtos de limpeza, produtos de combustão e fumo de tabaco.	Emissões industriais.
Monóxido de Carbono (CO)	Fumo de tabaco; Utilização de equipamentos a gás ou outros combustíveis em espaços mal ventilados.	Emissões de veículos.
Óxido de azoto (NO₂)	Produtos de combustão de cozinhas e aquecedores a gás, fumo de tabaco, fumos de soldadura.	Emissões de veículos; Emissões industriais.
Ozono (O₃)	Fotocopiadoras, impressoras, ambientadores, descargas eléctricas.	Atmosfera . nevoeiro fotoquímico (o ozono resulta da transformação atmosférica de produtos emitidos pelos processos de combustão).
Partículas	Fumo de tabaco, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros AVAC, actividades de limpeza.	Solo; Emissões de veículos; Emissões industriais; Trabalhos de construção e demolição. Vegetação.
Radão (Rn)	Materiais de construção.	Solo e águas subterrâneas.
Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação)	Medidas de poupança de energia e manutenção, má concepção dos espaços e condutas do sistema de ventilação (o ar extraído pode voltar a ser reintroduzido nos edifícios), má concepção do projecto do sistema AVAC, alteração do sistema de funcionamento do sistema AVAC pelos ocupantes.	

¹adaptado de Martínez e Callejo (2006) e APA (2010)

2.2. Síndrome do Edifício Doente

Segundo a EPA (1991), o termo Síndrome do Edifício Doente (SED) é usado para descrever situações em que os ocupantes de edifícios experimentam efeitos agudos na sua saúde e conforto, que parecem estar relacionados com a permanência no seu interior e não com uma doença específica ou uma causa identificada. As queixas podem surgir numa área específica ou serem comuns a todo o edifício.

Os indicadores que descrevem o SED incluem:

- Ocupantes do edifício queixam-se de sintomas associados com desconforto agudo, por exemplo, dor de cabeça, fadiga, irritação dos olhos, nariz ou garganta, tosse seca, pele seca ou comichão, tonturas e náuseas, dificuldade de concentração; e sensibilidade aos odores;
- As causas dos sintomas não são conhecidas;
- A maioria dos queixosos apresenta alívio dos sintomas após abandonar o edifício.

O SED é um conceito difícil de definir, não tendo sido identificada uma causa única que explique este fenómeno (Bernstein *et al.*, 2008; Wong *et al.*, 2009). Os investigadores têm desenvolvido vários estudos que procuram associar o ambiente construído e a saúde humana. Contudo, nenhuma associação forte e reprodutível foi estabelecida, entre exposições e respostas humanas nos estudos de campo (Bluyssen, 2009). Sabe-se que os principais factores de risco associados ao SED são a ventilação inadequada, pobre manutenção do edifício, aumento da concentração de partículas, COVs (ex. móveis novos, fotocopiadoras), bioaerossóis, endotoxinas e contaminação por fungos (Martinez *et al.*, 2006; Bernstein *et al.*, 2008).

Em meados de 1980, a OMS resumiu os sintomas mais comuns relacionados com o SED e sugeriu que o seu diagnóstico exigisse uma demonstração de um elevado número de denúncias ou prevalência de sintomas associados a um edifício em particular. No entanto, esta entidade não forneceu um método normalizado para efectuar o diagnóstico. Na maioria dos estudos desenvolvidos, a avaliação da sintomatologia associada ao SED depende da aplicação de questionários aos ocupantes, que apresentam definições diferentes, nomeadamente, ao nível do padrão temporal e espacial dos sintomas (Bing-Ling *et al.*, 2008).

Um estudo longitudinal realizado por Takigawa *et al.* (2009) procurou explorar os possíveis factores de risco ambiental (produtos químicos, fungos, alergéneos e ácaros) que poderiam estar na origem dos sintomas-tipo associados ao SED em edifícios novos. Cerca de 10% dos indivíduos apresentavam sintomas associados ao SED e os aldeídos, COVs e formaldeído foram identificados como os principais responsáveis pelos mesmos. Tendo em conta que, as causas das queixas dos ocupantes são multi-factoriais e muitas vezes psicológicas, o controlo

das fontes de contaminação é, de um modo geral, o meio mais eficiente para melhorar a QAI (APA, 2010).

Os sintomas tipicamente associados ao SED são irritação das mucosas e olhos, tosse, aperto no peito, fadiga, cefaleia e mau estar (ECA, 1991; Bernstein *et al.*, 2008). Outros autores como Perdix *et al.* (2005) acrescentam sintomas, como: rinite, congestionamento nasal, garganta seca, lacrimejar, irritação da pele e eritema. Efeitos neuropsicológicos, como irritabilidade, dificuldade de concentração e baixo rendimento intelectual, estão também associados a este fenómeno. Geralmente, os ocupantes de edifícios experimentam estes sintomas durante o tempo de permanência no seu interior, verificando-se melhorias consideráveis depois de os abandonar (Martínez e Callejo, 2006).

A OMS investiga a contribuição de uma série de factores de risco no desenvolvimento de doença. A carga de doença (*Burden of disease*) quantifica a morbilidade e mortalidade por determinada doença ou factor de risco. O indicador mais utilizado para determinar a carga da doença é designado *Disability-Adjusted Life Year* (DALY) que combina os anos de vida perdidos (por morte) com os vividos com incapacidade. As Figuras 2 e 3 apresentam os dados relativos à carga de doença associada à QAI por fonte e por poluente na União Europeia, respectivamente.

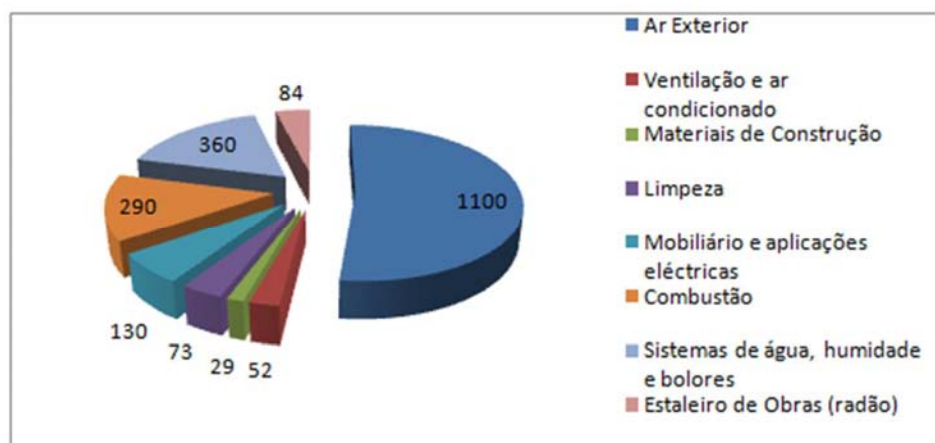


Figura 2: Carga de doença devido à poluição do ar interior na UE27 por fonte de poluição (em 1000 DALY/ano)¹

¹ fonte: <http://www.cranfield.ac.uk/health/researchareas/environmenthealth/ieh/iaq%20guidelines%20-%20cranfield%20apr09%20.pdf>

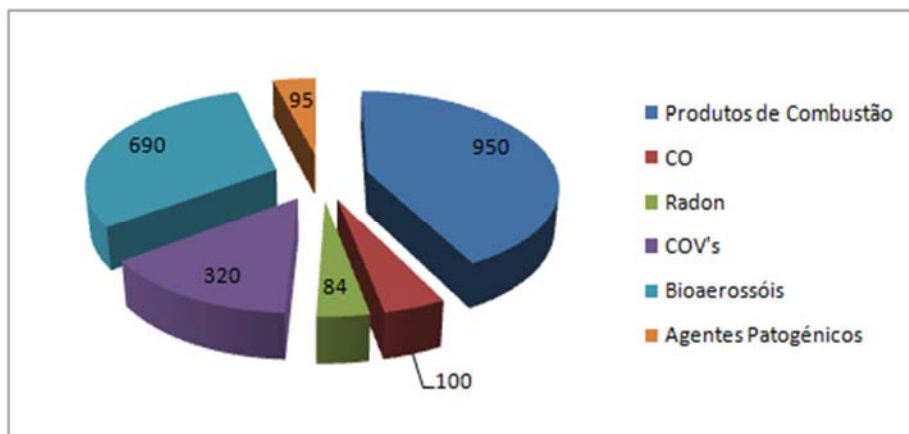


Figura 3: Carga da doença devido à poluição do ar interior na UE27 por poluente (em 1000 DALY/ano)²

O ar exterior é a principal fonte de poluentes presentes no ar interior e responsável por a maior carga de doença relacionada com a poluição do ar interior como apresenta a Figura 2. Weschler (2009) reforça esta ideia afirmando que a concentração de poluentes do ar interior depende não só da taxa de emissão *%indoor+*, mas também da taxa de transporte de poluentes *%outdoor to indoor+*.

A Figura 3 indica que a exposição a produtos de combustão é o maior responsável pela carga de doença relacionada com a QAI. De acordo com a OMS (2006), um terço da população mundial está exposta à poluição do ar, principalmente devido à queima de combustíveis sólidos (madeira e carvão) utilizados como fonte de energia para cozinhar, aquecimento e iluminação. Esta forma de energia está associada a elevados níveis de poluição do ar interior e ao aumento da incidência de infecções respiratórias (como pneumonia e tuberculose), doenças obstrutivas crónicas, baixo peso ao nascer, cataratas, problemas cardiovasculares e aumento da mortalidade, tanto de adultos como de crianças. Contudo, os mecanismos que explicam estas associações ainda não são totalmente compreendidos.

2.3. Poluentes do ar interior e os efeitos na saúde

Genericamente podemos categorizar os contaminantes do ar interior em três tipos principais: químicos, físicos e biológicos (Chan *et al.*, 2009).

Entre os poluentes químicos que afectam a QAI dos edifícios destacam-se as partículas suspensas no ar (PM_x), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), formaldeído (HCHO), compostos orgânicos voláteis (COVs) e o Radão. Nos contaminantes biológicos, podem incluir-se as bactérias e os fungos. Quanto aos agentes físicos, salientam-se os factores de ambiente térmico (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar). É

² fonte: <http://www.cranfield.ac.uk/health/researchareas/environmenthealth/ieh/iaq%20guidelines%20-%20cranfield%20apr09%20.pdf>

pertinente referir que, embora o radão esteja incluído nos agentes químicos, este composto manifesta a sua nocividade através da emissão de radiação ionizante.

Todos os agentes anteriormente referidos encontram-se definidos no Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)) o qual preconiza os critérios de conformidade legal a ter em consideração em auditorias de QAI.

2.3.1. Poluentes químicos

Weschler (2009), refere que os poluentes químicos a que os ocupantes de edifícios estavam expostos à 50 anos atrás, diferem substancialmente das exposições actuais. Estes agentes podem reagir entre si ou com substâncias provenientes de outras fontes, criando novos poluentes (Bluyssen, 2009).

Vários países apresentam regulamentação relativa aos limites de exposição a poluentes químicos do ar interior, sendo estes baseados nas directrizes e orientações da OMS, ASHRAE e *European Committee for Standardization* (CEN). Além disso, a nível europeu, existem diversas iniciativas para a melhoria da QAI dos edifícios, nomeadamente:

- o desenvolvimento de métodos de ensaio harmonizados relativos à emissão de substâncias perigosas por parte materiais de construção de modo a dar cumprimento às exigências da Directiva dos Produtos de Construção;
- a uniformização das informações ambientais sobre produtos de construção e a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios;
- a harmonização dos vários sistemas nacionais de rotulagem para mobiliário e produtos de construção;
- a criação do REACH (Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos) pela Agência Europeia das Substâncias Químicas;
- o financiamento de vários projectos europeus (como o projecto ENVIE (*Co-ordination action on Indoor Air Quality and Health Effects*), BUMA (*Building Materials as indoor pollution sources*) e *HealthyAir*).

2.3.1.1. Partículas ou aerossóis em suspensão no ar

As partículas ou aerossóis em suspensão no ar (PM_x) são poluentes do ar constituídos por uma complexa mistura de compostos que podem ser sólidos ou líquidos. Podem ainda ter vários tamanhos, formas e ser constituídas por centenas de diferentes compostos químicos e biológicos. Os processos mecânicos tendem a produzir partículas maiores que os processos de combustão (Martínez e Callejo, 2006; APA, 2010).

O tamanho das partículas é caracterizado pelo diâmetro aerodinâmico (d_{ae}). Segundo a EPA (2009) existem duas categorias de tamanho de partículas que são particularmente preocupantes para a saúde:

- **Partículas com diâmetro aerodinâmico entre 2,5 μ m a 10 μ m**, "partículas inaláveis grossas", emitidas por indústrias, por exemplo;
- **Partículas com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 2,5 μ m**, "partículas finas", encontradas no fumo e neblina. As principais fontes de $PM_{2,5}$ são os veículos motorizados (queima de combustíveis). Estas atingem facilmente os pulmões onde podem acumular-se, reagir ou ser absorvidas. Além disso, devido ao seu diâmetro reduzido, as partículas finas tendem a permanecer no ar por longos períodos de tempo, percorrer longas distâncias e as suas concentrações tendem a variar de acordo com as variações de direcção do vento e as condições atmosféricas.

De acordo com Bernstein *et al.* (2008) as partículas grossas com origem *indoor* (2,5 μ m a 10 μ m) tendem a depositar-se na região nasal, faríngea ou laríngea do aparelho respiratório, por outro lado, as partículas finas (0,1 μ m -2,5 μ m) e ultra-finas (<0,1 μ m) com origem *indoor* e *outdoor* podem depositar-se na região traquebrônquial e alveolar.

Na década de 1980 e início de 1990, as Comissões da *International Organization for Standardization* (ISO), *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) e o CEN desenvolveram outra classificação para as PM_x , definindo os critérios para a sua amostragem. Estas comissões estabeleceram que as amostragens deviam ser baseadas em fracções progressivamente mais finas: inaláveis, torácicas e respiráveis. A Norma Portuguesa 1726:2007 também classifica as PM_x de acordo com os seguintes tipos de fracção:

- **Fracção Inalável** (*inhalable particulate mass*) para as partículas potencialmente perigosas que atingem qualquer região do aparelho respiratório;
- **Fracção Torácica** (*thoracic particulate mass*) para as partículas potencialmente perigosa que atingem a região pulmonar e alveolar;
- **Fracção Alveolar ou Respirável** (*respirable particulate mass*) para as partículas potencialmente perigosas quando atingem a região alveolar.

De acordo com a OMS (2005), o tamanho das partículas é o factor mais importante na deposição das mesmas no aparelho respiratório. Alguns estudos sugerem que as partículas com diâmetros menores têm efeitos respiratórios graves nas crianças. A Figura 4 demonstra que as partículas com diâmetros superiores a 10 μ m raramente penetram para além das vias respiratórias superiores, enquanto as partículas com diâmetro igual ou inferior a 2 μ m podem penetrar até aos alvéolos.

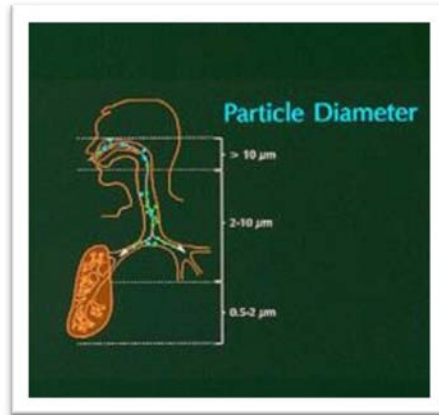


Figura 4: Diâmetro das partículas (PM_x) e a penetração no aparelho respiratório³

Segundo a APA (2010), a gama de tamanhos das partículas ou aerossóis preocupantes para a saúde humana é de 0,1 a 10 μ m. As partículas inferiores a 0,1 μ m são geralmente inaladas, enquanto as partículas superiores a 10 μ m são filtradas pelo nariz. As partículas pequenas que chegam à região torácica são responsáveis pela maioria dos efeitos adversos na saúde, e foram desenvolvidas normas para as partículas de tamanho $\leq 10 \mu$ m, também genericamente conhecidas por PM_{10} .

A maioria dos estudos epidemiológicos usa as PM_{10} como indicador de exposição. Estas representam a massa da partícula que entra no trato respiratório e, além disso, inclui tanto as partículas grossas (entre 2,5 e 10 μ m) como as partículas finas (que medem menos de 2,5 μ m - $PM_{2,5}$) que contribuem para efeitos adversos na saúde verificados em ambientes urbanos (OMS, 2006).

A concentração de partículas em ambientes interiores depende da combinação de vários factores, tais como: condições ambientais, materiais de construção, actividades desenvolvidas pelos ocupantes (por ex. operações de limpeza), tipo de ventilação, sistemas de ar condicionado e taxas de ventilação. O tráfego e as actividades de construção constituem exemplos de fontes exteriores de PM_x (Liu *et al.*, 2004; EPA, 2009)

A exposição individual a partículas ocorre em diversos *microambientes*, sendo a sua concentração directamente afectada pelos mecanismos de deposição e ressuspensão (Breyse *et al.*, 2005; Fromme *et al.*, 2007; Fromme *et al.*, 2008).

O fumo do tabaco é também uma fonte interior de partículas finas ($PM_{2,5}$) e é constituído por mistura dinâmica e complexa de mais de 4000 produtos químicos, muitos deles tóxicos e cancerígenos (Martínez e Callego, 2006). Segundo Breyse (2005), 75% da massa de partículas existentes no ambiente interior tem um diâmetro inferior a 2,5 μ m. Esta proporção

³ fonte: http://www.who.int/ceh/capacity/Indoor_Air_Pollution.pdf

eleva-se quando se trata de um ambiente interior onde existem fumadores (Stranger *et al.*, 2008).

A exposição a partículas em ambientes interiores constitui um potencial risco para a saúde (Tippaywong *et al.*, 2009). Os efeitos adversos das PM_x dependem, essencialmente, da deposição das mesmas no aparelho respiratório e da capacidade que este apresenta para as remover, o que está directamente relacionado com o diâmetro, a composição química, a concentração e o tempo de exposição a este agente (Bernstein *et al.*, 2008; Miguel, 2010).

Segundo a EPA (2009) a exposição a partículas está associada a uma série de efeitos graves na saúde, nomeadamente, doenças pulmonares, asma e outros problemas respiratórios. As partículas finas (diâmetro $\leq 2,5 \mu m$) podem agravar a asma e a bronquite, e têm sido responsáveis pelo aumento dos internamentos de emergência por doenças cardíacas e pulmonares, diminuição da função pulmonar e morte prematura nos EUA. Exposições a curto prazo podem provocar sintomas como falta de ar, irritação ocular e pulmonar, náuseas, tonturas e reacções alérgicas.

Dados epidemiológicos indicam que há várias subpopulações que apresentam risco especial para este tipo de exposição: crianças, adultos com doenças respiratórias (Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica (DPOC), bronquite aguda e asma) e doenças cardiovasculares e os idosos (Martínez e Callejo, 2006).

2.3.1.2. Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO_2) é expelido através da respiração, sendo também gerado em processos de combustão. Este agente é exalado a uma taxa de cerca de 0,3 L/min., durante a execução de tarefas em locais de trabalho como escritórios. É um gás incolor e inodoro, podendo actuar como irritante do sistema respiratório (Martínez e Callejo 2006; EPA, 2009). A sua concentração no ar interior pode dar uma boa indicação da taxa de ventilação (APA, 2010).

O número de pessoas, o tamanho do espaço e o nível da actividade física influenciam a concentração deste agente em ambientes fechados, verificando-se, normalmente, níveis mais elevados no final da manhã e tarde. Deste modo, se os outros poluentes são gerados a uma taxa que também dependa do nível de ocupação, então o CO_2 é um bom indicador da concentração desses poluentes (Clements-Croome *et al.*, 2008).

Os níveis típicos deste poluente em ambiente interiores podem variar entre 600 e 800 ppm. Segundo a ASHRAE Standard 62-2004, para uma taxa mínima de ventilação exterior de 10L/s obtêm-se concentrações de CO_2 iguais a 850 ppm, em condições de estado estacionário no espaço ocupado. Outros autores como Santamouris *et al.* (2008), referem que, em edifícios dotados de ventilação mecânica ou natural, taxas de ventilação iguais a 8 L/s, correspondem concentrações de CO_2 iguais a 1000 ppm.

A ventilação tem uma influência significativa na prevalência de sintomas relacionados com o SED. De acordo com um estudo efectuado por Fisk *et al.* (2009), em edifícios administrativos, a prevalência de sintomas associados ao SED aumenta cerca de 23% para uma taxa de ventilação de 5-10 L/s por pessoa e diminui cerca de 29% com o aumento das taxas de ventilação para valores de 10-25 L/s por pessoa.

Em concentrações moderadas, o CO₂ pode causar a sensação de desconforto e de que o ambiente está "abafado". De acordo com a EPA (2009), este poluente em concentrações superiores a 15 000 ppm pode também provocar perda de acuidade mental. Acima de 30 000 ppm, os efeitos da sua presença são dores de cabeça, tonturas e náuseas (Quadros, 2008). A irritação da garganta e olhos, assim como a fadiga e algumas dificuldades respiratórias causadas pela ocupação deste gás em detrimento do oxigénio (O₂), são também consequências de concentrações elevadas deste poluente.

2.3.1.3. Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico, invisível, sem cheiro ou sabor e é um subproduto da queima de combustíveis fósseis. A combustão incompleta que ocorre em fogões a gás, fornos, caldeiras e aquecedores pode representar fontes interiores importantes de CO. A sua presença no interior de edifícios pode também estar relacionada com a emissão de veículos presentes em garagens ou no exterior, ventilação inadequada e fumo de tabaco (Martínez e Callejo, 2006; EPA, 2010). Um estudo desenvolvido por Devecia *et al.* (2004) encontrou também uma correlação positiva entre os níveis de CO e consumo diário de cigarros.

Altas concentrações de CO podem causar intoxicação aguda, dado que o CO combinado com a hemoglobina (Hb) do sangue humano produz carboxihemoglobina (COHb), limitando a transferência de oxigénio para os tecidos humanos (Chaloulakoua *et al.*, 2002). A relação principal entre o CO e COHb depende do tempo de exposição, actividade humana e altitude (Chaloulakoua *et al.*, 2002; Martínez e Callejo, 2006; APA, 2010). Bernstein *et al.* (2008) acrescenta ainda que a gravidade da intoxicação por CO depende da concentração no ar e do estado de saúde do indivíduo exposto.

Os efeitos da exposição a poluentes tóxicos, como monóxido de carbono, são mais graves para os grupos sensíveis da população. Segundo a OMS (2008), a exposição ao monóxido de carbono é particularmente perigosa para o feto, lactantes e pessoas com anemia ou doença cardíaca. A exposição a baixas concentrações de monóxido de carbono pode causar fadiga e dores no peito (sintomas mais intensos em pessoas com doença cardíaca crónica). Por outro lado, exposições a concentrações mais elevadas podem provocar dores de cabeça, tonturas e fraqueza em pessoas saudáveis, sendo ainda possível verificarem-se outros sintomas como sonolência, náusea, vômito, confusão e desorientação. Em níveis muito elevados, este poluente pode levar à perda de consciência e morte. Este agente pode ainda causar problemas

neurológicos em idosos e dificuldades de aprendizagem e desenvolvimento nas crianças, bem como o aborto em mulheres expostas durante a gravidez. Na Tabela 2 encontram-se os principais efeitos na saúde do CO descritos em relação aos níveis de COHb no sangue.

Tabela 2: Influência da concentração de CO no ar na concentração de COHb no sangue¹

Concentração de CO no ar ²	Efeitos, tempos de inalação e sintomas desenvolvidos
1 ppm (0.0001%)	Pode ser normal de fogões, derrames, tráfego.
2 ppm (0.0002%)	Sugerido como o limite de exposição para longa duração (fonte: alguns profissionais de QAI).
9 ppm	Concentração máxima permitida para exposição de curta duração numa sala de estar (Fonte: ASHRAE).
15 a 20 ppm	Comprometeu o desempenho (COHb: 2,0); diminui o tempo de exercício absoluto (COHb: 2,5); diminui o tempo de ocorrência de angina de peito (COHb: 1,9); decréscimo de vigiância (COHb: 3,0) (fonte: World Health OMS Organização 13 (13)).
27 ppm (0.0027%)	Aumento de 21% nas queixas dos problemas cardio-respiratórios.
35 ppm (0.0035%)	A concentração máxima permitida para exposição contínua durante um período de 8 h
75 ppm (0.0075%)	Significativa diminuição na reserva de oxigénio disponível para o miocárdio (COHb -10%)
200 ppm (0.02%)	Ligeira dor de cabeça, cansaço, tonturas, náuseas após 2-3 h, pode ser fatal após 3 h.
400 ppm (0.04%)	Dores de cabeça frontais em 1-2 h; risco de vida após 3 h.
800 ppm (0.08%)	Tonturas, náuseas e convulsões dentro de 45 min.; inconsciência dentro de 2 h, a morte dentro de 2-3 h.
1600 ppm (0.64%)	Dores de cabeça, tontura e náusea em 20 min.; morte dentro de 30 min.
3200 ppm (0.32%)	Cefaleias, tonturas e náuseas em 20-25 min.; perda de consciência, a morte dentro de 30 min.
6400 ppm (0.64%)	Dores de cabeça, tontura e náusea em 1-2 min.; perda de consciência; a morte dentro de 10-15 min.
12800 ppm (1.28%)	Morte dentro de 1-3 min.

¹ adaptado Modic, 2003

² Monóxido de carbono (CO) 10,000 parte por milhão (ppm) = 1% por volume.

2.3.1.4. Ozono

O ozono (O₃) é um gás instável e tóxico que ocorre naturalmente no ambiente, formando-se na estratosfera através de reacções fotoquímicas e na presença de poluentes precursores como o óxidos de azoto (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs). Este gás, é extremamente oxidante e reactivo, sendo um poluente perigoso para a saúde quando presente na troposfera em excesso (APA, 2010).

Como resultado da sua origem fotoquímica, o O₃ exibe fortes padrões sazonais e diurnos, com concentrações mais elevadas no Verão e no período da tarde, devido ao facto das janelas nesta época do ano se encontrarem abertas durante mais tempo. A correlação de O₃ com outros poluentes varia de acordo com época e local (OMS, 2005). Em muitas regiões europeias os níveis máximos de O₃ no ar ambiente podem chegar 120-400 µg/m³ (ECA, 2007). Um estudo desenvolvido na área Metropolitana do Porto revelou que não existiam variações sazonais significativas nas concentrações de O₃. A concentração mínima obtida foi em Novembro e corresponde a 10.0 µg/m³ e a máxima foi de 12,5 µg/m³ (Alvim-Ferraz *et al.*, 2006).

A fonte mais importante de O₃ é o ar exterior, no entanto, alguns equipamentos que utilizam raios ultra-violeta, como fotocopiadoras e impressoras a laser também o produzem. Kagi *et al.* (2007) confirma o aumento da concentração de O₃ no ar interior durante processos de impressão.

Geralmente, podem ser encontradas concentrações de O₃ que variam entre 1-100 µg/m³ em ambientes interiores. Além disso, este agente reage com vários COVs formando poluentes secundários, como radicais OH, HO₂ e RO₂ e produtos estáveis, como aldeídos, peróxidos e outros compostos, capazes de provocar sensibilização ocular e irritação das vias aéreas. A utilização de produtos de limpeza e purificadores de ar tem levado ao aumento da concentração de compostos capazes de reagir com o ozono, como é o caso dos terpenos (como por exemplo, limoneno, - pineno, linalol, -terpeniol) (Weschler *et al.*, 2006) Este aumento resulta numa produção significativa de poluentes derivados do O₃ como, por exemplo, o formaldeído (Kagi *et al.*, 2006; Weschler, 2009). De acordo com Singer *et al.* (2006), o O₃ é substancialmente consumido após a utilização de produtos de limpeza, verificando-se uma persistência dos poluentes secundários durante longos períodos de tempo no ar interior (10h-12h).

Nos últimos anos, verificou-se uma preocupação crescente relacionada com o impacto da *indoor air chemistry* na saúde, nomeadamente, ao nível das reacções do O₃ com os terpenos (ex. limoneno, - pineno). Tanto os estudos epidemiológicos como experimentais sugerem que os produtos resultantes da ozonólise podem causar aumento das notificações de irritação sensorial, embora os resultados ainda precisem de ser fundamentados (ECA, 2007).

A figura 5 apresenta de forma resumida os conhecimentos necessários para analisar as diferentes interacções do O₃ com os compostos químicos presentes no ar interior e os efeitos na saúde.

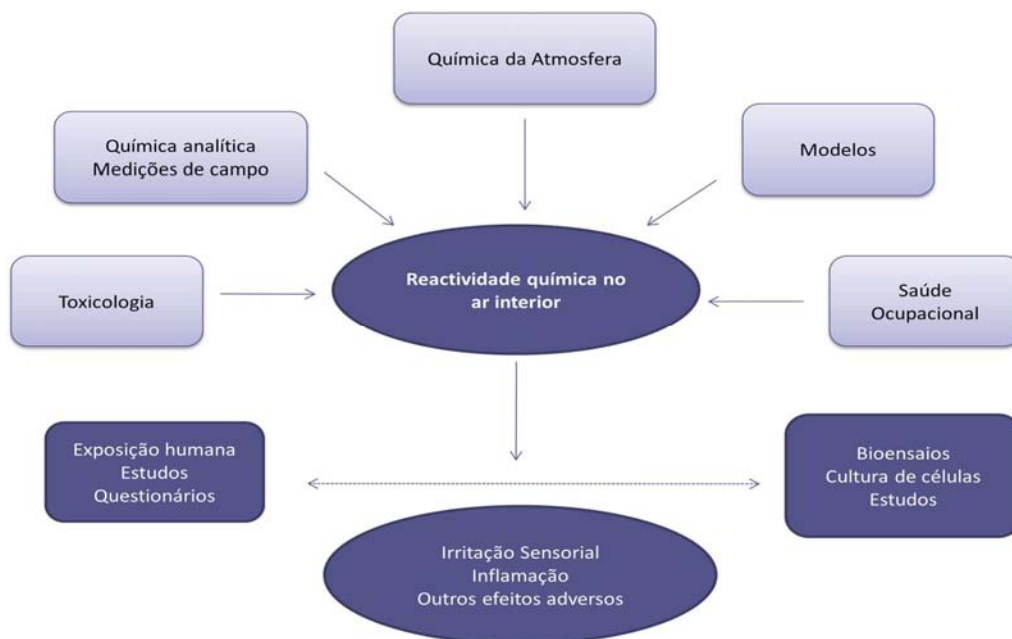


Figura 5: Interação do O₃ com outros compostos químicos e os efeitos na saúde⁴

Por ser muito reactivo, exposições a concentrações elevadas de O₃ causam problemas no tracto respiratório e pulmões. Pode também produzir sintomas como irritação nos olhos, dores de cabeça, secura da boca e garganta. A sua acção faz-se sentir, principalmente, em crianças, mesmo em concentrações baixas e para exposições de curta duração.

2.3.1.5. Compostos Orgânicos Voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) são constituídos por átomos de carbono e hidrogénio e apresentam pontos de ebulição, aproximadamente, na gama de 50-250°C. Englobam uma grande variedade de compostos químicos, entre os quais, hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e clorados, aldeídos, cetonas, éteres, ácidos e álcoois (Martínez e Callejo, 2006). De acordo com EPA (2010) os níveis médios de vários compostos orgânicos voláteis são 2-5 vezes superiores no ambiente interior do que no ar exterior.

Os COVs pertencem a um dos quatro grupos de poluentes orgânicos no ar interior. A OMS estabeleceu uma classificação para os compostos orgânicos com base no ponto de ebulição à pressão atmosférica. Na Tabela 3 encontra-se a classificação dos COVs mais frequentes em espaços interiores e a sua caracterização, quanto ao ponto de ebulição e meios de amostragem geralmente utilizados em estudos de campo.

⁴ fonte: Impact of Ozone-initiated Terpene Chemistry on Indoor Air Quality and Human Health, 2007

Tabela 3: Classificação dos COVs em espaços interiores¹

Categoria	Descrição	Abreviatura	Gama de ponto de ebulição (°C)²	Meios de amostragem geralmente usado nos estudos de campo
1	Compostos orgânicos muito voláteis (gasosos)	COMV	<0 a 50-100	Recolha em Canisters, adsorção em meio sólido
2	Compostos orgânicos voláteis	COV	50-100 a 240-260	Recolha em Canisters, por adsorção em meio sólido
3	Compostos orgânicos semivoláteis	COSV	240-260 a 380-400	Adsorção em espuma de poliuretano ou XAD-2
4	Compostos orgânicos associados à matéria particulada ou a matéria orgânica particulada	MOP	>380	Recolha em filtros

¹ adaptado de OMS (1989) e APA (2010)

² Os compostos polares aparecem no limite superior da gama

Geralmente, para analisar a QAI de determinado local efectua-se a medição dos compostos orgânicos voláteis totais (COVT). A identificação individual dos COVs torna-se dispendiosa e demorada, dada grande variedade de compostos potencialmente presentes no interior de edifícios.

Na Tabela 4 estão apresentadas as fontes mais comuns de COVs em atmosferas interiores e as respectivas fontes.

Tabela 4: COVs e as suas principais fontes¹

Substâncias	Fontes
Acetona	Tintas, revestimentos, acabamentos, solvente de tintas, diluidor, calafetagem.
Hidrocarbonetos alifáticos (octano, decano, hexano, i-decano, misturas, etc)	Tintas, adesivos, gasolina, fontes de combustão, fotocopiadoras com processo líquido, carpetes, linóleo, componentes de calafetagem.
Hidrocarbonetos aromáticos (tolueno, xileno, etilbenzeno, benzeno)	Fontes de combustão, tintas, adesivos, gasolina, linóleo, revestimento da parede.
Solventes clorados	Artigos de limpeza ou de protecção de tapeçarias e carpetes, tintas, solvente de tintas, lacam, solventes, fluido de correcção, roupas limpas a seco.
Acetato de n-butil	Telha acústica do tecto, linóleo, compostos de calafetagem.
Diclorobenzeno	Carpetes, cristais de naftalina, refrescante de ar.
4-fenil ciclohexano (4-PC)	Carpetes, tintas.
Terpenos (limoneno, -pineno)	Desodorizantes, agentes de limpeza, polidores, tecido/decoração, tecido/decoração emoliente, cigarros.

¹ APA (2010)

A combinação destas fontes de químicos, no interior de edifícios, resulta numa exposição dos ocupantes a cerca de 50-300 COV diferentes. A mistura de substâncias químicas origina, frequentemente, odores que podem levar a queixas por parte dos ocupantes em ambientes não industrializados (Bernstein *et al.*, 2008). De acordo com Kim *et al.* (2008), os COVs emitidos pelos materiais de construção, mobiliários e produtos domésticos originam problemas de QAI em habitações. Vários COV (mais de 200) têm origem microbiana (COVM). A presença de contaminação por fungos em ambientes interiores (presença de humidade nos materiais de construção, por exemplo) pode estar associada à existência de COVs como álcoois, aldeídos, cetonas, terpenos, ésteres, aminas, compostos aromáticos, bem como, compostos contendo enxofre e azoto. A exposição a COVM produzidos por fungos está relacionada com sintomas como dores de cabeça, irritação nasal, tontura fadiga e náuseas (EPA, 2001).

Na Tabela 5 estão apresentados tipos de material de revestimento passíveis de contaminação microbiológica e os COVM emitidos.

Tabela 5: COVM emitidos para o ar interior¹

Material	COVs de origem microbiológica (COVM)
Tinta	3-metil-furano 1-octeno-2-ol 2-octeno-1-ol
Painel de derivado de madeira	Formaldeído
Cortiça atacada por fungos	3-metil-1-butanol 1-octeno-3-ol 2- metilisoborneol Compostos clorados metilcetonas

¹ Ventura (2009)

A concentração de COVs no ar interior está relacionada com o SED. Um estudo realizado por Gallego *et al.* (2009), numa habitação onde os ocupantes apresentavam sintomas associados ao SED, detectou a presença de etanol, 1-metoxi-3-propanol, 1-butanol e acetonitrila, responsáveis por sintomas como garganta irritada, tosse, irritação dos olhos, dores de cabeça, náuseas e perda de capacidades.

Numa gama de exposição de 0,3 a 3 mg/m³, podem surgir odores, irritação e desconforto como resposta à presença a COVT, juntamente com factores de desconforto térmico e de stress. Para valores superiores a 3 mg/m³, é possível esperar queixas dos ocupantes e acima de 25 mg/m³, foram identificados desconforto temporário e irritação respiratória. Dado que o

conhecimento disponível sobre toxicologia e efeitos sensíveis dos COVs e suas misturas é ainda incompleto, é desejável a redução de qualquer exposição a estes agentes (APA, 2010).

2.3.1.6. Formaldeído

O formaldeído (HCOH) é um gás incolor, inflamável à temperatura ambiente e com odor intenso.

Uma exposição relevante ao HCOH é encontrada em hospitais e instituições científicas, onde o este agente é utilizado como um esterilizante e agente de preservação. Em locais como escolas, creches e casas ou apartamentos pode haver emissão descontrolada deste poluente proveniente materiais de construção ou mobiliário, produtos de uso doméstico e também da utilização equipamentos não dotados de exaustão, como fogões a gás e do fumo do tabaco (EPA, 2009). Além disso, o HCOH, por si só ou em combinação com outros produtos químicos, pode ainda ser usado para garantir a qualidade de estampagem no vestuário e tapeçarias e como componente de colas e conservantes em algumas tintas e produtos de revestimento. As resinas de formaldeído são componentes de acabamentos de painéis de madeira, papelão e aglomerados, amplamente utilizados nos materiais de construção e mobiliário.

Segundo Wolkoff *et al.* (2010), a concentração média deste agente no interior de habitações é, geralmente, inferior a $0,05 \text{ mg/m}^3$, à excepção de edifícios novos ou com grandes superfícies em madeira, que podem atingir concentrações superiores a $0,1 \text{ mg/m}^3$.

De acordo com a OMS (2008), o formaldeído pode causar ardor nos olhos e garganta, náusea e dificuldade em respirar (pieira e tosse) para exposições superiores a 0,1 ppm. A exposição ocupacional a altas concentrações pode provocar irritação respiratória e reacções asmáticas, podendo também agravar a asma pré-existente. As reacções de pele são também comuns, após exposição, uma vez que este produto químico é, simultaneamente, irritante e alérgico.

Em 1987, a EPA classificou o formaldeído como um provável cancerígeno humano para exposições prolongadas e em concentrações elevadas. A *International Agency for Research on Cancer* (IARC) (2006) classificou-o como um conhecido cancerígeno humano (Grupo 1), concluindo que existem fortes evidências de que o formaldeído causa cancro da nasofaringe, no entanto, não existem ainda provas suficientes que o tornem responsável por casos de leucemia e cancro sinonasal (Pala *et al.*, 2008).

2.3.1.7. Radão

O radão é um gás de origem natural, inodoro, incolor e radioactivo, cujos átomos se desintegram originando outros elementos também radioactivos, expondo o homem às radiações ionizantes.

A sua presença tem uma relação directa com a composição do solo e a sua concentração no ar interior, variando com as características terreno, materiais utilizados na construção, condições de ventilação, origem da água corrente e hábitos de vida e de trabalho (Freitas, 2008).

Em espaços interiores o radão tende a acumular-se, alcançando concentrações que podem ser superiores a 400 Bq/m^3 ou mesmo superiores a 1000 Bq/m^3 . No interior de edifícios ocorrem variações sazonais da concentração de radão, mas inversas às verificadas no ar exterior, resultantes da maior ventilação efectuada nos meses de Verão e da menor ventilação durante o Inverno. A entrada do radão numa habitação dá-se preferencialmente pelas zonas de contacto com a superfície do terreno (ITN, 2005).

Nos Estados Unidos, estudos realizados pela EPA detectaram níveis muito elevados de radão no interior de escolas. Este levantamento nacional estima que, uma em cada cinco escolas, tem pelo menos uma sala de aula com uma concentração de radão acima do nível de acção . 4 pCi/L (148 Bq/m^3) . recomendado neste país. Esta entidade classifica o radão como um carcinogéneo grupo A+. No Canadá, os níveis de radão detectados no interior de habitações são, em média, de 28 Bq/m^3 . Em Portugal, estudos efectuados em 4200 habitações verificaram que cerca de 60% das concentrações de radão se situam abaixo dos 50 Bq/m^3 . Os valores mais elevados foram detectados em casas localizadas em zonas graníticas. Em 2,6% das habitações controladas, os níveis médios anuais de radão são superiores a 400 Bq/m^3 . O RSECE obriga a pesquisa de radão em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

De acordo com a OMS (2009), estudos recentes demonstraram que a presença de radão no interior de edifícios é responsável pelo aumento do número de casos de cancro no pulmão na população da Europa, América do Norte e Ásia. O radão é a segunda causa mais importante de cancro no pulmão em muitos países, depois do tabaco, tendo sido classificado pela IARC (1972) como cancerígeno humano. No entanto, não existe um limiar abaixo do qual este poluente não apresente riscos, pelo que é fundamental ter especial atenção na construção de edifícios (com caixas de ar, ventilação) e na escolha de materiais de construção.

Além do cancro no pulmão, são sugeridos outros efeitos na saúde, contudo, não existem, ainda, evidências suficientes que os comprovem. Vários estudos de corte têm procurado relacionar a exposição ao radão com doenças como, leucemia e doenças cardiovasculares.

2.3.2. Poluentes biológicos

Os ambientes interiores contêm uma complexa mistura de microrganismos (viáveis e não viáveis), fragmentos, toxinas, alergéneos, compostos orgânicos voláteis e outros produtos químicos de origem microbiana.

Geralmente, utiliza-se o termo bioaerosol para descrever poluentes do ar como as partículas associadas a compostos de origem biológica. Este termo foi definido pela ACGIH, em 1999, como partículas aéreas, grandes moléculas ou compostos voláteis que contêm seres vivos ou que foram libertados por estes. O tamanho de uma partícula de bioaerosol pode variar entre 0,01 a 100 µm (Sousa *et al.*, 2001). De acordo com Douwes *et al.* (2002), os bioaerosóis são, normalmente, definidos como aerossóis ou matéria particulada de origem microbiana, vegetal ou animal e é muitas vezes usado como sinónimo de poeira orgânica. Os bioaerosóis ou as poeiras orgânicas podem ser constituídas por bactérias patogénicas ou não patogénicas e fungos, vírus, alergéneos de alto peso molecular, endotoxinas bacterianas, micotoxinas, peptidoglicano, (1-3)- β -D-glucanos, pólen, fibras vegetais entre outros.

Os principais factores que favorecem a proliferação de microrganismos no ar interior são a humidade elevada, a ventilação reduzida, a disponibilidade de nutrientes, a existência de fontes de contaminação interiores (como os sistemas AVAC que utilizam a água no seu funcionamento, materiais de construção e objectos, infiltrações de água e os ocupantes do espaço) e exteriores (tomadas de ar) (Fabiana *et al.*, 2005; Martínez e Callejo, 2006).

A humidade e os microrganismos presentes em edifícios podem afectar a saúde humana através de uma grande variedade de mecanismos biológicos, que incluem infecções, alergias e reacções de hipersensibilidade (Stetzenbach *et al.*, 2004). Os alergéneos, os (1-3)- β -D-glucanos, os COVM e as micotoxinas são produtos/compostos de origem microbiana responsáveis por efeitos adversos na saúde (Bernstein *et al.*, 2008).

Dada a importância da exposição a estes agentes e os seus impactos na saúde, em 2009, a OMS publicou *WHO Guidelines for indoor air quality: dampness and mould*, com o objectivo de preservar a saúde pública e orientar as autoridades responsáveis na formulação de acções e políticas que visem melhorar a segurança e higiene dos edifícios. Neste documento são identificados riscos para a saúde associados aos contaminantes biológicos, através da definição de indicadores que garantam uma melhor QAI.

2.3.2.1. Bactérias

As bactérias, protótipo dos procariotas, apresentam uma organização celular bastante simples e uma grande diversidade morfológica, tendo a sua maioria uma de duas formas: esférica (cocos) ou em bastonete (bacilo) (Ferreira *et al.*, 1998). As células procarióticas possuem uma

parede celular quase sempre constituída por peptidoglicano, sendo também quimicamente e morfologicamente complexa. A maioria das bactérias pode ser dividida em dois grandes grupos Gram-positivas e Gram-negativas, esta divisão é baseada na estrutura da parede celular e na sua resposta ao teste de Gram. Algumas bactérias produzem células mais resistentes . endósporos . que conseguem sobreviver em condições adversas em estado de dormência (Brooks *et al.*, 2001). Além dos endósporos, a maioria das bactérias Gram-negativas produzem endotoxinas que representam um risco ocupacional e ambiental importante.

Estes microrganismos podem ser encontrados no interior de edifícios associados a poeiras ou em superfícies com problemas de humidade. As principais fontes de bactérias presentes no ar interior são o ar exterior, os ocupantes e o crescimento bacteriano resultante de condições ideais de humidade e temperatura. Segundo vários autores, a concentração total de bactérias viáveis em ambientes fechados pode variar entre 10^1 e 10^3 Unidades Formadoras de Colónias por m^3 (UFC/ m^3). Estas concentrações estão, provavelmente, relacionados com o grau de ocupação do edifício e a eficiência da sua ventilação. A literatura não fornece concentrações-tipo em ambientes fechados com problemas de humidade, nem estabelece comparações para o caso de ambientes não húmidos. Além disso, embora a presença de *Streptomyces* e micobactérias darem a indicação de crescimento bacteriano, os níveis normais não foram estabelecidas (OMS, 2009).

Num ambiente sem nenhuma amplificação específica, as bactérias dominantes correspondem às bactérias da flora bacteriana humana, portanto, bactérias Gram-positivas pertencentes aos géneros *Micrococcus* e *Staphylococcus* (Pombo e Varela, 2004).

Quanto aos efeitos na saúde, estes microrganismos estão relacionados com reacções inflamatórias por inalação e doenças respiratórias de origem infecciosa. A Doença dos Legionários, provocada pela *Legionella pneumophila*, está também relacionada com problemas de QAI e pode ser fatal nos grupos mais susceptíveis da população. Este agente infeccioso pode surgir associado a sistemas de refrigeração (ar condicionado, sistemas AVAC), banheiras de hidromassagem, humidificadores entre outros (AAL *et al.*, 2004).

- **Endotoxinas**

As endotoxinas fazem parte da membrana externa da parede celular da maioria das bactérias Gram-negativas. Em termos químicos, as endotoxinas são lipopolissacarídeos (LPS), constituídos por uma região lípida (lípidio A) hidrofóba e uma região polissacarídea hidrófila. Esta última região, contribui para a especificidade antigénica O da espécie bacteriana e apresenta um *core* polissacarídeo, idêntico na maioria das bactérias. O antígeno O é a estrutura essencial para a resposta imunitária e para a formação de anticorpos após infecção. Por outro lado, os LPS mantêm-se biologicamente activos mesmo depois da lise bacteriana e são responsáveis por sintomas severos como bacteremia ou sepsis, por exemplo. O componente responsável pelos efeitos tóxicos dos LPS é o lípidio A (Binding *et al.*, 2003).

Os níveis de endotoxinas em ambientes interiores podem ser entre 100 a 1000 vezes superiores aos níveis medidos em ambientes de controlo (Pombo e Varela, 2004). A inalação de endotoxinas causa reacções inflamatórias nos humanos (especialmente em altas concentrações), como febre, tosse, dores de cabeça e problemas respiratórios.

Muitos estudos ocupacionais têm demonstrado uma associação positiva entre a exposição a endotoxinas e os efeitos na saúde, que incluem efeitos reversíveis (asma) e efeitos crónicos, como, obstrução crónica das vias aéreas, sintomas respiratórios (sintomas de asma, bronquite e binnose) e aumento da responsividade das vias aéreas (Douwes *et al.*, 2002).

A associação entre endotoxinas e a asma infantil é complexa. Liu *et al.* (2004) efectuou uma revisão da literatura relativa à exposição ocupacional de crianças a endotoxinas. Alguns estudos sugerem que, em todas as faixas etárias, a exposição a endotoxinas em habitações localizadas em áreas metropolitanas, intensificam sintomas respiratórios, nomeadamente, os relacionados com a asma. Contudo, existem outros estudos que sugerem que a exposição precoce a endotoxinas pode proteger as crianças da sensibilização atópica e doenças IgE-mediada.

2.3.2.2. Fungos

Os fungos são organismos eucariotas e heterotróficos, apresentando uma grande variedade de espécies. Reproduzem-se, naturalmente, por meio de esporos, com poucas excepções. Além disso, não têm clorofila, são filamentosos e, normalmente, ramificados. As suas necessidades nutricionais incluem carboidratos, proteínas e lípidos, quanto às temperaturas ideais de crescimento variam entre 10-35°C. A água é considerada um factor crítico para o desenvolvimento destes microrganismos.

Algumas espécies produzem alergéneos tipo I encontrados nos esporos e nos fragmentos das hifas. Por outro lado, os esporos e fragmentos de fungos não viáveis podem ainda conter (1-3) -D-glucanos e micotoxinas. Vários fungos produzem metabolitos voláteis . compostos orgânicos voláteis de origem microbiana (COVM). As leveduras são fungos unicelulares também identificados em amostras de ar interior.

Relativamente ao transporte para o interior de edifícios, estes microrganismos podem ser transportados através do vestuário, novos materiais, ventilação natural ou mecânica. Os ambientes internos com problemas de humidade promovem o aparecimento de fungos que, além de representarem um risco para a saúde dos ocupantes, estão associados à degradação química e/ou biológica dos materiais que constituem as estruturas dos edifícios.

A OMS (2009) considera a humidade um indicador de risco para a saúde, estando associada à poluição microbiológica em ambientes interiores. Na Tabela 6 são classificados grupos de

microrganismos potencialmente presentes em materiais de construção e mobiliário de acordo com os níveis de humidade.

Tabela 6: Classificação dos microrganismos de acordo com os níveis de humidade¹

Níveis de humidade (aw ² ; HRE ³)	Categoria dos microrganismos
Alto (aw>0,90; HRE> 90%)	Colonizadores terciários (hidrofilicos): <i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Epicoccum</i> spp. <i>Exophiala</i> spp. <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Mucor plumbeus</i> <i>Phoma herbarum</i> <i>Phialophora</i> spp. <i>Rhizopus</i> spp. <i>Stachybotrys chartarum</i> (S. atra) <i>Trichoderma</i> spp. <i>Ulocladium consortiale</i> <i>Rhodotorula</i> spp. <i>Sporobolomyces</i> spp. Actinobacteria (or Actinomycetes)
Intermédio (aw: 0,80-0,90; HRE: 80-90%)	Colonizadores secundários: <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus versicolora</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Mucor circinelloides</i> <i>Rhizopus oryzae</i>
Baixo (aw <0,80; HRE <80%)	Colonizadores primários (xerófitas): <i>Alternaria citri</i> <i>Aspergillus (Eurotium) amstelodami</i> <i>Aspergillus candidus</i> <i>Aspergillus (Eurotium) glaucus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus penicillioides</i> <i>Aspergillus (Eurotium) repens</i> <i>Aspergillus restrictus</i> <i>Aspergillus versicolorb</i> <i>Paecilomyces variotii</i> <i>Penicillium aurantiogriseum</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium commune</i> <i>Penicillium expansum</i> <i>Penicillium griseofulvum</i> <i>Wallemia sebi</i>

¹ OMS (2009)

² aw - actividade de água; ³ HRE - Humidade Relativa de Equilíbrio

Apesar da grande variedade de espécies de fungos identificadas no interior e exterior de edifícios, os géneros frequentemente associados a efeitos adversos na saúde são *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp., *Penicillium* spp. e *Strachybotrys* spp (Martínez e Callejo, 2006).

Os fungos podem causar doenças em humanos e animais através de uma variedade de mecanismos biológicos, classificados em quatro grupos:

- 1) Infecções;
- 2) Alergias ou reacções de hipersensibilidade;
- 3) Reacções irritantes;
- 4) Reacções tóxicas (Storey *et al.*, 2004).

A revisão bibliográfica publicada pela OMS (2009) sugere que os ocupantes de edifícios com problemas de humidade ou fungos apresentam maior risco de contraírem doenças respiratórias (incluindo, infecciosas). Alguns estudos vão mais longe, sugerindo que nestas condições aumenta o risco de desenvolvimento de doenças como a rinite alérgica e a asma.

As reacções alérgicas podem estar relacionadas com a presença de determinados fungos ou porções de fungos no ar interior ou associadas a compostos extracelulares produzidos pelos mesmos (Kleinheinz *et al.*, 2006).

- **Alergéneos produzidos por fungos**

Os alergéneos podem incluir uma grande variedade de macromoléculas com estruturas que vão desde baixo (principalmente produtos químicos como di-isocianatos) a alto peso molecular, que, geralmente, são proteínas de origem biológica (Douwes *et al.*, 2002). Estes agentes induzem respostas imunológicas específicas que resultam na produção de anticorpos.

Muitas espécies de fungos são produtoras de alergéneos. Estes são, geralmente, glicopeptídeos com propriedades enzimáticas e podem encontrar-se nos esporos, hifas e fragmentos de fungos, no entanto, são libertados em maiores quantidades durante a germinação e crescimento micelial. Espécies dos géneros *Cladosporium*, *Alternaria* e *Aspergillus* foram identificados como produtores de uma variedade de alergéneos, nomeadamente, os mais importantes: Cla h I (*Cladosporium herbarum*), Alt a I e Alt a II (*Alternaria alternata*) e Asp f I e Asp f III (*Aspergillus fumigatus*) (Kalogerakis *et al.*, 2005; OMS, 2009)

Paivi *et al.* (2009) efectuou uma revisão da literatura relativa à investigação mais recente no domínio dos alergéneos presentes no ar interior de escolas. As principais conclusões desta revisão demonstraram que, de facto, as escolas apresentam fontes consideráveis de alergéneos, contribuindo para a exposição das crianças a este tipo de agentes. Contudo, existem ainda poucos dados disponíveis para avaliar até que ponto estas exposições contribuem para a sensibilização alérgica e exacerbação dos sintomas alérgicos.

- **Micotoxinas**

Alguns fungos produzem metabolitos secundários designados micotoxinas. Estas são, na sua maioria, moléculas orgânicas heterocíclicas que interferem na síntese do RNA e causam danos no DNA.

Segundo a OMS (2009), os tricotecenos são as micotoxinas que têm recebido mais atenção por parte dos investigadores. Estas são produzidas pela espécie *Stachybotrys chartarum*.

Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS) é um termo genérico, que abrange as doenças causadas pela inalação de endotoxinas e micotoxinas. É caracterizado por um síndrome gripal,

com sintomas respiratórios proeminentes e febre, que ocorrem poucas horas após a exposição. Os sintomas da ODTs são muito semelhantes aos da pneumonite por hipersensibilidade, não sendo, no entanto, mediados por respostas imunes (Storey *et al.*, 2004).

De acordo com a EPA (2009), existem muitos sintomas e efeitos na saúde relacionados com a inalação de micotoxinas, são exemplos: irritação das mucosas, erupções cutâneas, náuseas, supressão do sistema imunitário, lesões agudas ou crónicas no fígado e sistema nervoso central, efeitos endocrinológicos e cancro. Contudo, a investigação nesta área deve prosseguir, no sentido de clarificar os efeitos na saúde relacionados com a exposição a micotoxinas.

2.3.3. Agentes físicos

2.3.3.1. Ambiente térmico

O bem-estar térmico depende, não só das características fisiológicas dos indivíduos, mas também da idade, actividade metabólica, tipo de actividade, vestuário, temperatura do ar, humidade e velocidade do ar (Martinez e Callejo., 2006; EPA, 2009)

A temperatura e humidade estão directamente relacionadas com as preocupações de conforto térmico subjacentes às queixas de uma pobre QAI. De acordo com o Guia Técnico da Agência Portuguesa do Ambiente (2010) a temperatura, a humidade e a ventilação são, entre outros, factores que podem afectar a QAI, bem como as concentrações dos poluentes no interior de edifícios. Estes podem influenciar o desenvolvimento de microrganismos no ambiente interior e a dispersão dos contaminantes do ar.

A uniformidade da temperatura nos espaços é um factor importante para o conforto térmico dos ocupantes. Além disso, temperaturas elevadas fazem com que o organismo não consiga dissipar o calor, levando ao aumento da temperatura corporal, aumento do batimento cardíaco, sonolência e redução do desempenho. Por vezes, apesar da temperatura do ar se encontrar dentro da gama de conforto, a existência de fontes de calor radiante (superfícies muito quentes ou muito frias) podem proporcionar situações de desconforto para os indivíduos.

A humidade é também um factor que influencia o conforto térmico. O aumento da humidade impede a evaporação do suor, reduzindo a resistência do organismo às altas temperaturas. A humidade relativa (HR) é o parâmetro utilizado para definir as condições de humidade de determinado ambiente interior. De acordo com a ISO 7726:1998, a HR mede a quantidade de vapor de água que existe no ar em relação ao máximo que o ar poderia conter à mesma temperatura e pressão. Valores extremos de HR provocam desconforto nos ocupantes. Por outro lado, uma HR baixa tem sido associada à irritação das mucosas e vias respiratórias superiores.

A velocidade do ar é também um factor importante para manter o conforto térmico humano e influencia a dispersão dos poluentes em espaços interiores

2.4. Enquadramento legal

O conhecimento actual e as evidências científicas sobre os efeitos na saúde associados à contaminação do ar interior justificaram a necessidade de se criarem pressupostos legislativos a nível nacional e internacional nestas matérias.

Em Portugal, no âmbito da QAI surgiram diplomas que traduzem a implementação de medidas práticas em defesa da saúde pública, no que concerne à qualidade do ar em espaços interiores. A necessidade de conciliar a eficiência energética com o conforto e promoção da saúde em espaços interiores conduziu ao desenvolvimento do Sistema Nacional de Certificação Energética e QAI nos edifícios, denominado por SCE.

De seguida são apresentados os diplomas legais do SCE em vigor que transpõem parcialmente a Directiva n.º 2002/91/CE de Desempenho Energético dos Edifícios, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro.

- **Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril** - Aprova o SCE, define o âmbito de aplicação, as entidades gestoras do sistema e respectivas normas gerais;
- **Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril** . Aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este diploma estabelece os requisitos para a QAI e de renovação e tratamento de ar. Aplica-se a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização. Define requisitos que englobam a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização, a obrigatoriedade de auditorias e inspecções periódicas e a garantia da QAI;
- **Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril** . Aprova o novo Regulamento Nacional de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Estabelece os requisitos de qualidade para novos edifícios de habitação e pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível de isolamento de paredes e pavimentos, tipo de coberturas e superfícies vidradas, limitando perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos.

A Tabela 7 apresenta as concentrações máximas de referência (CMR) para os agentes químicos, biológicos e físicos do ar interior preconizadas no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril Anexo VII . Concentrações Máximas de Referência de poluentes no interior dos edifícios existentes) e Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril (artigo 14º - Condições Interiores de Referência).

Tabela 7: Valores de referência nacionais para os parâmetros químicos, biológicos e térmicos da QAI

Parâmetro	Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de Abril
	Concentração Máxima de Referência (CMR) /Valores de referência
Partículas Suspensas no Ar (PM ₁₀)	0,15 mg/m ³
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800 mg/m ³
Monóxido de carbono (CO)	12,5 mg/m ³
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)	0,6 mg/m ³
Formaldeído (HCOH)	0,1 mg/m ³
Ozono (O ₃)	0,2 mg/m ³
Radão ¹	400 Bq/m ³
Microorganismos . Bactérias	500 UFC/m ³
Microorganismos . Fungos	
<i>Legionella</i>	100 UFC/L
Velocidade do Ar (<i>v_{ar}</i>)	n0,2 m/s
Caudais mínimos de ar novo	30 m ³ /(h.ocupante) Tipo de Actividade: salas de aula
Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril	
Humidade Relativa do Ar (HR)	50%
Temperatura do Ar (<i>t_a</i>)	20°C- Verão 25°C - Inverno

¹ Avaliação recomendada apenas em edifícios localizados em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco

2.5. A problemática da QAI em edifícios escolares

Um ambiente escolar saudável reduz os riscos para a saúde e contribui para um melhor desempenho escolar (Mendell *et al.*, 2005; Tippayawong *et al.*, 2009).

As crianças e jovens são indivíduos particularmente sensíveis à poluição do ar interior e permanecem grande parte do seu tempo no interior de edifícios, nomeadamente, em jardins-de-infância e escolas. A OMS (2009) aponta as razões pelas quais a poluição do ar é mais perigosa para as crianças do que para os adultos, são elas:

- Respiram maior volume de ar por unidade de peso corporal;
- Têm comportamentos que as colocam em risco de maior contacto com os poluentes ambientais;

- Passam mais tempo no interior dos edifícios;
- Pulmões imaturos e tecidos não totalmente desenvolvidos;
- Não controlam os ambientes que ocupam.

Muitos estudos sugerem que os edifícios escolares apresentam uma pobre QAI, devido essencialmente:

- ao funcionamento e manutenção inadequado das instalações, devido à falta de financiamento (Mendell *et al.*, 2005; EPA, 2009);
- à ventilação inadequada na maioria das salas de aula, (elevados níveis de CO₂), devido à necessidade de poupança de energia (Mendell *et al.*, 2005; Madureira, 2005; Clements-Croome *et al.*, 2008);
- taxa de ocupação elevadas (1,8-2,2 m²/pessoa) (Clements-Croome *et al.*, 2008).

Além dos factores referidos, acrescentam-se a má qualidade das construções, os inadequados processos de limpeza e a existência de humidades, bem como as actividades escolares que, ao nível do ensino pré-escolar, implicam a existência de uma série de mobiliário, material didáctico e utilização de produtos para o desenvolvimento de trabalhos manuais (ex. tintas e colas), que podem representar potenciais fontes de poluentes do ar interior.

Tendo em consideração que a QAI é um problema de saúde pública e que as crianças representam um grupo de risco, alguns países desenvolveram ferramentas que visam melhorar a QAI dos edifícios escolares. Assim, em 2006, o Ministério da Saúde português aprovou o Programa Nacional de Saúde Escolar+ que tem como um dos principais objectivos promover um ambiente escolar seguro e saudável. Deste modo, a escola deverá assegurar um ar interior livre de poluição, reduzindo a exposição das crianças aos riscos físicos, químicos e biológicos. A EPA (2009) criou um programa . *Indoor Air Quality Tools for Schools+* (2009) . e garante que se as escolas não responderem prontamente aos problemas relacionados com a QAI podem:

- Aumentar a curto ou a longo prazo os problemas de saúde dos ocupantes de edifícios escolares (tais como tosse, irritação nos olhos, dor de cabeça, reacções alérgicas e, em casos mais raros, doença dos Legionários ou envenenamento por monóxido de carbono);
- Agravar a asma e outras doenças respiratórias. Quase uma em cada treze crianças em idade escolar tem asma, a principal causa de absentismo escolar. Há evidências substanciais que a exposição a alérgenos do ambiente interior, como ácaros e fungos, desempenham um papel importante no desenvolvimento de sintomas de asma. Estes alérgenos são muito comuns nas escolas. Além disso, há também evidências que queima de combustíveis (autocarros escolares e outros veículos) agrava a asma e alergias. Estes problemas podem por sua vez:
 - Ter impacto na frequência, conforto e desempenho dos alunos;
 - Reduzir o desempenho pessoal do professor;

- Acelerar a deterioração dos equipamentos e ter impacto na própria organização dos espaços;
- Aumentar o encerramento de escolas ou a deslocação dos ocupantes;
- Aumentar a tensão entre a administração das escolas, pais e funcionários;
- Levar ao desenvolvimento de uma publicidade negativa;
- Ter impacto na confiança da comunidade;
- Criar problemas de responsabilidade.

2.5.1. Prevenção e controlo da QAI em edifícios escolares

De acordo com a EPA (2009) existem seis métodos básicos de controlo da concentração de poluentes no ar interior em escolas, são eles:

1. **Controlo da fonte emissora** É que pode envolver a eliminação, redução, substituição ou encapsulamento da fonte emissora do poluente.
2. **Exaustão localizada** - pode remover fontes de poluentes pontuais (como por exemplo, aplicação em cozinhas).
3. **Ventilação** É objectiva %iluir+a concentração de poluentes %ndoor+
4. **Controlo da exposição** É ajustar os períodos e locais de utilização de fontes de poluentes (ex: evitar o uso de produtos de limpeza durante a ocupação dos espaços).
5. **Purificação do ar** É implica a passagem do ar por filtros colocados nos sistemas de ventilação. A filtração é importante na remoção de partículas, incluindo agentes microbianos, que podem causar problemas de saúde nos ocupantes dos edifícios escolares.
6. **Educação** É os ocupantes dos edifícios escolares podem reduzir a sua exposição, se compreenderem a necessidade de manter um ambiente interior saudável e as formas de prevenir, eliminar ou controlar os poluentes.

O controlo da fonte emissora é o método mais eficaz para evitar a contaminação do ar interior (OEHS, 2003; EPA, 2009). Como exemplo deste tipo de acção, temos a substituição das fontes emissoras, que pode estar relacionada com a substituição de materiais, mobiliário ou produtos utilizados nos espaços e que representam potenciais fontes de poluentes, como COVs e formaldeído.

2.5.2. Projectos de Investigação de QAI em edifícios escolares

A nível internacional, existem projectos de investigação no domínio da QAI em edifícios escolares, entre os quais:

- HITEA *School (Health Effects of Indoor Pollutants: Integrating microbial, toxicological and epidemiological approaches)*;

- AIRMEX *project (European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Study)*;
- SEARCH *project (School Environment and Respiratory Health Children)*;

Em Portugal, foi desenvolvido um estudo de QAI, entre 2004-2006, - %Saúde Ambiental em Ambiente Escolar+ - em escolas da cidade do Porto com apoio pela Fundação Calouste Gulbenkian . Programa Gulbenkian Ambiente.

3.1. AMOSTRA

O presente estudo foi realizado no concelho da Maia, que apresenta um parque escolar público constituído por sete estabelecimentos de ensino que funcionam exclusivamente como jardins-de-infância.

3.1.1. Jardins-de-Infância

Numa primeira fase, com a colaboração da Unidade de Saúde Pública do ACES-Maia, efectuou-se o levantamento dos estabelecimentos de ensino que funcionavam exclusivamente como jardins-de-infância (JI), bem como, os respectivos anos de construção. Dos sete estabelecimentos existentes, foram estudados quatro, sendo que dois são de construção centenária e os restantes de construção recente. Todas as salas de aula dos JI foram monitorizadas (N=9) durante um dia normal de actividades lectivas.

A escolha da amostra prendeu-se, essencialmente, com facto dos estabelecimentos de ensino apresentarem o mesmo tipo de actividades escolares.

Numa segunda fase, realizaram-se vistas de reconhecimento aos referidos estabelecimentos, com o objectivo de estabelecer contacto com os responsáveis, proceder à caracterização geral das salas de aula e definir os pontos de amostragem dos parâmetros ambientais.

De modo a manter a confidencialidade dos dados, os JI centenários foram codificados como JI-A e JI-B e os recentes como JI-C e JI-D.

3.2. MÉTODOS

O método utilizado para caracterizar a QAI dos edifícios escolares dividiu-se em duas componentes principais:

- Caracterização estrutural das salas de aula a avaliar com aplicação de uma ficha de caracterização;
- Monitorização dos parâmetros ambientais: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), partículas suspensas no ar (PM₁₀), compostos orgânicos voláteis totais (COVT), agentes microbiológicos - bactérias e fungos, temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar.

Importa referir que os parâmetros CO₂, CO, PM₁₀, temperatura do ar e humidade relativa foram monitorizados em contínuo durante todo o horário escolar.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS A AVALIAR

3.3.1. Ficha de caracterização

Com o objectivo de proceder à caracterização das salas de aula, elaborou-se uma ficha de caracterização (Anexo I), que engloba vários factores que podem directamente influenciar os parâmetros de QAI em estudo, como por exemplo, as condições estruturais das salas de aula, o tipo de ventilação, o tipo de sistema de aquecimento, os procedimentos de limpeza e as possíveis fontes de poluentes (internas e externas). A sua elaboração foi baseada na pesquisa bibliográfica efectuada.

O JI-A é constituído por duas salas de aula e o JI-B por, apenas, uma. Por outro lado, tanto o JI-C como o JI-D apresentam três salas de aula. As Tabelas 8 e 9, apresentam as características estruturais e da envolvente de cada JI estudado.

Tabela 8: Características dos edifícios escolares de construção centenária

Características	JI-A	JI-B
Ano de construção	1982	1928
Área (m ²)	Sala 1- 41 m ² Sala 2- 41 m ²	Sala 1- 110 m ²
Número máximo de ocupantes	25	25
Horário de Funcionamento ¹	Das 9h às12h e das 13h30 às 15h30	Das 9h às12h e das 13h30 às 15h30
Ventilação	Natural	Natural
Orientação das janelas/superfícies envidraçadas	Sala 1- Sudoeste; Sala 2- Sudoeste	Sala 1- Sul
Sistema de aquecimento	Eléctrico	Lenha (salamandra)
Cozinha	Inexistente	Inexistente
Sinais de humidade e/ou infiltrações	Inexistente	Presença de humidade (junto às janelas)
Principais materiais	Madeira envernizada Tinta plástica Corticite Carpetes	Madeira envernizada Tinta plástica Corticite
Envolvente	Zona habitacional/rural A 1,5 km de uma zona Industrial	Zona habitacional/rural A 1 km de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)

Tabela 9: Características dos edifícios escolares de construção recente

Características	Jl-C	Jl-D
Ano de construção	2002	2005
Área (m ²)	Sala 1- 47 m ² Sala 2- 42 m ² Sala 3- 47 m ²	Sala 1- 49 m ² Sala 2- 49 m ² Sala 3- 45 m ²
Número máximo de ocupantes	25	25
Horário de Funcionamento ¹	Das 9h às 12h e das 13h30 às 15h30	Das 9h às 12h e das 13h30 às 15h30
Ventilação	Natural	Inexistente
Orientação das janelas/superfícies envidraçadas	Sala 1- Oeste Sala 2- Oeste Sala 3- Oeste	Sala 1- Sul; Sala 2- Sul e Este; Sala 3- Este.
Sistema de aquecimento	Eléctrico	Gás de rede
Cozinhas	Inexistente	Inexistente
Sinais de humidade e/ou infiltrações	Inexistente	Infiltrações nos tectos e paredes das salas 1 e 2.
Principais materiais	Linóleo Tinta plástica Corticite Carpetes	Linóleo Tinta plástica Corticite Carpetes
Envolvente	Zona habitacional, junto ao centro da cidade; A 140 m de uma bomba de gasolina. A 1,4 km de uma via de tráfego intenso.	Zona habitacional A 100 m de um parque com espaços verdes.

¹ o tempo de permanência dos ocupantes nas salas de aula, variava de acordo com o tipo de actividades. Além disso, as monitorizações só iniciavam quando todos os ocupantes se encontravam nas salas de aula.

3.3.2. Ficha de recolha de informação

Além das características estruturais dos espaços, também o modo de funcionamento das salas de aula, nomeadamente, no que diz respeito à variação do número de ocupantes, actividades desenvolvidas pelos ocupantes, abertura e fecho de portas e janelas e procedimentos de limpeza pode influenciar a QAI. Deste modo, procedeu-se à elaboração de uma ficha para recolha de informação (Anexo II) aplicada durante a monitorização das salas de aula. Esta ficha auxiliou a compreensão das variações dos parâmetros ao longo do horário escolar.

Os dados recolhidos através das fichas foram utilizados para analisar convenientemente os resultados, bem como auxiliar na recomendação de eventuais medidas de cariz preventivo e correctivo.

3.4. MONITORIZAÇÃO DA QAI

Após a caracterização dos locais a avaliar, procedeu-se à monitorização dos parâmetros ambientais que caracterizam a QAI de cada sala de aula, são eles:

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Partículas suspensas no ar (PM₁₀);
- Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT);
- Agentes microbiológicos . fungos e bactérias (Gram positivas e Gram negativas);
- Temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar.

A selecção dos pontos de amostragem teve em consideração o *layout* das salas de aula, a localização de portas e janelas e a existência de fontes de contaminação interior, como por exemplo, a presença de humidade. Além disso, procurou-se não interferir com as actividades dos ocupantes, de modo a que os resultados da monitorização fornecessem uma imagem representativa das condições habituais de utilização dos espaços.

Para efeitos de comparação, todos os parâmetros ambientais referidos foram avaliados no exterior.

3.4.1. Equipamentos de medição e técnicas de amostragem e análise

A medição dos parâmetros térmicos . temperatura do ar e humidade relativa . bem como a determinação dos níveis de CO₂ e CO, realizou-se em contínuo e foi efectuada através do equipamento de leitura directa IAQ-CALC™- Modelo 8762, a uma altura de 1,5± 0,5m acima do chão e a uma distância de 0,5m das parede e após estabilização do equipamento (15 minutos), conforme indica o Guia Técnico de Qualidade do Ar em Espaços Interiores da Agência Portuguesa do Ambiente de 2010. Os dados foram transferidos para o sistema informático através do *software* TSI LOGDAT™.

Para as medições de velocidade do ar utilizou-se o termoanemómetro - TSI Velocicalc Modelo 8345 e, conforme especificado na norma ISO 7726:1998, foram efectuadas medições a 3 alturas: tornozelos, abdómen e cabeça.

A amostragem de PM₁₀ foi realizada em contínuo a uma altura de 1,5± 0,5m acima do chão e a uma distância de 0,5m das paredes, através de um equipamento de leitura directa DUST TRAK™ *Aerosol Monitor* - Modelo 8520. As leituras iniciaram depois da estabilização do equipamento (15 minutos) e todos os dados foram transferidos para o sistema informático através do *software* TSI TRAKPROi *Data Analysis Software*.

Para a determinação das concentrações de COVT utilizaram-se tubos de adsorção (Tenax GR) ligados a bombas de aspiração de ar (SKC 222) com um caudal igual a 0,05 L/min. O período

de colheita foi cerca de 45 minutos. Após as colheitas, os tubos foram identificados e sujeitos a análise laboratorial através de cromatografia gasosa (*Gas Chromatography* - GC) com desadsorção térmica e detector de ionização de chama (*Flame Ionisation Detector* - FID). Para verificar a influência das actividades escolares e ocupação dos espaços nas concentrações de COVT, foram efectuadas avaliações deste agente em períodos diferentes. As primeiras colheitas foram realizadas com actividades escolares (AE) e as segundas sem actividades escolares (SAE).

Na avaliação microbiológica do ar utilizou-se o equipamento de recolha de ar MAS 100 (MERCK), regulado para um volume de 100 L e 250 L. A Tabela 10 apresenta os meios de cultura, tempo e temperaturas de incubação para os parâmetros microbiológicos pesquisados.

Tabela 10: Meios de cultura, tempo e temperaturas de incubação dos parâmetros microbiológicos

Meio de Cultura	Microrganismo	Tempo de incubação	Temperatura de incubação
<i>Trypticase Soy Agar</i> (TSA)	Microrganismos mesófilos totais a 37°	2 dias	37°C
<i>Manitol Salt Agar</i> (MSA)	Bactérias Gram positivas	2 dias	37°C
<i>MacConkey Broth</i>	Bactérias Gram negativas	2 dias	37°C
<i>Malt Extract Agar</i> (MEA)	Fungos	5 dias	25°C

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).

Os métodos de amostragem e respectivas técnicas de análise são baseados em métodos propostos pela Nota Técnica - Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE (NT-SCE-02). A Tabela 11 apresenta os equipamentos, técnicas e métodos de análise utilizados.

Tabela 11: Equipamentos, métodos e técnicas de amostragem e análise

Parâmetro	Equipamento	Equipamento de análise	Técnica de análise
COVT	Tubos de adsorção (<i>Tenax GR</i>) ligados a bombas de aspiração de ar (SKC 222)	Cromatografo gasoso com detector de ionização de chama. <i>Perkin Elmer, Auto System</i>	Cromatografia em fase gasosa com desadsorção térmica e detector FID (CG-FID)
CO ₂ CO Temperatura do ar e humidade relativa	IAQ-CALC™ - Modelo 8762 ¹	Sensor infravermelho não dispersivo Sensor electroquímico Termopar em platina e detector capacitivo, respectivamente	
Velocidade do ar	Termoanemómetro : TSI Velocicalc - Modelo 8345 ¹	Sonda telescópica	
PM ₁₀	DUST TRAK™ <i>Aerosol Monitor</i> - Modelo 8520 ¹	Sensor por fotometria a laser em tempo real	
Microrganismos viáveis	MAS 100 (MERCK)	Contagem de Unidades Formadoras de Colónias (UFC)	

¹ equipamento de leitura directa.

3.5. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Os valores obtidos na avaliação dos parâmetros químicos, físicos e biológicos foram comparados com o Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril (Anexo VII . Concentrações Máximas de Referência de poluentes no interior dos edifícios existentes) e Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril (artigo 14º - Condições Interiores de Referência) e normalização internacional, apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Valores de referência nacionais e internacionais para parâmetros de QAI

Parâmetro	Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de Abril		Recomendações Internacionais
	Concentração Máxima de referência (CMR)		
CO ₂	984 ppm		Diferença I/E* não deve exceder 700 ppm
CO	10,7 ppm		Para 8h de exposição o valor máximo de CO recomendado é 9 ppm.
PM ₁₀	0,15 mg/m ³		---
COVT	0,6 mg/m ³		< 0,2 mg/m ³
Bactérias	500 UFC/m ³		500 UFC/m ³
Fungos			
Velocidade do ar	0,2 m/s		0,19 m/s (Verão) e 0,16 m/s (Inverno)
Parâmetro	Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril	Decreto-lei n.º 243/1986 de 20 de Agosto	<0,25 m/s
Temperatura do ar	20°C- Verão 25°C - Inverno	18°C-22°C	Verão: 23 a 26 °C Inverno: 20 a 23 °C
Humidade Relativa	50%	50%-70%	30 a 65%
Densidade de ocupação (valor padrão)	----		Estabelecimentos de ensino: - Até aos 4 anos: 25 pessoas/100 m ² - Entre os 5-8 anos: 25 pessoas/100 m ²

*I/E . Interior/Exterior;

3.6. 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 os parâmetros CO₂ e CO, utilizou-se o teste-t para amostras independentes. Para a análise dos COVT utilizou-se o teste de hipóteses *Man-Whitney*. As correlações entre variáveis foram efectuadas através do teste de Spearman.

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.

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na monitorização da QAI nos quatro jardins-de-infância (JI) estudados. Todos os agentes químicos, à excepção do COVT, e parâmetros térmicos foram monitorizados continuamente durante o horário escolar. As avaliações de COVT foram efectuadas com actividades escolares (CAE) e sem actividades escolares (SAE)). Relativamente aos parâmetros microbiológicos, apresentam-se as concentrações médias detectadas em cada período do dia (manhã e tarde) e são identificados os fungos encontrados no interior e exterior dos edifícios. Para facilitar a visualização e discussão dos resultados, os JI encontram-se agrupados por tipo de construção (centenários e recentes). As concentrações médias de cada agente avaliado são comparadas com a legislação e normalização aplicável.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS JARDINS-DE-INFÂNCIA ESTUDADOS

As Tabelas 13 e 14 apresentam os dados relativos ao funcionamento das salas de aula, durante as monitorizações, por tipo de JI.

Tabela 13: Dados sobre o funcionamento das salas de aula dos JI centenários

Jardins-de-Infância centenários - JI-A e JI-B						
Identificação		Nº de ocupantes	Principais actividades desenvolvidas	Processos de limpeza	Portas e janelas	Intervalos
JI-A	Sala 1	25	Colagens e pintura; Diálogo e leitura.	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã e tarde).	Porta fechada: 10h15-11h15 e entre as 13h30-14h10	Manhã: 10h Almoço: 12h
	Sala 2	17	Colagens e pintura; Diálogo e leitura.	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã e tarde).	Porta fechada: 13h30-14h30.	Manhã: 10h20; Almoço: 12h
JI-B	Sala 1	23	Colagens e pintura; Utilização de material didáctico: <i>puzzles</i> e jogos; Leitura	Limpeza de mesas e pavimento (varredura), após actividades escolares (manhã e tarde).	Portas e janelas fechadas no horário escolar.	Almoço: 12h

Tabela 14: Dados sobre o funcionamento das salas de aula dos JI recentes

Jardins-de-Infância recentes - JI-C e JI-D						
Identificação		Nº de ocupantes	Principais actividades desenvolvidas	Processos de limpeza	Portas e janelas	Intervalos
JI-C	Sala 1	27	Colagens e pintura;	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã e tarde).	Janela parcialmente aberta: 14h30-15h15	Manhã: 10h Almoço: 12h

Jardins-de-Infância recentes - JI-C e JI-D						
Identificação		Nº de ocupantes	Principais actividades desenvolvidas	Processos de limpeza	Portas e janelas	Intervalos
	Sala 2	17	Actividades de culinária; Diálogo e utilização de material didáctico.	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã e tarde).	Janela parcialmente aberta durante todo o horário escolar; Janela totalmente aberta no período de almoço.	Almoço: 12h
	Sala 3	21	Diálogo e leitura; Pintura com lápis de cor.	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã e tarde).	Janela parcialmente aberta: 14h20-15h	Manhã: 11h Almoço: 12h
JI-D	Sala 1	23	Pintura com lápis de cor; Utilização de material didáctico: puzzles e jogos; Leitura.	Limpeza de pavimento (varredura).	Porta que dá acesso ao exterior fechada.	Almoço: 12h
	Sala 2	7	Utilização de material didáctico: puzzles e jogos; Leitura e desenho.	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã e tarde).	Porta que dá acesso ao exterior fechada.	Almoço: 12h
	Sala 3	Manhã: 25 Tarde: 0	Diálogo e leitura; Pintura.	Limpeza de mesas, após actividades escolares (manhã); Limpeza de mesas e pavimento (varredura) no final do dia.	Porta que dá acesso ao exterior fechada.	Almoço: 12h

4.2. MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL

4.2.1. Análise da concentração de CO₂

A Figura 6 apresenta a variação dos níveis de CO₂ e do número de ocupantes, ao longo do horário escolar, nas salas de aula dos JI centenários.

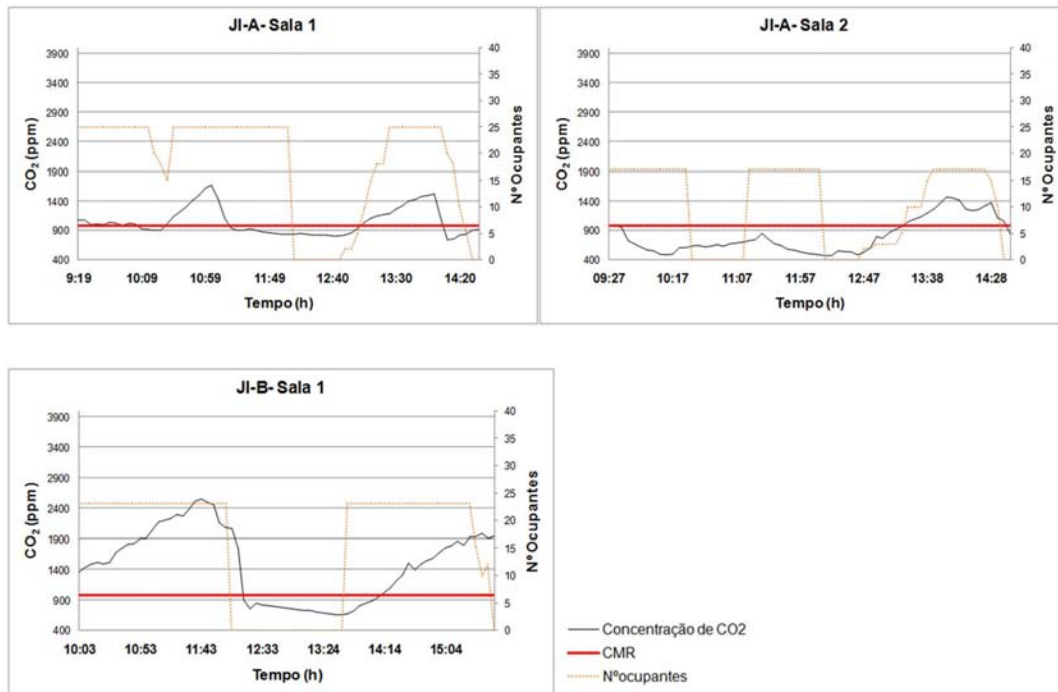


Figura 6: Variações da concentração de CO₂ e número de ocupantes nos JI centenários

Através da análise dos gráficos da Figura 6 relativos às salas 1 e 2 do JI-A observa-se uma tendência para níveis mais elevados de CO₂ ao final da manhã e da tarde. Comparando as duas salas do JI-A, é possível constatar que as concentrações, ao longo do horário escolar, são superiores na sala 1, o que pode ser explicado pelo facto desta sala ter mantido portas e janelas fechadas no período da manhã, entre as 10h15 e as 11h15 e no período da tarde entre a 13h30 e 14h10. Por outro lado, a sala 2 manteve a porta de acesso ao recreio, permanentemente aberta, durante toda a manhã (até à 13h30), fechando-a durante cerca de 1h no período da tarde. Este procedimento manteve as concentrações de CO₂ abaixo da concentração máxima de referência (CMR) durante toda a manhã. Este resultado, tal como Heudorf *et al.* (2009) constataram no seu estudo em salas de aula, elevados níveis de CO₂ reflectem uma ventilação deficiente. Além da ventilação inadequada, a sala 1 apresenta maior densidade de ocupação que a sala 2, tendo em consideração o valor padrão recomendado na ASHRAE Standard 62.1 2004.

Relativamente à sala 1 do JI-B, observam-se picos de concentração, consideravelmente, superiores aos observados nas restantes salas. Neste caso, além das portas e janelas se manterem fechadas durante o período de permanência dos ocupantes, no período da manhã não ocorreu nenhuma paragem das actividades escolares, o que poderá ter influenciado as concentrações deste agente, visto que a ocupação humana influencia as concentrações de CO₂ em ambientes interiores (Fromme *et al.*, 2007).

De um modo geral, verificou-se que em todas as salas de aula do JI-A e JI-B, as concentrações médias foram mais elevadas durante os períodos de maior ocupação, variando entre 857 ± 317 ppm e 1696 ± 497 ppm, e menores durante os intervalos da manhã e almoço, variando entre 636 ± 137 ppm e 926 ± 436 ppm.

A Figura 7 apresenta as variações dos níveis de CO_2 ao longo do horário escolar nos JI recentes.

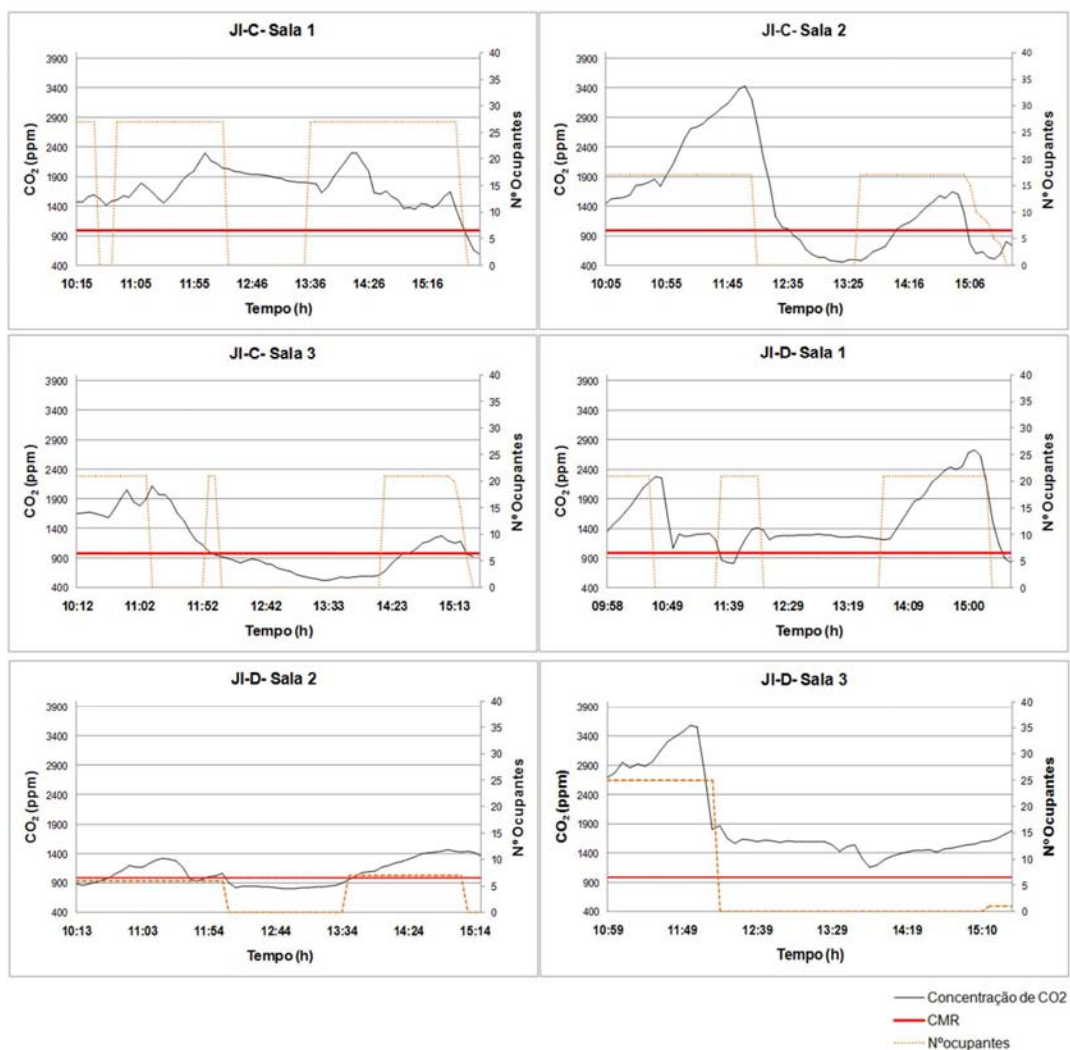


Figura 7: Variações de concentração de CO_2 e número de ocupantes nos JI recentes

A análise dos gráficos da Figura 7 relativos ao JI-C permite verificar que os níveis de ventilação das salas não foram suficientes para manter as concentrações de CO_2 em concentrações aceitáveis. A sala 1 do JI-C será o melhor exemplo para demonstrar que a ventilação destes espaços é inadequada, visto que mesmo com a sala desocupada (período de almoço), os níveis de CO_2 não apresentaram uma diminuição acentuada, mantendo-se, inclusive, acima do CMR. Relativamente à sala 2, atingiram-se concentrações de CO_2 na ordem dos 3400 ppm (por volta das 12h00 m), apesar de uma das janelas se manter parcialmente aberta. A sala 3

apresenta uma diminuição das concentrações no período da tarde, explicada pela ausência dos ocupantes até às 14h20. Todas as salas de aula do JI-C, apresentam janelas de grandes dimensões, contudo, estas mantêm-se, apenas, parcialmente abertas durante o horário escolar, uma vez que promovem a ocorrência de correntes de ar que interferem com actividades desenvolvidas. Além disso, devido à falta de sensibilização dos educadores, as janelas são ocupadas com cartazes e trabalhos desenvolvidos pelas crianças, o que dificulta a sua abertura.

Na sala 1 do JI-D as concentrações máximas de CO₂ verificaram-se ao final do dia, o que mais uma vez reflecte o impacto da ocupação e, neste caso da inexistência de ventilação (natural ou mecânica). A sala 2 apresentou concentrações mais baixas que as restantes, devido ao número reduzido de ocupantes. Relativamente à sala 3, observou-se uma ocupação máxima do espaço no período da manhã e atingiram-se níveis de CO₂ na ordem dos 3500 ppm. Durante a tarde, apesar da ausência total de ocupantes, os níveis mantiveram-se acima da CMR, o que reflecte a ventilação inadequada do espaço. No caso do JI-D, a estrutura do edifício condiciona as condições de ventilação, já que não existem janelas ou outras aberturas similares, bem como sistemas de ventilação mecânica, que assegurem o correcto arejamento dos espaços.

As concentrações médias de CO₂ nos JI recentes, durante os períodos de ocupação, variaram entre 1158±180 ppm e 3004±452 ppm e na ausência dos ocupantes atingiram valores entre 919 ppm e 1663 ppm.

Para todos os JI encontrou-se correlação entre o número de ocupantes e as concentrações de CO₂ (JI-A: $r = 0,403$, $p < 0,01$; JI-B: $r = 0,526$, $p < 0,01$; JI-C: $r = 0,361$, $p < 0,01$; $r = 0,289$, $p < 0,01$).

A tabela 15 apresenta os resultados obtidos para as concentrações médias de CO₂ e respectivos desvios padrões, nos quatro JI avaliados.

Tabela 15: Concentrações médias de CO₂ nos JI avaliados

CO ₂ (ppm) ¹	JI-A		JI-B	JI-C			JI-D		
	Sala 1	Sala 2	Sala 1	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 1	Sala 2	Sala 3
Interior	1045 ±273	805 ±297	1473 ±593	1695 ±540	1484 ±888	1116 ±476	1544 ±489	1077 ±219	1931 ±712,
Exterior	367 ±68	348 ±30	361 ±8	459 ±82	408 ±78	418 ±177	381 ±7	412 ±24	476 ±13

¹média±desvio padrão

Em 90% das salas de aula avaliadas, as concentrações médias de CO₂ ultrapassaram o limite preconizado na lei portuguesa (984 ppm) e, à excepção das salas de aula do JI-A, todos os espaços avaliados apresentam diferenças superiores a 700 ppm entre o interior e o exterior (ASHRAE Standard 62.1 2004). Também Zuraimi *et al.* (2008) obtiveram concentrações médias superiores no interior que no exterior de salas de aula.

Analisando os JI por tipo de construção, constatou-se que os recentes apresentam concentrações médias de CO₂ significativamente superiores ($p < 0,01$) às encontradas nos JI centenários. 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, ruído exterior e correntes de ar 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.

4.2.2. Análise da concentração de CO

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos para as variações das concentrações de CO e valores de temperatura do ar nas salas de aula dos JI centenários durante o horário escolar.

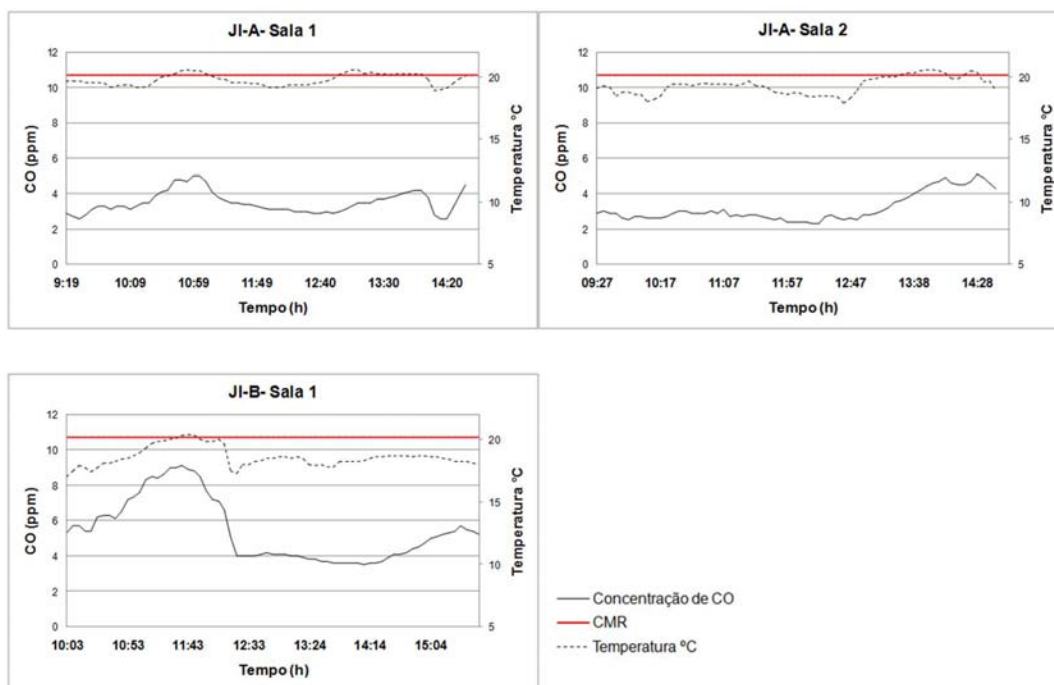


Figura 8: Variações da concentração de CO e valores de temperatura do ar nos JI centenários

A análise dos gráficos da Figura 8 permite verificar que no JI-A, a sala 1 apresentou concentrações de CO mais elevadas no final da manhã (por volta das 11h) e a sala 2 no final do horário escolar.

No JI-B, a sala 1 apresentou um aumento acentuado da concentração de CO no período da manhã e atingiram-se valores de 9 ppm. Neste caso, poderá ter sido o sistema de aquecimento a estar origem destes resultados, já que a sala 1 do JI-B é dotada de uma salamandra, que se encontrou em funcionamento no período da manhã, e o JI-A apresenta um sistema de aquecimento eléctrico. Estes resultados são suportados por um estudo desenvolvido por Motoya *et al.* (2008), que constataram que os picos de CO ocorriam durante o uso de sistemas de aquecimento iguais ao da sala 1 do JI-B.

Nas salas do JI-A, apesar do sistema de aquecimento ser eléctrico, verificou-se um comportamento semelhante das curvas CO/Temperatura, contudo, não foram identificadas fontes internas deste poluente.

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos para as variações das concentrações de CO e valores de temperatura do ar nas salas de aula dos JI recentes durante o horário escolar.

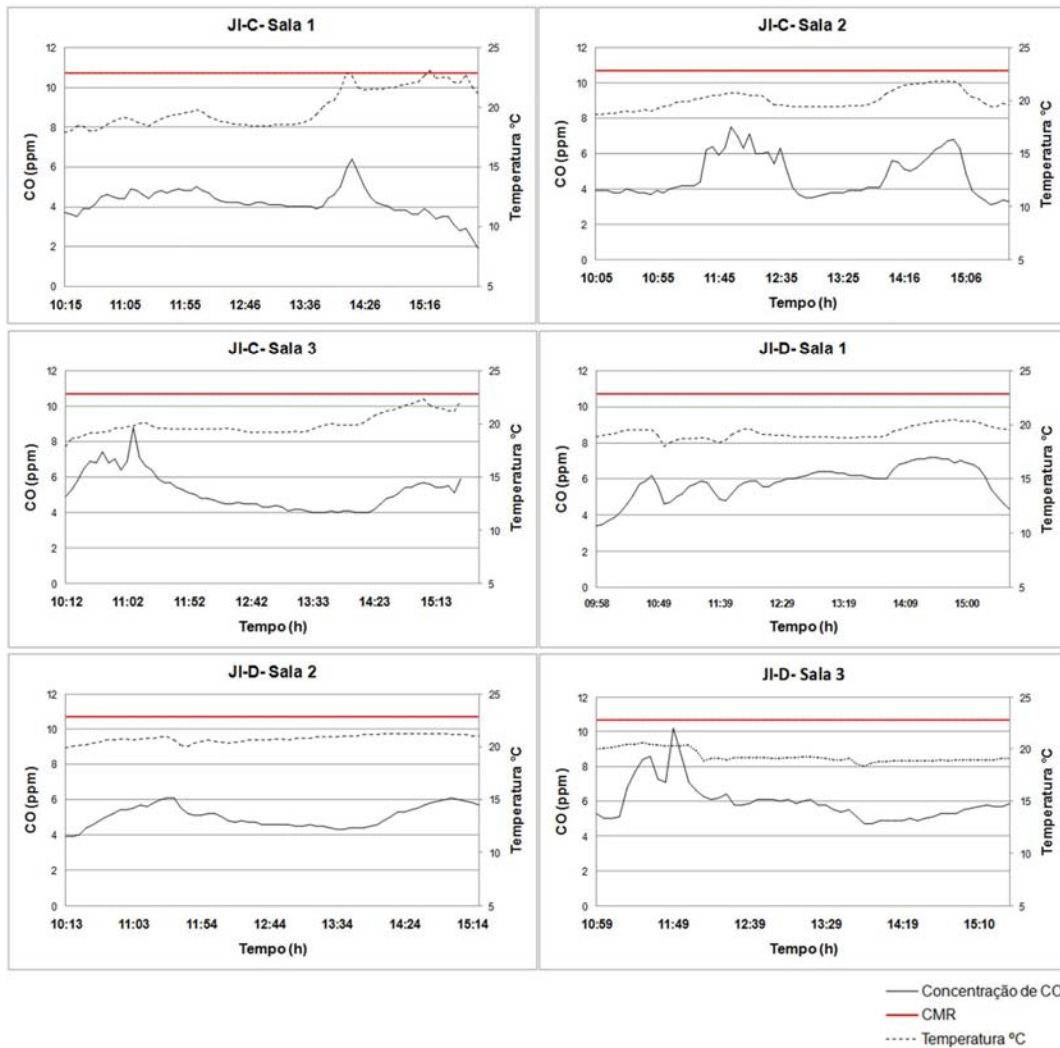


Figura 9: Variações da concentração de CO e valores de temperatura do ar nos JI recentes

Através da análise dos gráficos da Figura 9, verifica-se que as salas de aula dos JI de construção recente apresentam vários picos de CO durante o horário escolar. Relativamente às salas de aula do JI-C, os horários em que ocorrem os picos de CO variam de sala para sala. Além disso, verificou-se, novamente, um comportamento semelhante das curvas CO/temperatura, mas, mais uma vez, não foram identificadas fontes internas deste poluente, visto que o sistema de aquecimento é eléctrico e os profissionais não fumam nas instalações.

No JI-D, o sistema de aquecimento é a gás e verificou-se, novamente, um comportamento semelhante das curvas CO/temperatura. Salienta-se o pico de CO observado na sala 3 do JI-D, por volta das 11h, que atingiu um valor de 10,2 ppm.

Na ausência de fontes internas deste agente, pode sugerir-se que a ocorrência de picos de concentração de CO no interior possa estar relacionada com fontes exteriores, como por

exemplo, o tráfego, tal como Chaloulakou *et al.* (2002) constataram. No entanto, para compreender melhor a origem deste agente, seria necessário estudar as suas variações no interior e exterior. Além disso, visto que o comportamento das curvas CO/temperatura foi similar em todas as salas de aula, seria importante, compreender quais os fenómenos que originaram este comportamento.

Na Tabela 16 encontram-se as concentrações médias CO obtidas no interior e exterior dos edifícios escolares.

Tabela 16: Concentrações médias de CO no interior e exterior dos JI

CO (ppm) ¹	JI-A		JI-B	JI-C			JI-D		
	Sala 1	Sala 2	Sala 1	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 1	Sala 2	Sala 3
Interior	3,5 ±0,62	3,2 ±0,80	5,4 ±1,76	4,2 ±0,71	4,7 ±1,18	5,2 ±1,06	5,8 ±0,93	5,0 ±0,61	6,0 ±1,10
Exterior	2 ±0,42	3,7 ±0,07	1,5 ±0,02	4,7 ±0,21	3,8 ±0,13	3,3 ±0,19	2 ±0,23	2,2 ±0,18	2,4 ±0,06

¹média±desvio padrão

Nenhuma das salas de aula avaliadas ultrapassou o limite estabelecido na legislação portuguesa para a concentração média de CO (10,7 ppm). As concentrações exteriores são, na maioria dos casos, inferiores às encontradas no interior, tal como constatou Zuraimi *et al.* (2008) num estudo realizado em centros de acolhimento para crianças.

Comparando os dois tipos de construção constatou-se que os JI recentes apresentam níveis médios de CO significativamente superiores ($p < 0,01$) aos verificados nos JI centenários.

4.2.3. Análise da concentração de PM₁₀

A Figura 10 apresenta os resultados obtidos na monitorização de PM₁₀ nas salas de aula dos JI centenários.

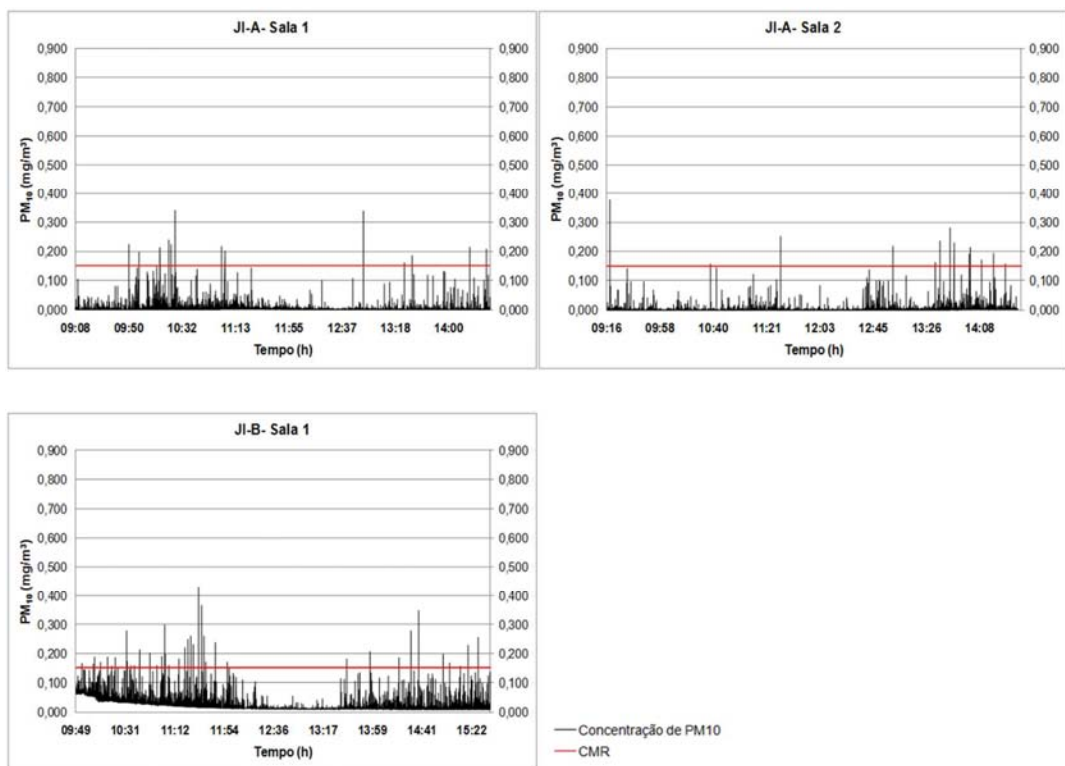


Figura 10: Variações da concentração de PM₁₀ nos JI centenários

Da análise dos gráficos da Figura 10 verifica-se que as concentrações de PM₁₀ diminuem no período de almoço em todas as salas de aula do JI-A e JI-B. Contudo, não se verifica uma diminuição dos níveis de PM₁₀ nos intervalos da manhã e da tarde realizados no JI-A. Diapouli *et al.* (2007) também constataram que, no caso das partículas ultrafinas (0,01 a 1 µm), os níveis mantinham-se relativamente estáveis durante as actividades escolares e não diminuíam nos curtos intervalos realizados no horário escolar.

Na sala 1 do JI-A, as actividades realizadas não envolveram grande movimentação por parte dos ocupantes, já que estes se encontravam em actividades de pintura, colagens e diálogo. A concentração média de PM₁₀ na sala 1 durante o período de ocupação foi de $0,004 \pm 0,012$ mg/m³ e sem ocupantes foi de $0,002 \pm 0,007$ mg/m³. Na sala 2 do mesmo JI, decorreram actividades muito similares e as concentrações médias variaram entre $0,002 \pm 0,009$ mg/m³ durante as actividades escolares e $0,001 \pm 0,006$ mg/m³ com a sala desocupada.

Na sala 1 do JI-B, apesar de se constatar o mesmo comportamento do agente quanto à sua diminuição no horário de almoço, as concentrações obtidas durante as actividades escolares foram mais elevadas do que nas salas de aula do JI-A. Assim para uma ocupação máxima foram detectados níveis médios de $0,025 \pm 0,021$ mg/m³ e sem ocupação níveis médios de $0,012 \pm 0,004$ mg/m³. Estes resultados podem ser explicados pela existência de uma salamandra na sala 1 do JI-B, que se encontrou em funcionamento durante toda a manhã. Este

sistema de aquecimento é responsável por elevados níveis de PM_{10} no interior de edifícios, que podem atingir 1 mg/m^3 (OMS, 2006). Além disso, por volta das 11h15 e 14h30, procedeu-se à limpeza do pavimento através de varredura. Este procedimento encontra-se relacionado com os picos de PM_{10} verificados neste horário. McCormack *et al.* (2008) verificou que os níveis de PM_{10} detectados no ar interior de quartos de crianças em idade pré-escolar aumentavam cerca de $0,0036 \text{ mg/m}^3$ durante processos de varredura.

A Figura 11 apresenta os resultados da monitorização de PM_{10} nas salas de aula dos JI recentes.

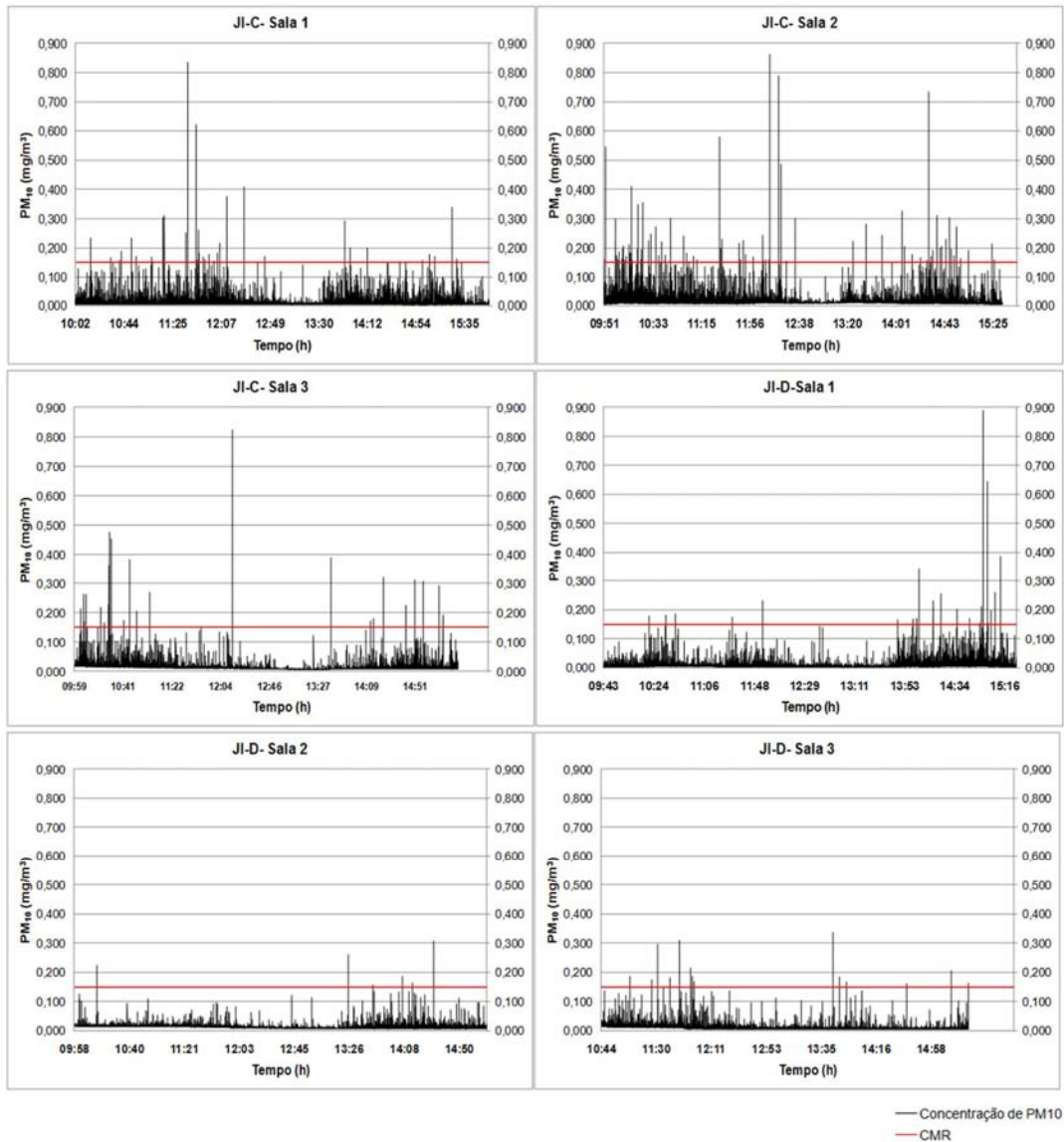


Figura 11: Variações da concentração de PM_{10} nos JI recentes

A análise dos gráficos da Figura 11, permite verificar que as salas de aula do JI-C apresentam vários picos de PM₁₀ ao longo do horário escolar, observando-se igualmente uma diminuição da concentração do agente no período de almoço. Estes picos estão relacionados com as operações de limpeza que decorreram após os lanches da manhã (11h30) e durante a arrumação dos materiais ao final da manhã e da tarde. As actividades de limpeza podem causar a ressuspensão de partículas (Gemenetzis *et al.*, 2006; Tippayamong *et al.*, 2009). Na sala 1 do JI-C foram obtidas concentrações médias de PM₁₀ durante a ocupação é de 0,011±0,018 mg/m³ e sem ocupação de 0,007±0,011 mg/m³. Na sala 2. as concentrações médias foram superiores no período de ocupação 0,016±0,021 mg/m³, dado que durante a manhã os ocupantes desenvolveram actividades de culinária, que implicaram a utilização de farinhas. Importa ainda referir que, a maioria das actividades realizadas neste dia implicaram grande movimentação dos ocupantes (jogos, montagem de *puzzles*). A sala 3 do JI-C apresentou concentrações de 0,015±0,021 mg/m³ nos períodos de ocupação e 0,010±0,011 mg/m³ na ausência dos ocupantes.

Na sala 1 do JI-D o pico detectado no período da tarde, deve-se mais uma vez a actividades de limpeza que se iniciaram logo após a saída de cerca de 80% das crianças. As restantes salas deste JI apresentam valores máximos inferiores, devido ao reduzido número de ocupantes (na sala 2) e à menor permanência de ocupantes (sala 3). Neste JI as concentrações médias de PM₁₀ variam entre 0,011±0,018 mg/m³ e 0,015±0,013 mg/m³ nos períodos de ocupação e entre 0,005±0,007 mg/m³ e 0,009±0,005 mg/m³ na ausência total de ocupantes. Importa ainda referir que nas salas 1 e 3, os processos de limpeza envolveram a varredura dos pavimentos.

A Tabela 17 apresenta as concentrações médias de PM₁₀ obtidas para todas as salas de aula avaliadas.

Tabela 17: Concentrações médias de PM10 nos JI

PM ₁₀ (mg/m ³) ¹	JI-A		JI-B	JI-C			JI-D		
	Sala 1	Sala 2	Sala 1	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 1	Sala 2	Sala 3
Interior	0,003 ±0,010	0,002 ±0,008	0,019 ±0,019	0,010 ±0,016	0,015 ±0,021	0,013 ±0,015	0,008 ±0,015	0,012 ±0,008	0,010 ±0,010
Ratio I/E²	3	2	2,2	0,59	0,88	0,76	1,36	2,05	1,59

¹média±desvio padrão

²ratio interior/exterior

A análise das concentrações médias de PM₁₀ permite verificar que nenhuma das salas de aula ultrapassa o valor recomendado pela legislação (0,15 mg/m³), sendo a sala 1 do JI-B a que apresentou níveis mais elevados deste agente no ar interior. Todas as salas de aula

apresentam um ratio I/E superior a 1, à excepção do JI-C. Este resultado evidencia que existe uma contribuição significativa de fontes interiores para as concentrações de PM₁₀. Os JI centenários apresentam os *ratios* maiores, o que poderá estar relacionado com o facto de existir uma maior degradação de materiais da estrutura do edifício e, no caso do JI-B, devido à existência da salamandra. Yang *et al.* (2009) obtiveram *ratios* I/E semelhantes aos do presente estudo (2.06;1.46;1.43) para avaliações efectuadas em salas de aula, laboratórios e salas de informática, associando estes resultados às actividades desenvolvidas pelos ocupantes nos espaços.

4.2.4. Análise da concentração de Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)

A Figura 12 apresenta os resultados obtidos para as concentrações de COVT nas salas de aula com actividades escolares (CAE) e sem actividades escolares (SAE).

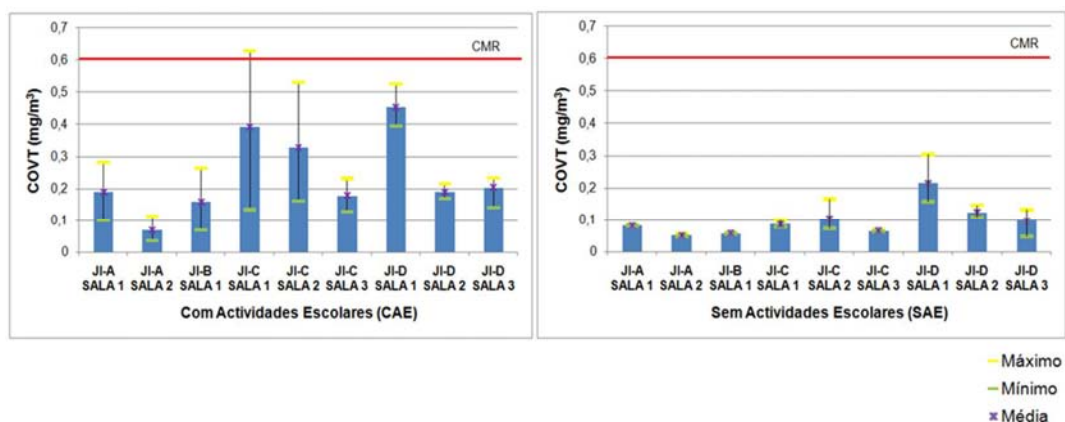


Figura 12: Concentrações de COVT nas salas de aula CAE e SAE

Analisando os resultados apresentados na Figura 12 para o período CAE, verifica-se que todas as salas de aula dos JI recentes apresentaram concentrações médias superiores às verificadas nas salas de aula dos JI centenários. Além disso, verificou-se que dentro do mesmo JI existem diferenças entre as concentrações médias detectadas em cada sala de aula.

Relativamente ao JI-A, a sala 1 apresenta níveis médios de COVT mais elevados do que a sala 2. Este resultado poderá indicar que, apesar dos materiais presentes nos espaços e das actividades escolares desenvolvidas serem semelhantes, a menor frequência na abertura da porta que dá acesso ao exterior na sala 1 do JI-A, terá influenciado os níveis obtidos. Jia *et al.* (2008) constataram que a abertura de janelas promove a diminuição da concentração de vários COV, nomeadamente, compostos aromáticos e alcanos. O JI-B apresentou resultados

semelhantes aos da sala 1 do JI-A, facto que poderá, novamente, ser explicado pela menor frequência na abertura de portas e janelas.

No que diz respeito às salas de aula do JI-C, a sala 1 apresentou níveis médios superiores aos das restantes, atingindo um valor máximo de $0,63 \text{ mg/m}^3$, ultrapassando a CMR. Nesta sala realizaram-se actividades de pintura e colagem durante todo o horário escolar e uma das janelas foi parcialmente aberta, apenas, no período da tarde. Por outro lado, a sala 2 do JI-C manteve uma das janelas parcialmente aberta durante todo o horário escolar e a pintura foi uma actividade pontual. Quanto à sala 3 do JI-C, o tipo de actividades desenvolvidas foram, essencialmente, leitura e pintura com lápis de cor, além disso, os ocupantes permaneceram durante menos tempo no espaço.

No JI-D, a sala 1 apresentou concentrações médias consideravelmente superiores às restantes salas de aula do mesmo JI. Este resultado revela que o número de ocupantes e o tempo de ocupação dos espaços poderá ter influenciado as concentrações de COVT, já que na sala 2 o número máximo de ocupantes foi 7 e a sala 3 manteve-se desocupada no período da tarde. A inexistência de ventilação dos espaços é também um factor a ter em consideração, dado que a ventilação é um meio eficaz para controlar as concentrações de COVT no interior de edifícios (Kim, *et al.*, 2008).

Comparando os dois gráficos da Figura 12 verificou-se que as concentrações de COVT no período AE são significativamente superiores ($p < 0,01$) às concentrações no período SAE. Estes resultados podem indicar que as actividades desenvolvidas pelos ocupantes tiveram um impacto significativo nas concentrações de COVT nas salas de aula.

As concentrações médias de COVT encontradas nas salas de aula nos JI recentes e centenários nos períodos CAE e SAE, não ultrapassam o limite estabelecido na legislação nacional. Contudo, comparando às concentrações médias detectadas no período CAE com o limite de conforto recomendado pela Comissão Europeia ($< 0,2 \text{ mg/m}^3$) verificou-se que as salas 1 e 2 do JI-C e sala 1 do JI-D excedem esse valor. Os resultados para o período CAE foram superiores aos detectados por Kotzias *et al.* (2005) em jardins-de-infância ($0,053 \text{ mg/m}^3$), mas semelhantes aos encontrados pelo mesmo autor, em outro tipo de edifícios públicos (serviços administrativos) ($0,281 \text{ mg/m}^3$).

De um modo geral, constatou-se que as concentrações médias, quer no período AE quer no período SAE, são significativamente superiores ($p=0,01$) nos JI recentes que nos JI centenários. Tendo em consideração que a contribuição dos materiais de construção é mais significativa nos primeiros seis meses de utilização (Missia *et al.*, 2010), os resultados obtidos podem indicar que, além das actividades desenvolvidas, também as condições de ventilação dos JI recentes podem ter influenciado os níveis de COVT encontrados.

Analisando os *ratios* I/E, apresentados na Tabela 18, verificou-se que o período CAE apresenta *ratios* superiores a SAE, o que revela uma contribuição significativa de fontes internas de COVT.

Tabela 18: Concentrações de COVT nas salas de aula AE e SAE

COVT		JI-A		JI-B	JI-C			JI-D		
		Sala 1	Sala 2	Sala 1	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 1	Sala 2	Sala 3
Ratio I/E ¹	AE	6,3	2,3	5,3	9,8	8,0	6,0	15,0	6,3	6,7
	SAE	1,7	1,1	2,1	1,2	1,4	0,9	3,6	2,1	1,7

¹ *ratio* interior/exterior

No que diz respeito às fontes internas de COVT, além das actividades escolares já referidas, convém ainda acrescentar que no período CAE, eram utilizados produtos de limpeza durante a permanência dos ocupantes e que todos os trabalhos manuais se encontravam expostos nas salas de aula, ao contrário do que se observou no período SAE.

4.2.5. Análise da concentração de microrganismos viáveis no ar interior

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros microbiológicos avaliados nas salas de aula dos JI centenários, durante os períodos da manhã e tarde.

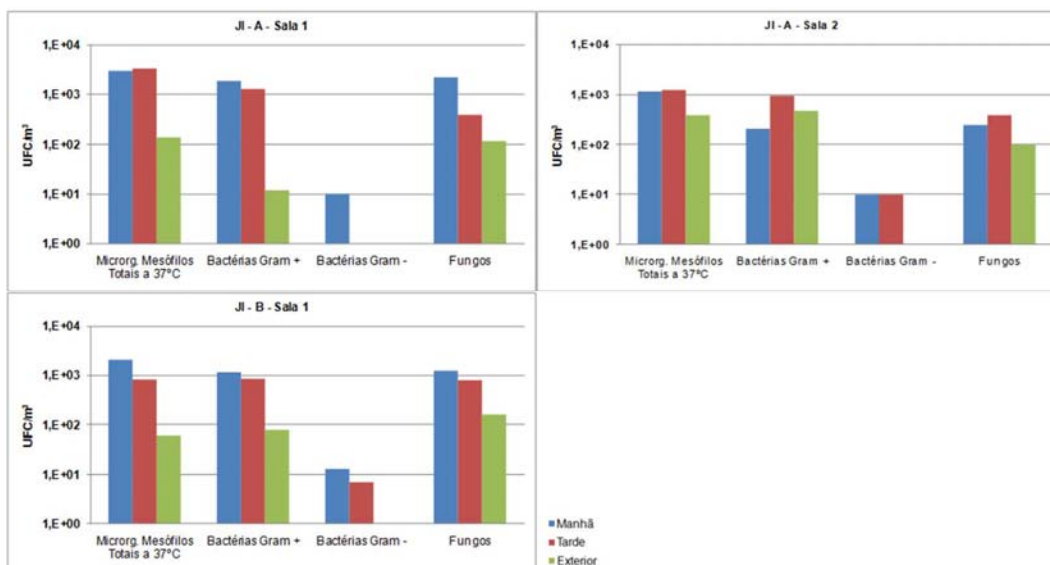


Figura 13: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e exterior

Analisando os gráficos da Figura 13 relativos ao JI-A, constata-se que a sala 1 apresenta concentrações mais elevadas de microrganismos mesófilos totais a 37°C e bactérias Gram positivas do que a sala 2. Esta situação pode ser explicada pela maior ocupação desta sala. Kalogerakis *et al.* (2005) verificaram, igualmente, que à medida que número de ocupantes aumentava em determinado espaço, a concentração de bactérias totais (UFC/m³) também aumentava. Na sala 2, a concentração média de bactérias Gram negativas foi igual nos dois períodos do dia, e neste caso poderão ser os ocupantes, devido a más práticas de higiene pessoal, os principais responsáveis por estas concentrações, visto que estas bactérias não foram encontradas no ar exterior. Relativamente às concentrações médias de fungos no ar interior, a sala 1 do JI-A apresenta níveis de fungos inferiores no período da tarde, o que poderá estar relacionado com os procedimentos de limpeza (limpeza de pavimento e mesas de trabalho) efectuados neste período. Quadros (2008) também verificou que operações de limpeza poderiam acarretar um decréscimo da concentração de fungos no ar interior. Na sala 2 do JI-A, verifica-se um aumento da concentração de fungos no período da tarde, que poderá ser explicado pela maior movimentação dos ocupantes, e consequente, ressuspensão de esporos existentes no ambiente analisado. Este resultado é suportado por um estudo de Jo *et al.* (2005), no qual se obtiveram níveis mais elevados de fungos durante períodos de maior movimentação de crianças nas salas de aula.

Quanto à sala 1 do JI-B, todos os parâmetros microbiológicos avaliados apresentaram um decréscimo no período da tarde. O que poderá indicar que a saída dos ocupantes para almoço aliada à abertura das portas da sala, terá determinado a diminuição da concentração de microrganismos no ar interior.

Os JI centenários apresentaram concentrações médias de bactérias Gram positivas e Gram negativas superiores no interior do que no exterior, o que pode indicar uma contribuição significativa de fontes internas, como os ocupantes. As concentrações de fungos encontradas nestes JI são, igualmente, superiores no interior. Lee *et al* (2006) obtiveram resultados semelhantes num estudo realizado em habitações.

Na Figura 14 e 15 encontram-se as concentrações médias dos parâmetros microbiológicos do ar interior avaliados nos JI recentes.

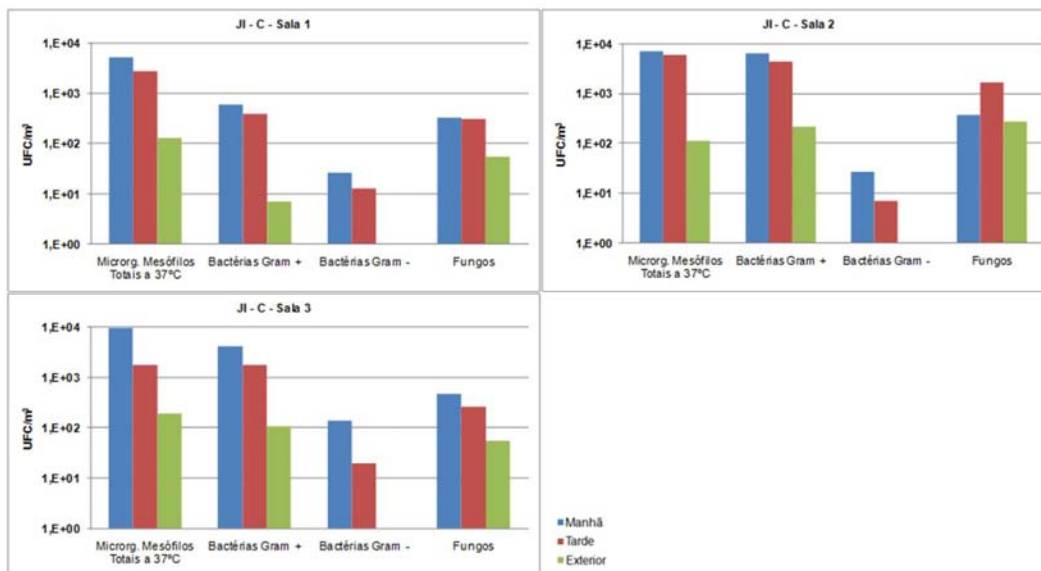


Figura 14: Concentração médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e exterior

Através da análise dos gráficos da Figura 14 relativos ao JI-C, podemos verificar que a sala 3 apresenta os níveis mais elevados de microrganismos mesófilos totais a 37°C e bactérias Gram positivas no período da manhã. Contudo, à tarde verifica-se um decréscimo de todos os agentes avaliados, o que poderá ter a ver com o facto desta sala se encontrar ocupada, apenas durante 1h30m no período da tarde. Nas salas 1 e 2 do JI-C observou-se, igualmente, um decréscimo das concentrações médias dos agentes microbiológicos no período da tarde, à excepção da concentração de fungos, que na sala 2 aumentou. Neste caso, poderá considerar-se ter havido alguma influência das concentrações exteriores de fungos, uma vez que durante o horário de almoço a janela da sala de aula encontrou-se totalmente aberta.

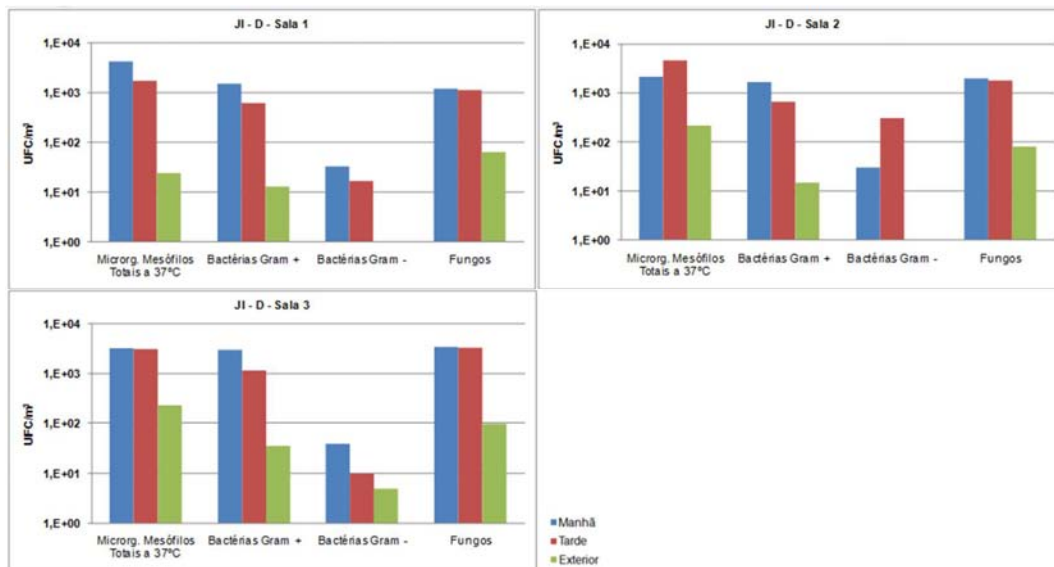


Figura 15: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos nos períodos da manhã, tarde e exterior

A análise dos gráficos da Figura 15 relativos ao JI-D, permite verificar que a sala 1 apresentou um decréscimo da concentração de agentes microbiológicos superior ao verificado na sala 3, o que não seria de esperar, já que durante a tarde esta encontrou-se desocupada.

Tal como foi verificado nos JI centenários, as concentrações médias dos microrganismos são mais elevadas no interior dos JI recentes do que no exterior, o que pode indicar a influência da ocupação humana, nomeadamente, ao nível das concentrações médias de bactérias. Contudo, a sala 2 deste JI, apresentou um número reduzido de ocupantes (7 ocupantes) e foram, igualmente, detectadas elevadas concentrações de agentes microbiológicos, o que pode indicar que inexistência de ventilação dos espaços pode ter sido um factor determinante.

As concentrações de fungos mantêm-se relativamente semelhantes nos dois períodos do dia nas três salas de aula do JI-D. Neste JI, existiam graves problemas de infiltrações e contaminação fúngica dos materiais de construção, o que poderá ter influenciado os níveis encontrados no ar interior destes espaços.

A Figura 16 apresenta as concentrações médias dos parâmetros microbiológicos avaliados no ar interior por JI.

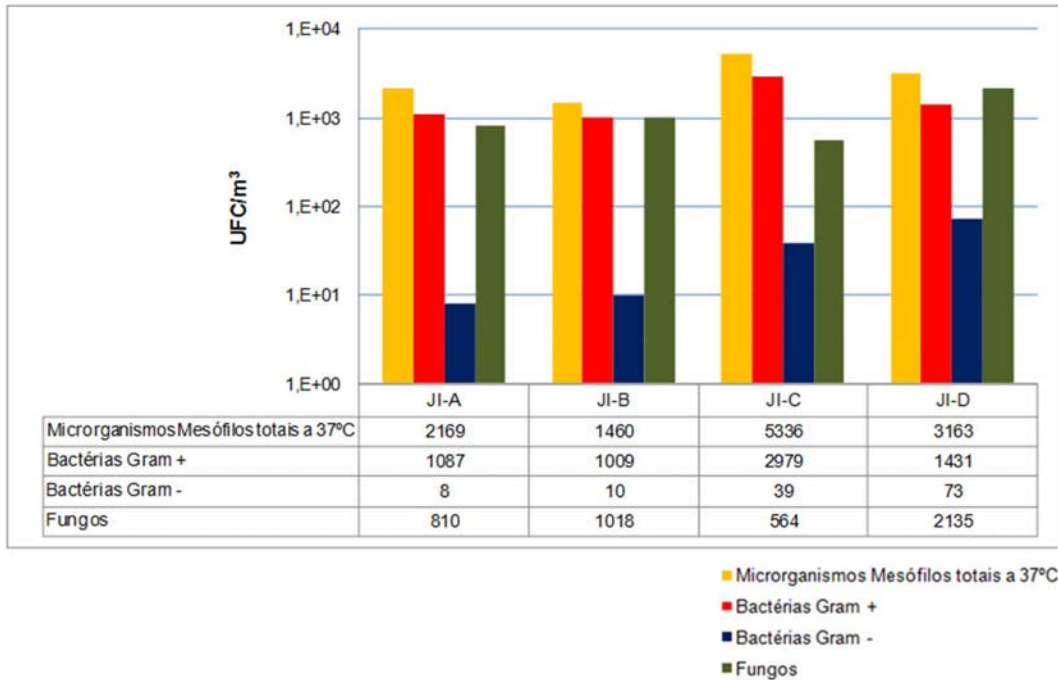


Figura 16: Concentrações médias dos parâmetros microbiológicos por JI

Através da análise do gráfico da Figura 16, verifica-se que todos os JI avaliados ultrapassam os limites preconizados na legislação portuguesa para as concentrações de bactérias e fungos (500 UFC/m^3). Além disso, constata-se que, os JI centenários apresentam concentrações médias de microrganismos mesófilos totais a 37°C , bactérias Gram positivas e negativas inferiores às detectadas nos JI 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 de $1295,55 \text{ UFC/m}^3$, entre $1194,97 \text{ UFC/m}^3$ - $1229,42 \text{ UFC/m}^3$ e $1182,88 \text{ UFC/m}^3$, respectivamente. A sobrelotação da maioria das salas, bem como as inadequadas condições de ventilação dos JI recentes, podem ter estado na origem dos resultados obtidos.

Por outro lado, as concentrações médias de fungos foram mais elevadas nos JI-B e D. Neste caso, ambos os JI apresentam problemas de infiltrações e contaminação fúngica dos materiais de construção, como se pode observar na Figura 17, o que pode ter influenciado as concentrações detectadas.



Figura 17: Problemas de infiltrações e contaminação fúngica de materiais de construção no JI-B (à esquerda) e no JI-D (à direita)

4.2.5.1. Identificação de fungos

Para melhor caracterizar a qualidade microbiológica do ar interior dos edifícios escolares, procedeu-se à identificação de fungos, classificando-os até ao género. Das 138 amostras de ar colhidas no interior e exterior dos edifícios escolares, foram identificados 10 géneros de fungos. Os géneros mais frequentes foram o *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Aspergillus spp.* e *Alternaria spp.* (Anexo III), como demonstra a Figura 18.

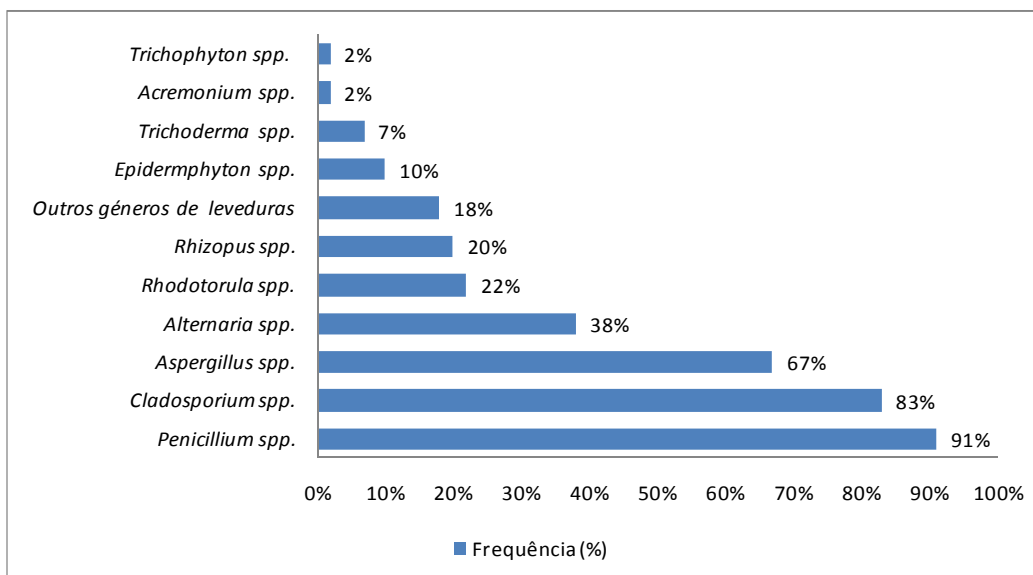


Figura 18: Fungos mais frequentes nos ambientes estudados

Estes fungos foram já identificados por outros autores em estudos de qualidade do ar interior. O género *Penicillium spp.* foi observado com grande frequência no ar interior de creches e escolas (Jo *et al.*, 2005) (Kim *et al.*, 2007). O género mais comum de leveduras detectado nos

ambientes estudados foi a *Rhodotorula spp.*, que não representa perigo para indivíduos saudáveis (Fisher *et al.*, 1998).

A Tabela 19 apresenta a distribuição dos fungos identificados nos diferentes ambientes, por ordem decrescente de frequência no ar interior dos edifícios estudados.

Tabela 19: Fungos mais frequentes no ar interior dos JI

Parâmetro	JI-A	JI-B	JI-C	JI-D ¹
Gêneros mais frequentes	<i>Cladosporium spp.</i> (100%), <i>Penicillium spp.</i> (92%), <i>Aspergillus spp.</i> (79%)	<i>Aspergillus spp.</i> (100%), <i>Cladosporium spp.</i> (92%), <i>Penicillium spp.</i> (83%)	<i>Penicillium spp.</i> (92%), <i>Cladosporium spp.</i> (83%), <i>Aspergillus spp.</i> (78%)	<i>Penicillium spp.</i> (94%), <i>Cladosporium spp.</i> (67%), <i>Aspergillus spp.</i> (56%)
Humidade Relativa no interior (%)	51,2%-52%	51,8%	42,5%-44,4%	58,6%-64,3%
Nº Amostras	24	12	36	36

¹ o JI-D apresentou uma frequência elevada do gênero *Rhodotorula spp.* (56%) e *Alternaria spp.* (47%).

De um modo geral, não se verificou uma grande variabilidade nos gêneros identificados no interior dos edifícios. Nos JI recentes, a ordem de frequência nos ambientes é comum, no entanto, o JI-D apresentava graves problemas de infiltrações e contaminação fúngica nas paredes das salas de aula e corredores, o que não se verificou no JI-C. Além disso, o JI-D apresenta níveis mais elevados de humidade relativa no ar interior do que os restantes, o que pode também explicar a maior frequência de gêneros *Rhodotorula spp.*(56%) e *Alternaria spp.*(47%). Todos os gêneros identificados *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, *Aspergillus spp.* e *Alternaria spp.* encontram-se, geralmente, associados a doenças alérgicas, como a asma (OMS, 2009).

A Figura 19 apresenta fotografias das espécies mais frequentes no ar interior dos JI.

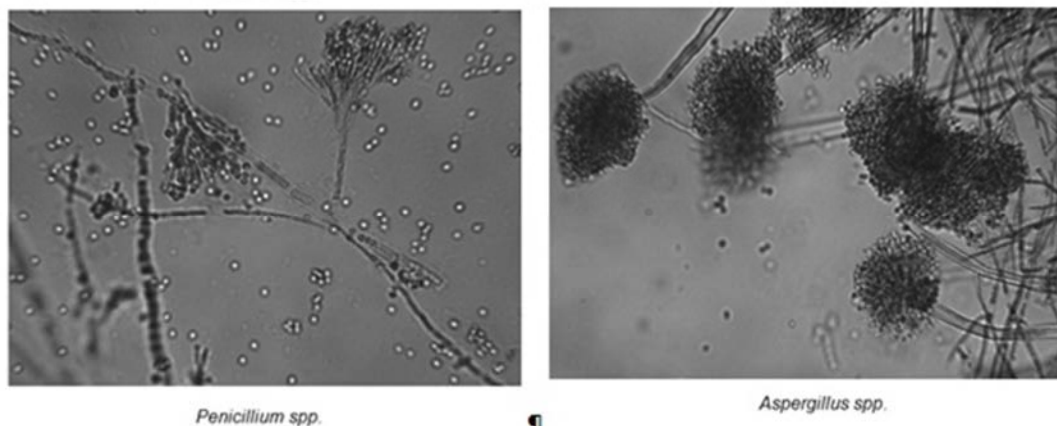


Figura 19: Fotografias dos fungos mais frequentes no interior dos JI

4.2.6. Análise dos parâmetros térmicos

4.2.6.1. Temperatura do ar

A Figura 20 apresenta os resultados relativos aos valores médios de temperatura do ar interior e exterior em nos JI avaliados.

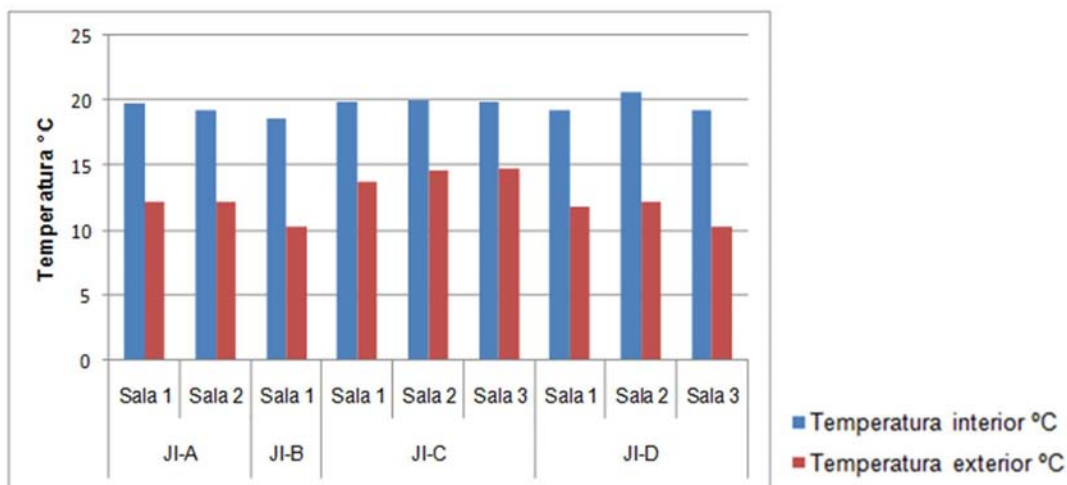


Figura 20: Valores médios de temperatura do ar interior e exterior dos JI

Como se pode verificar através do gráfico da Figura 20, existe uma homogeneidade entre as temperaturas médias do ar interior em todas as salas de aula (variam entre 18,6°C e 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, portanto, que os valores obtidos se enquadram na gama proposta por este diploma. Estes resultados revestem-se de vital importância, na medida em que temperaturas mais elevadas poderiam levar ao aumento da temperatura corporal, à sonolência e à redução do desempenho, influenciando o rendimento escolar das crianças.

4.2.6.2. Humidade Relativa

A Figura 21 apresenta os resultados dos valores médios de humidade relativa no interior e exterior dos JI.

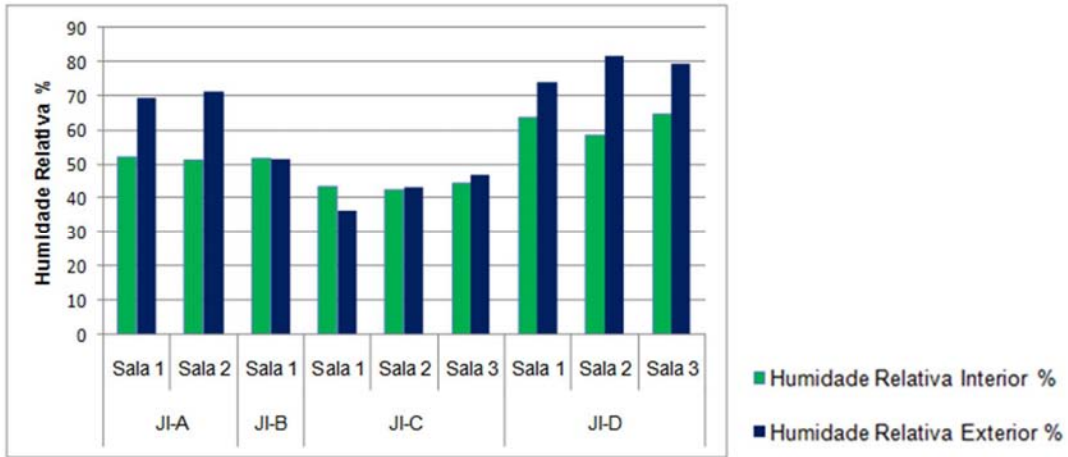


Figura 21: Valores médios de Humidade Relativa no interior e exterior dos JI

Relativamente aos resultados obtidos para humidade relativa do ar apresentados no gráfico da Figura 21, verifica-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. Apesar da humidade relativa ter um impacto mínimo em ambientes moderados (ISO 7730:2005), a sua monitorização é importante uma vez que uma percentagem elevada de humidade, impede a evaporação do suor, reduzindo a resistência do organismo às altas temperaturas. No presente estudo, foi estabelecida uma correlação entre as concentrações de fungos e os níveis de humidade detectados nos JI recentes ($r = 0,681$, $p < 0,01$), o mesmo não se verificou para os JI centenários.

4.2.6.3. Velocidade do ar

A Figura 22 apresenta os resultados relativos aos valores de velocidade média do ar nos JI avaliados.

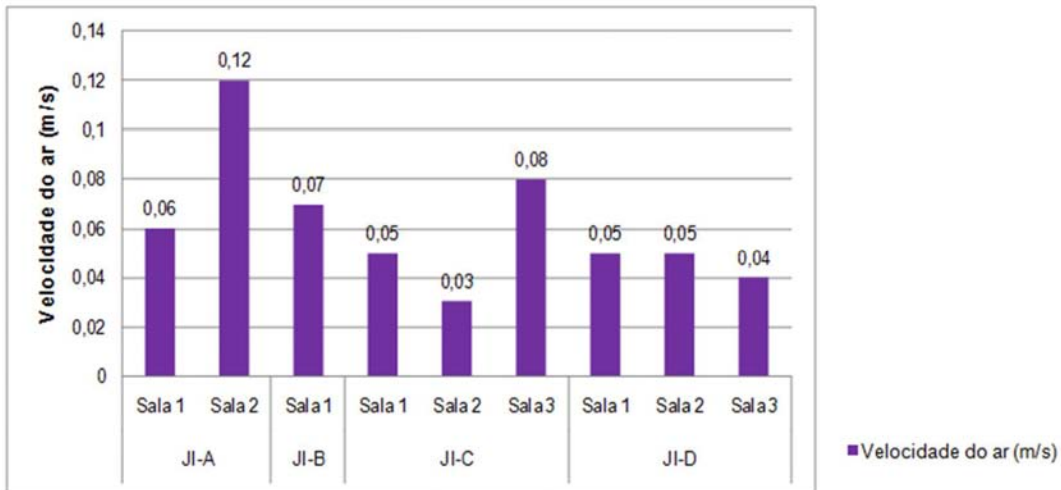


Figura 22: Valores de velocidade média do ar nos JI

Como se pode observar pelo gráfico da Figura 22, verifica-se, igualmente, uma uniformidade de resultados (variando entre 0,05 m/s e 0,08 m/s), à excepção da sala 2 do JI-A. A maioria dos valores detectados nas salas de aula 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. Relativamente ao resultado encontrado na sala 2 do JI-A pode referir-se que a abertura permanente de uma das portas influenciou os valores obtidos. Todas as salas de aula cumprem com o estabelecido na lei portuguesa (Decreto-lei n.º 79/2006 de 4 de Abril), no que diz respeito a este parâmetro. Contudo, a baixa movimentação do ar faz com que a evaporação do suor seja reduzida e, por conseguinte, também a dissipação de calor corporal.

5.1. CONCLUSÕES

Os ambientes interiores são caracterizados por uma série de factores que podem influenciar a saúde e o conforto dos ocupantes de edifícios. Um ambiente interior saudável caracteriza-se por uma boa QAI.

Vários estudos têm demonstrado uma relação directa entre a concentração de determinados poluentes presentes no interior e a sintomatologia apresentada pelos seus ocupantes. Contudo, o estabelecimento deste tipo de relações implica um conhecimento aprofundado de todas as potenciais fontes de contaminação, poluentes envolvidos e eficácia das medidas de controlo a implementar em determinado local.

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. O cumprimento dos requisitos energéticos aliado às tendências estéticas/arquitectónicas levaram à construção de edifícios escolares com características que promovem a acumulação de poluentes do ar interior. Este pressuposto foi averiguado no presente estudo, através de uma investigação de QAI em edifícios escolares centenários e recentes.

A caracterização dos jardins-de-infância estudados permitiu efectuar o levantamento de uma série de deficiências relacionadas com a estrutura dos edifícios. De um modo geral, os JI centenários apresentam problemas ao nível da deterioração de materiais (janelas e paredes), enquanto nos JI recentes foram identificadas falhas ao nível do dimensionamento de janelas, condições de ventilação e infiltrações. Contudo, a análise do funcionamento dos estabelecimentos de ensino foi fundamental para verificar que, de facto, não são apenas as características do edifício que condicionam as variações dos parâmetros ambientais, mas também os comportamentos e actividades dos ocupantes.

Relativamente ao parâmetro CO₂, os resultados demonstram que os JI recentes apresentam concentrações médias superiores (entre 1695-1931 ppm) aos JI centenários (entre 805-1473 ppm), atingindo picos máximos nos períodos de ocupação (na ordem dos 3400 ppm). Das nove salas de aula monitorizadas, apenas uma se encontra dentro dos limites estabelecidos na legislação nacional e internacional. As construções recentes apresentam características estruturais que impedem o correcto arejamento dos espaços, nomeadamente, inexistência de janelas ou inadequado dimensionamento das mesmas.

Os resultados obtidos para parâmetro CO revelam que este agente apresenta vários picos ao longo do horário escolar. Contudo, não foram identificadas fontes internas deste agente, à excepção do sistema de aquecimento no JI-B. Os JI recentes obtiveram, novamente, concentrações médias mais elevadas que os JI centenários. Para compreender a origem das variações detectadas seria necessário um estudo mais aprofundado sobre o comportamento do agente no interior e exterior dos edifícios.

Os resultados relativos à monitorização de PM₁₀ demonstraram que este agente é influenciado, essencialmente, pela movimentação dos ocupantes e procedimentos de limpeza. Neste caso, verificou-se que os profissionais estão pouco sensibilizados para a problemática da QAI, visto que os procedimentos de limpeza são efectuados durante a permanência dos ocupantes, nomeadamente, a limpeza de mesas (método húmido) e varredura do pavimento.

No que diz respeito, às concentrações de COVT no ar interior, verificou-se uma influência significativa da ocupação. As actividades dos ocupantes envolvem a utilização de uma série de produtos químicos, que apesar de não serem utilizados em grandes quantidades e, na sua maioria, serem indicados para estabelecimentos de ensino, podem ter influenciado as concentrações de COVT detectadas. Além disso, durante o ano lectivo, os trabalhos manuais encontram-se expostos nas salas de aula e, possivelmente, vão libertando os COVT para o ar interior. Este factor aliado às inadequadas condições de ventilação dos JI recentes, poderão ter determinado que numa das salas de aula avaliada a concentração obtida (0,628 mg/m³) tenha ultrapassado o valor de concentração máxima de referência preconizado na legislação nacional. Os produtos de limpeza e desinfecção foram também identificados como potenciais emissores de COVT, já que eram utilizados durante a permanência dos ocupantes. Apesar das concentrações médias de COVT se encontrarem dentro dos limites estabelecidos, a escassez de informação sobre os efeitos a longo prazo por exposição crónica a baixas concentrações de mistura de compostos químicos em ambientes interiores, implica a redução ao máximo da exposição a estes agentes no interior de edifícios.

Os parâmetros microbiológicos avaliados, principalmente, as bactérias são indicadores da sobrelotação dos espaços e de taxas de ventilação insuficiente, nomeadamente, nos JI recentes. Os resultados relativos à concentração de fungos no interior das salas revelam que os edifícios com problemas de infiltrações apresentam concentrações mais elevadas destes microrganismos. Todas as salas de aula apresentam níveis de microrganismos viáveis (fungos e bactérias) superiores ao estabelecido na legislação.

Os parâmetros térmicos avaliados demonstraram que é importante o controlo de humidade, nomeadamente, nos JI recentes. Quanto à velocidade do ar os valores obtidos indicam algumas situações de ar parado evidenciando uma vez mais a deficiente ventilação existente.

Através da análise das condições estruturais, de funcionamento e da monitorização dos parâmetros ambientais nos diferentes tipos de construção, verificou-se que, de facto, as novas construções apresentam maiores problemas de QAI que as construções centenárias. A ventilação foi o factor identificado como principal responsável pela pobre QAI destes edifícios. Assim, no sentido de promover uma melhoria da qualidade do ar nestes espaços podem ser implementadas medidas de cariz organizacional, nomeadamente:

- Sensibilização de educadores e auxiliares para a necessidade de abrirem portas e janelas nas horas de pausa e após a limpeza e desinfecção dos espaços;

- Implementação de processos de limpeza exclusivamente húmidos. E caso seja viável, que esta passe a ser efectuada apenas no final das actividades lectivas;
- Adopção de um plano de higienização dos espaços, onde conste a periodicidade de limpeza e desinfecção de todos os utensílios, equipamentos, materiais e instalações;
- Exposição dos trabalhos manuais em locais mais arejados e com menor permanência de ocupantes.

Pode ainda equacionar-se a adopção de medidas de carácter construtivo, no sentido de melhorar a ventilação dos espaços e garantir caudais mínimos de ar novo de 30 m³/h.ocupante, como recomenda o anexo VI do Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril. Contudo, estas medidas requerem um estudo prévio de viabilidade técnica e económica. São elas:

- Instalação de sistemas mecânicos de ventilação forçada que contemplem a introdução de ar novo;
- Instalação de sistemas de ar condicionado com tomada de ar exterior;
- Instalação de grelhas de ventilação nas caixilharias;
- Instalação de caixilharias basculantes.

Os custos de instalação e manutenção de sistemas de ventilação mecânica e/ou ar condicionado são, regra geral, muito elevados. Assim, na fase de concepção e construção de edifícios é necessário 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 também não devem ser descurados, na medida em que têm impacto na QAI dos edifícios e podem ser responsáveis por situações de desconforto por parte dos ocupantes.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, propõe-se o alargamento do estudo a mais jardins-de-infância em diferentes estações do ano.

Além da avaliação da QAI, seria interessante realizar um estudo que envolvesse avaliações conforto térmico, ruído e iluminância em estabelecimentos de ensino e a influência destes factores na aprendizagem.

Tendo em consideração, as concentrações de COVT detectadas, seria importante proceder-se a um estudo de identificação destes compostos, de modo a compreender especificamente qual a sua origem, para uma actuação mais direccionada.

Outro estudo a realizar, poderia incidir sobre a influência da temperatura do ar interior nas concentrações de CO no interior de edifícios escolares, visto que no presente estudo se verificou um comportamento semelhante destes parâmetros ao longo do dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvim-Ferraz, M.C.M., Sousa, S.I.V., Pereira, M.C., Martins, F.G. (2006). Contribution of anthropogenic pollutants to the increase tropospheric ozone levels in the Oporto Metropolitan Area, Portugal since the 19th century. *Environmental Pollution*. **140**: 516-524.

ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2004). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.

APA (2010). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores- Um Guia Técnico*. Acedido em: 7, Julho, 2010 em:

<http://www.apambiente.pt/serviços/LaboratorioReferencia/Documents/Manual%20QAI%20APA%20Maio%202010.pdf>.

Ashmore, M.R. e Dimitroulopoulou, C. (2009). Personal exposure of children to air pollution. *Atmospheric Environment*. **43**: 128-141.

Association, A.L, Agency, U.S.E.P., Commission, C.P.S, Association, A.M. (2004). *Indoor Air Quality: An Introduction for Health Professionals*. Acedido em: 4, Janeiro, 2010, em: http://www.epa.gov/iaq/pdfs/indoor_air_pollution.pdf.

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.

Binding, N., Jaschinski, S., Werlich, S., Bletz, S. e Witting, U. (2003). Quantification of bacterial lipopolysaccharides (endotoxin) by GC-MS determination of 3-hydroxy fatty acids. *Journal of Experimental Medicine*. **6**: 65-70.

Bluyssen, P. (2009). Towards an integrative approach of improving indoor air quality. *Building and Environment*. **44**: 1980-1989.

Branis, M., Rezáčová, P. e Domasová, M. (2005). The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM 10, PM 2,5 and PM 1 in a classroom. *Environmental Research*. **99**:143-149.

Breyse, P.N., Buckley, T.J., Williams, D, Ann, Beck C.M., Jo, Seong-Joon, Merriman, B., Kanchanaraksa, S., Swartz, L.J., Butz, A.M., Rand, C.S., Diette, G.B., Krishnan, J.A., Moseley, A.M., Curtin-Brosnan, J., Durkin, N.B. e Eggleston, P.A. (2005). Indoor exposures to air pollutants and allergens in the homes of asthmatic children in inner-city Baltimore. *Environmental Research*. **98**: 167. 176.

Cabral, J.P.S. (2010). Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. *Science of the Total Environment*. **408**:4285-4295

CE (2004). *Communication of the Commission on the European Environment and Health Action Plan 2004-2010*. Acedido em 30, Janeiro, 2010, em: http://www.eu-humanbiomonitoring.org/doc/ta_vol2.pdf.

CEOH-IAQ (2003). *Indoor Air Quality - Tools for Schools Action Kit for Canadian Schools*. Acedido em: 10, Março, 2010, em: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/air/tools_school-outils_ecoles/tools_school-outils_ecoles-eng.pdf.

- Chaloulakou, A. e Mavroidis, I. (2002). Comparison of indoor and outdoor concentrations of CO at a public school. Evaluation of an indoor air quality model. *Atmospheric Environment*. **36**: 1769. 1781.
- Chan, P.L., Yu, P.H.F., Cheng, Y.W., Chan, C.Y. e Wong, P.K. (2009). Comprehensive characterization of indoor airborne bacterial profile. *Journal of Environmental Sciences*. **21**: 1148. 1152.
- Clausen, G. e Wyon, D. P. (2008). The combined effects of many different indoor environmental factors on acceptability and office work performance. 103-113.
- 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.
- Decreto-lei n.º 243/86 de 20 de Agosto. Diário da República nº 2099/190 . I- Série. Ministério do Trabalho e Segurança Social. Lisboa
- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril. Diário da República nº 2411/67 . I- Série- A. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril. Diário da República nº 2468/67 . I- Série- A. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº 2416/67 . I- Série- A. Ministério da Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Deveci, S. E., Deveci, F., Açıık, Y. e Ozan, A.T.A.T. (2004). The measurement of exhaled carbon monoxide in healthy smokers and non-smokers. *Respiratory Medicine* . **98**: 551. 556.
- Douwes, J., Thorne, P. e Heederik, D. (2002). Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment.. *Oxford Journal*. **47**: 187. 200.
- ECA (2007). *Report No 26- Impact of Ozone-Initiated Terpene Chemistry on Indoor Air Quality and Human Health*. Acedido em: 7, Fevereiro, 2010, em: http://www.inive.org/medias/ECA/ECA_Report26.pdf.
- EPA (2001). *Mold Remediation in Schools and Commercial Buildings*. Acedido em: 10, Janeiro, 2010, em: <http://www.epa.gov/mold/pdfs/moldremediation.pdf>.
- EPA (2009). *IAQ TfS Action Kit - IAQ Reference Guide: Appendix E - Typical Indoor Air Pollutants. IAQ Tools for Schools Program*. Acedido em: 23, Março, 2010, no Web site da: U.S.EPA: <http://www.epa.gov/iaq/schools/tfs/guidee.html#Dust>
- EPA (2009). *Indoor Air Quality Tools for Schools - Reference Guide*. Acedido em: 12, Dezembro, 2009, no Web site da: U.S.EPA: http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/kit/reference_guide.pdf
- EPA (2010). *An Introduction to Indoor Air Quality - Volatile Organic Compounds (VOCs). Volatile Organic Compounds (VOCs)*. Acedido em: 19, Março, 2010, no Web site da: U.S.EPA: <http://www.epa.gov/iaq/voc.html>.
- EPA (2010). *Indoor Air Facts No. 4 (revised) Sick Building Syndrome*. Acedido em: 23, Março, 2010, no Web site da: U.S.EPA: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/sbs.html>
- EPA (2010). *Particulate Matter*. Acedido em: 3, Janeiro, 2010, no Web site da: U.S.EPA: <http://www.epa.gov/air/particlepollution/index.html>

EPA (2010). Particulate Matter- Basic Information. Acedido em: 14, Março, 2010, no *Web site* da: U.S.EPA.: <http://www.epa.gov/air/particlepollution/basic.html>

Fabian, M. P., Miller, S.L., Reponen, T. e Hernandez, M.T. (2005). Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation. *Aerosol Science*. **36**: 763. 783.

Ferreira, W. F.C. e Sousa, J.C.F. (1998). *Microbiologia - Volume 1*. Lidel- edições técnicas, Ida. Lisboa-Porto.

Fisher, F. e Cook, N. B. (1998). *Fundamentals of Diagnostic Mycology*. SAUNDERS An Imprint of Elsevier. USA.

Fisk, W.J., Mirer, A.G. e Mendell, M.J. (2009). Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. *Indoor Air Journal*. 19: .

Franklin, P. J. (2007). Indoor air quality and respiratory health of children. *Paediatric Respiratory Reviews*. **8**: 281-286.

Fromme, H., Diemer, J., Dietrich, S., Cyrus, J., Heinrich, J., Lang, W., Kiranoglu, M. e Twardella, D.(2008). Chemical and morphological properties of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}) in school classrooms and outdoor air. *Atmospheric Environment*. **42**: 6597. 6605.

Fromme, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B. e Rűden, H. (2007). Particulate matter in the indoor air of classrooms- exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*. **41**: 854-866.

Gallego, E., Roca, F.X., Guardino, X. e Rosell, M.G. (2008). Indoor and outdoor BTX levels in Barcelona City metropolitan area and Catalan rural areas. *Journal of Environmental Sciences*. **20**: 1063. 1069.

Gallego, E., Roca, X., Perales, J.F. e Guardino, X. (2009). Determining indoor air quality and identifying the origin of odour episodes in indoor environments. *Journal of Environmental Sciences*. **21**: 333. 339.

Gemenetzi, P., Moussas, P., Arditoglou, A. e Samara, C. (2006). Mass concentration and elemental composition of indoor PM_{2.5} and PM₁₀ in University rooms in Thessaloniki, northern Greece. *Atmospheric Environment*. **40**: 3195-3206.

Giovannangelo, M.E., Gehring, U., Nording, E., Oldenwening, M., van Rijswijk, K., de Wind, S., Hoek, G., Heinrich, J., Bellander, T., Brunekreef, B. (2007). Levels and determinantes of beta (1-3)-glucans and fungal extracellular polysaccharides in house dust of (pre-)schoolchildren in three European countries. *Environment International*. **33**: 9-16.

Gordon, S.B., Bruce, N. e Fullerton, D. G. (2008). Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in developing world. **102**: 843-851.

Herberger, S., Herold, M., Ulmer, H., Burdack-Freitag, A., Mayer, F. (2010). Detection of human effluents by a MOS gas sensor in correlation to VOC quantification by GC/MS. *Building and Environment*. **45**: 2430-2439.

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.

- 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.
- IAQA, Indoor Air Quality Association. (2000). Recommended Guidelines for Indoor Environments.
- IEE (1996). *Guidelines for good indoor air quality in office premises*. Acedido em 12, Junho, 2010, em: <http://www.nea.gov.sg/cms/qed/guidelines.pdf>
- ISO 7726:1998. *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*. International Organization for Standard.
- ISO 7730:2005. *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standard
- ITN (2005). Radão Um Gás Radioactivo de Origem Natural. Acedido em: 25, Março, 2010, em: www.itn.pt/docum/relat/radao/itn_gas_radao.pps.
- Jo, W.K. e Seo, Y.-J.(2005). Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere*. **61**: 1570-1579
- Jones, A.P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*. **33**:4535-4564.
- Kagi, N., Fujii, S., Horiba, Y., Namiki, N., Ohtani, Y., Hitoshi, E., Tamura, H. e Kim, Yong Shik (2007). Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers. *Building and Environment*. **42**: 1949. 1954.
- 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.
- Kim, K.Y. e Kim, C.N. (2007). Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea. *Building and Environment*. **42**: 2188-2196.
- Kim, S.-S., Kang, D.-H., Choi, D.-H., Yeo, M.-S., Kim, K.-W. (2008). Comparison of strategies to improve indoor air quality at the pre-occupancy stage in new apartment buildings. *Building and Environment* . **43**: 320. 328.
- Kleinheinz, G.T., Langolf, B.M. e Englebert, E. (2006). Characterization of airborne fungal levels after mold remediation. *Microbiological Research*. **161**: 367-376.
- Krzyzanowski, M. (2009). *Development of WHO Guidelines on indoor air quality*. Acedido em 10, Janeiro, 2010, em: <http://www.cranfield.ac.uk/health/researchareas/environmenthealth/ieh/iaq%20guidelines%20-%20cranfield%20apr09%20.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.
- Lee, Ji-Hyon e Jo, Wan-Kuen (2006). Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise apartment buildings. *Environmental Research*. **101**: 11. 17.
- Liu, A. H. (2004). Something Old, Something New: Indoor endotoxin, allergens and asthma. *Pediatric Respiratory Reviews*. **5**: 65-71.

Liu, Y., Chen, R., Shen, X., Mao, X. (2004). Wintertime indoor air levels of PM10, PM2.5 and PM1 at public places and their contributions to TSP. *Environment International*.**30**: 189-197.

Madureira, J.G.V. (2005). *Impacte de uma Grande Linha de Tráfego Urbano na Qualidade do ar e na Saúde - Avaliação em Escolas da Cidade do Porto*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 123 pp.

Martínez, F.J.R. e Callejo, R.C. (2006). *Edificios saludables para trabajadores sanos:calidad de ambientes interiores*. Acedido em 20, Dezembro, 2009, em: http://www.google.com/search?hl=pt-PT&q=Edificios+saludables+para+trabajadores+sanos%3Acalidad+de+ambientes+interiores&btnG=Pesquisar&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=

Mendell, M.J. e Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? a critical review of the literature. *Indoor Air Journal*. **15**. 27-32.

Miguel, Alberto S.S.R. (2010). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. 11ª edição, Porto Editora. Porto.

Missia, D.A., Demetriou, Michael, E.N., Tolis, E.I. e Bartzis, J.G. (2010). Indoor exposure from building materials: A field study. *Atmospheric Environment*. Accepted Manuscript.

Modic, J. (2003). Carbon monoxide and COHb concentration in blood in various circumstances. *Energy and Buildings*. **35**: 903. 907.

OEHS, Office of Environmental Health and Safety (2003). *School Indoor Air Quality - Best Management Practices Manual*. Acedido em 3, Fevereiro, 2010, em: <http://www.doh.wa.gov/ehp/ts/iaq/schooliaqbmp.pdf>

OMS (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide*. Acedido em 21, Março, 2010, em: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.

OMS (2006). *Development of WHO Guidelines on indoor air quality*. Acedido em 10, Janeiro, 2010, em: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/78613/AIQIAQ_mtgrep_Bonn_Oct06.pdf

OMS (2006). *Fuel for life : household energy and health*. Acedido em 10, Janeiro, 2010, em: <http://www.who.int/indoorair/publications/fuelforlife.pdf>

OMS (2009). *WHO Guidelines for Indoor Air Quality - Dampness and Mould*. Acedido em 5, Janeiro, 2010, em: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf.

OMS (2009). *WHO Handbook on indoor radon - A Public Health Perspective*. Acedido em 5, Março, 2010, em: http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf.

OMS (2010). *Parma Declaration on Environment and Health*. Acedido em 19, Setembro, 2010, em:

http://www.google.com/search?hl=pt-PT&q=Parma+Declaration+on+Environment+and+Health&btnG=Pesquisar&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=

Pala, M., Ugolini, D., Ceppi, M., Rizzo, F., Maiorana, L., Bolognesi, C., Schilirò, T., Gilli, G., Bigatti, P., Bono, R. e Vecchio, D. (2008). Occupational exposure to formaldehyde and

biological monitoring of Research Institute workers. *Cancer Detection and Prevention*. **32**: 121-126.

Pastuszka, J.S., Paw, U.K.T., Lis, D.O., Wlaz, A. e Ulfig, K. (2000). Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment*. **34**: 3833-3842.

Perdrix, A., Parat, S., Liaudy, S. e Maftre, A. (2005). Syndrome des Bâtiments Malasains (SDM). *Revue Francophone des Laboratoires*. **373**: 67-72.

Pombo, J.T. e Varela, A. L. (2004). *Riscos relacionados coa exposición a axentes biolóxicos a súa avaliación e control*. 3º Edición, Xunta de Galicia. Galicia.

Quadros, M. E. (2008). *Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares: Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos*. Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 135 pp.

Reponen, T., Seo, Sung-Chul, Grimsley, F., Lee, T., Crawford, C. e Grinshpun S.A. (2007). Fungal fragments in moldy houses: A field study in homes in New Orleans and Southern Ohio. *Atmospheric Environment*. **41**: 8140-8149.

Salo, P.M., Sever, M.L. e Zeldin, D.C. (2009). Indoor allergens in school and day care environments. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. **124**: 185-192.

Santamouris, M., Synnefa, A., Assimakopoulos, M., Livada, I., Pavlou, K., Papaglastra, M., Gaitani, N., Kolokotsa, D. e Assimakopoulos V. (2008). Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings*. **40**: 1833-1843.

Sarigiannis, D.; Liakos, I.; Katsogiannis, A.; Gotti, A.; Barrero-Moreno, J. e Kotzias, D. (2008). Exposure Characterization and Health Risk of Volatile Organic Chemicals in the Indoor Air in Euro. *Epidemiology*. **19**: 355-356

Silva, G.V. (2009). Estratégias para o Controlo da Qualidade do Ar Interior . Controlo na Fonte. Acedido em 28, Abril, 2010, em: http://www.adeporto.eu/fotos/editor2/gvs_controlo_na_fonte.pdf.

Singer, B.C., Coleman, B. K., Destailats, H., Hodgson, A. T., Luden, M.M, Weschler, C.J. e Nazaroff, W.W. (2006). Indoor secondary pollutants from cleaning product and airfreshener use in the presence of ozone. *Atmospheric Environment*. **40**: 6696-6710.

Stetzenbach, L.D., Buttner, M.P. e Cruz, P. 2004. Detection and enumeration of airborne biocontaminants. *Current Opinion in Biotechnology* **15**:170-174.

Storey, E., Dangman, K.H., Schenck, P., Debernardo, R.L., Yang, C.S., Bracker, A., Hodgson, M.J. (2004). *Guidance for Clinicians on the Recognition and Management of Health Effects related to Mold Exposure and Moisture Indoors*. Acedido em 17, Março, 2010, em: <http://www.oehc.uchc.edu/clinser/MOLD%20GUIDE.pdf>.

Stranger, M., Potgieter-Vermaak, S.S. e Van Grieken, R. (2008). Particulate matter and gaseous pollutants in residences in Antwerp, Belgium. *Science of Total Environment* . **407**: 1182-1192.

Takigawa, T. , Wang, B.-L., Sakano, N., Da-Hong, W., Ogino, K. e Kishi, R. (2010). Relationship between indoor chemical concentrations and subjective symptoms associated with sick building syndrome in newly built houses in Japan. *Science of The Total Environment*. **407**: 5223-5228.

- Takigawa, T. , Wang, B.-L., Sakano, N., Da-Hong, W., Ogino, K. e Kishi, R (2009). Longitudinal study of environmental risk factors for subjective symptoms associated with sick building syndrome in new dwellings. *Science of the Total Environment*. **407**: 5223-5228.
- Tippayawong,N. , Khuntong, P., Nitatwichit, C., Khunatorn,Y. e Tantakitti C. (2009). Indoor/Outdoor relationships of size-resolved particle concentrations in naturally ventilated school environments. *Building and Environment*. **44**: 188-197.
- Wang, Bing-Ling, Takigawa, T., Yamasaki, Y., Sakano, N., Wang, Da-Hong e Ogino, K. (2008). Symptom definitions for SBS (sick building syndrome) in residential dwellings. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. **211**:114-120.
- Wang, S., Ang, H. M. e Tade, M. O. (2007). Volatic organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation:State of the art. *Environment Internacional* . **33**: 694-705.
- Wan-Kuen, J. e Seo, Young-Jun (2005). Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools and homes. *Chemosphere*. **61**: 1570-1579.
- Weschler, C. J. (2009). Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment*. **43**: 153-169.
- Wolkoff, P. e Nielsen, G. D. (2010). Non-cancer effects of formaldehyde and relevance for setting an indoor air guideline. *Environment Internacional*. **36**: 788. 799.
- Wong, L. T., Mui, K. W. e Hui, P. S. (2008). A multivariate-logistic model of acceptance for indoor environment quality (IEQ) in offices. *Building and Environment*. **43**: 1-6.
- Wong, S.-K., Lai, L. W.-C. Ho, D. C.-W., Chau, K.-W., Lam, C. L.-K. e Ng, C. H.-F. (2009). Sick building syndrome and perceived indoor environmental quality: A survey of apartment buildings in Hong Kong. *Habitat Internacional*. **33**: 463-471.
- 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.
- Zhao, Bin e Wu, Jun. (2007). Particle deposition in indoor environments: Analysis of influencing factors. *Journal of Hazardous Materials*.**147**: 439. 448.
- Zuraimi, M. S. e Tham, K. W. (2008). Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers. *Atmospheric Environment*. **42**: 2225. 2239.

Qualidade do Ar Interior em Jardins-de-Inf ncia

Ficha de caracteriza o

Elaborado por: Joana Santos

Data da visita:

Identificação do Jardim-de-Infância:

Morada:

Envolvente:

Nº Total de ocupantes:

Ano de construção:

Nº de pisos:

Nº de salas:

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS A AVALIAR

Designação da sala: _____ Área: _____ Nº Ocupantes: _____ Horário: _____

Tipo de Actividades: _____ Faixas Etárias: _____ Envolve: _____

CONDIÇÕES GERAIS DE INSTALAÇÃO

Revestimento	Paredes		Localização da sala no edifício		
	Tecto				
	Pavimento				
Estado de conservação			Iluminação		Sistema de aquecimento
	Tipo				Aquecimento central <input type="checkbox"/>
Estado de higiene	Nº e localização janelas				Aquecedores a óleo <input type="checkbox"/>
Presença de Humidade	Orientação de janelas				Aquecedores a gás <input type="checkbox"/>
Infiltrações	Abertura de janelas				Aquecedores de resistência <input type="checkbox"/>
	Dispositivos de protecção solar				Ligado/Desligado

VENTILAÇÃO

Tipo		Grelhas			Esquema Geral		
Natural	Mecânica	Insuflação		Exaustão			
Níveis de CO2		Nº					
Nº medição:		Funcionamento:					
Média:		Localização:					
Obs.:		Limpeza:					
HIGIENIZAÇÃO							
Periodicidade							
Horário							
Produtos de limpeza							

Possíveis fontes de poluentes interiores		Possíveis fontes de poluentes exteriores	
Mobiliário		Emissões de veículos	
Equipamento		Fumo de tabaco	
Queima de combustíveis (aquecedores, fogões gás)		Proximidade de chaminés	
Sobrelotação		Outros	
Plantas/animais			
Produtos de limpeza/ambientadores			
Outros (ex. actividades desenvolvidas)			

Observações:

Assinatura

Recolha de Informação

Qualidade do Ar Interior em Jardins-de-Infância

Data da avaliação:	
Identificação do JI:	
Responsável:	
Ano de Construção:	
Nº total de ocupantes/Faixa etária:	
Condições meteorológicas:	

Funcionamento da sala

(tipo de actividades, abertura de portas e janelas, variação da ocupação do espaço, fontes de contaminação...)

Esquema geral e identificação de pontos de amostragem

