

## **VENTILAÇÃO, QUALIDADE DO AR E SAÚDE EM CRECHES E INFANTÁRIOS RESULTADOS PRELIMINARES DO PROJETO ENVIRH**

**João Viegas<sup>1\*</sup>, Ana Luísa Papoila<sup>2</sup>, Pedro Martins<sup>2</sup>, Daniel Aelenei<sup>3</sup>, Manuela Cano<sup>4</sup>, Carmo Proença<sup>4</sup>, João Teixeira<sup>4</sup>, Susana Nogueira<sup>1</sup>, Ana Mendes<sup>4</sup>, Armando Pinto<sup>1</sup>, Paulo Paixão<sup>2</sup>, Rosado Pinto<sup>2</sup>, Nuno Neuparth<sup>2</sup>**

1: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa  
e-mail: [jviegas@lnec.pt](mailto:jviegas@lnec.pt), web: <http://www.lnec.pt>

2: CEDOC, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Nova de Lisboa, 1169-056, Lisboa, Portugal  
e-mail: [nuno.neuparth@fcm.unl.pt](mailto:nuno.neuparth@fcm.unl.pt) web: <http://cedoc.unl.pt/>

3: Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal

4: Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Portugal

**Palavras-chave:** Saúde, Qualidade do Ar Interior, Ventilação

**Resumo.** *É do conhecimento geral que a qualidade do ar interior influencia a qualidade de vida dos ocupantes dos edifícios e que pode ter implicações significativas no seu estado de saúde. As crianças constituem um grupo de risco que pode apresentar vulnerabilidades quando exposto a um ambiente interior de menor qualidade. Neste âmbito, correntemente constata-se que parece haver uma tendência para as crianças adoecerem com maior frequência quando iniciam a sua exposição ao ambiente de creches e infantários, ocorrendo em especial um aumento das doenças do foro respiratório. O projeto ENVIRH, reunindo uma equipa multidisciplinar, tem por objetivo principal estabelecer associações entre as condições de ventilação desses locais, a qualidade do ar interior (QAI) e a prevalência de doenças do foro respiratório.*

*O projeto desenvolve-se essencialmente através de duas fases. De entre um total de 48 creches e infantários (Instituições Privadas de Solidariedade Social - IPSS) em Lisboa e 40 no Porto, foram selecionadas aleatoriamente 45 IPSS (sendo 25 em Lisboa e 20 no Porto), tendo sido analisadas na fase preliminar as suas condições construtivas, realizadas medições pontuais e instantâneas do teor de CO<sub>2</sub> em salas de atividades, realizado um inquérito aos hábitos dos ocupantes relacionados com a ventilação e realizado um questionário médico para identificação de sibilância baseado no questionário ISAAC (International Study on Allergy and Asthma in Childhood). Com base na análise dos resultados preliminares, através do desenvolvimento de uma análise de "clusters", foi selecionado um conjunto mais restrito de 20 IPSS, as quais integraram a segunda fase do estudo, onde foram realizadas medições das taxas de ventilação (método PFT), da QAI (CO<sub>2</sub>, CO, formaldeído, COVTs, PM10, bactérias, fungos e ácaros), do conforto térmico e feito um acompanhamento das condições de saúde das crianças (questionário médico, recolha de condensado brônquico do ar exalado, identificação de vírus respiratórios).*

*A análise estatística dos resultados da primeira fase evidencia uma clara associação do incremento do teor de CO<sub>2</sub> com as práticas de manter as janelas exteriores e as portas interiores fechadas (que reduzem as taxas de ventilação) e, por outro lado, uma associação do incremento do teor de CO<sub>2</sub> com a sibilância (sintoma de doença respiratória). Esta comunicação detalha a metodologia seguida no estudo e apresenta os resultados da primeira fase.*

## 1. INTRODUÇÃO

A inadequada Qualidade do Ar Interior (QAI) pode influenciar negativamente a qualidade de vida dos ocupantes dos edifícios, afetando o seu estado de saúde. As crianças constituem um grupo de risco que pode apresentar vulnerabilidades quando exposto a um ambiente interior de menor qualidade. As creches e infantários são locais onde as crianças passam uma parte significativa do seu tempo e, devido a vários fatores, onde pode ocorrer uma deterioração da QAI. A QAI depende não só da existência e intensidade das fontes de poluentes (ocupação humana, emissões dos materiais, emissões dos equipamentos dos edifícios, etc.), como da ventilação dos locais (taxa de ventilação e eficácia da ventilação) e da qualidade do ar exterior [1], uma vez que na maioria dos casos não é tratado antes da sua admissão nos edifícios. Note-se que os comportamentos humanos podem ter uma influência significativa na ventilação dos locais e, nalguns casos, no controlo das fontes de poluentes. Diversos estudos têm revelado a existência de teores de CO<sub>2</sub> elevados em escolas, causados quer pela elevada densidade de ocupação, quer pela insuficiente ventilação [2][3][4][5]. Este aspeto também tem sido reportado nas escolas portuguesas [6][7], tendo sido constatado que a atividade das crianças contribui para um incremento das partículas em suspensão. Elevados teores de CO<sub>2</sub> surgem frequentemente associados a elevados teores de outros poluentes [8][9]. Tem sido igualmente reportada internacionalmente a existência de elevados teores de poluentes em creches e infantários [10][11][12], embora nalguns casos se indique que pode existir uma exposição ainda mais elevada a alguns poluentes em casa [13]. A medição do teor de CO<sub>2</sub>, sendo este gás resultante do metabolismo humano, na ausência de outras fontes (por exemplo, a combustão) pode ser utilizada como uma forma de avaliar o grau de viciação do ar interior por origem antrópica. Documentos técnicos de divulgação internacional, como por exemplo a norma ASHRAE 62.1 [14], recomendam que o teor de CO<sub>2</sub> no ambiente interior não ultrapasse 700 ppm acima do teor no ar exterior, para que não sejam sensíveis para um visitante odores decorrentes do metabolismo humano. Está relacionado com este o limite de 1000 ppm (1800 mg/m<sup>3</sup>) considerado no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios [15] para Portugal.

A permeabilidade da envolvente, interferindo com a ventilação dos compartimentos, pode influenciar a QAI; por exemplo, foi observado que compartimentos dotados de janelas de PVC apresentam teores de CO<sub>2</sub> mais elevados que compartimentos dotados de janelas de madeira [4].

Tem sido reportada a maior incidência de doenças infecciosas em crianças que frequentam creches e infantários relativamente às crianças educadas em casa e tem sido verificado que as primeiras são expostas a condições que podem incrementar o risco de alergias e de asma [16][17]. Todavia, ainda não é absolutamente clara a associação entre a qualidade do ar interior e a prevalência de doenças do foro respiratório neste domínio.

O projeto Ambiente e saúde em creches e infantários (ENVIRH - ENVIRONMENT and Health in children day care centres), co-financiado pela Fundação para Ciência e Tecnologia, tem por objetivo principal estabelecer associações entre as condições de ventilação desses locais, a QAI e a prevalência de doenças do foro respiratório.

## 2. ESTRUTURA E METODOLOGIA DO PROJETO DE INVESTIGAÇÃO

### 2.1. Conceção geral do projeto

Tendo em conta o objetivo geral estabelecido, o projeto ENVIRH foi estruturado de forma a enquadrar 7 conjuntos de atividades (ver figura 1). Dado que os recursos são limitados, este projeto não foi concebido de forma a refletir a realidade das cidades do interior ou das zonas rurais, mas apenas das maiores cidades de Portugal, onde a eventual associação entre a qualidade do ar interior e a saúde respiratória das crianças parecia à partida ser mais provável de identificar.

O projeto foi concebido de forma a assentar a sua análise em amostras significativas do universo considerado, que é constituído por creches e infantários (IPSS – Instituições Privadas de Solidariedade Social) dos Concelhos de Lisboa e do Porto. Para obter freguesias representativas das

idades de Lisboa e do Porto, foram selecionadas 20 das 40 escolas do Porto e 25 das 48 escolas de Lisboa, através do método de amostragem aleatória estratificada proporcional, em que o número de elementos (escolas) selecionados em cada estrato (freguesias) é proporcional ao número de elementos existentes no estrato. Nesse universo foram abrangidas 9657 crianças (sendo 5850 de Lisboa e 3807 do Porto).

A fase preliminar (Tarefa 1) foi concebida tendo em conta, em especial, a necessidade em responder às seguintes questões: (i) qual o estado de saúde respiratória das crianças que frequentam esses estabelecimentos? (ii) quais as características construtivas das creches com eventual impacto na QAI? (iii) que indícios existem de eventual deficiente QAI? Para se procurar responder a estas questões foi realizado um questionário médico para identificação de sibilância (baseado no questionário ISAAC - *International Study on Allergy and Asthma in Childhood*), foi feito um levantamento das condições construtivas das edificações, foram caracterizados os sistemas de ventilação e de climatização, foram identificadas potenciais fontes de contaminação do ambiente interior, foram realizadas medições pontuais e instantâneas do teor de CO<sub>2</sub> em salas de atividades e foi realizado um inquérito aos hábitos dos ocupantes relacionados com a ventilação. O estudo destes resultados apoiou a seleção de 20 escolas (sendo 11 em Lisboa e 9 no Porto) das 45 consideradas na fase anterior. De facto, foi efetuada uma análise de *clusters* com base nalgumas das variáveis medidas no interior, nomeadamente teor médio de CO<sub>2</sub>, temperatura média e humidade média, na qual foram identificadas as referidas 20 escolas. Os grupos identificados são objeto de estudo mais detalhado no âmbito das tarefas 2, 3 e 4. A análise dos resultados preliminares revelou alguns aspetos relevantes, que são objeto desta comunicação.

A tarefa 2, em conjunto com a tarefa 3, procura responder à questão: são as condições de saúde respiratória eventualmente condicionadas pela qualidade do ar na creche? Para esse efeito é feito um acompanhamento das condições de saúde das crianças (questionário médico, recolha de condensado brônquico do ar exalado, identificação de vírus respiratórios) e cruzada esta informação com os resultados da tarefa 3. No âmbito da tarefa 3 procura-se responder à questão: qual é a QAI destas edificações? Foi analisado o teor de CO<sub>2</sub>, CO, formaldeído, COVTs, PM10, bactérias, fungos e ácaros e o conforto térmico em salas de atividade.

Na tarefa 4 são avaliados os hábitos dos ocupantes deste grupo mais reduzido de creches e infantários e é avaliada a taxa média de ventilação, através da utilização do método PFT de gases traçadores. Esta atividade em conjunto com a tarefa 3 permite avaliar o impacto da ventilação na QAI. As tarefas 5 e 6 estão intrinsecamente ligadas e são realizadas apenas em duas creches, dada a complexidade dos trabalhos em causa. Destinam-se a qualificar experimentalmente a permeabilidade ao ar da envolvente (limitada essencialmente à permeabilidade ao ar de portas e de janelas), bem como a permeabilidade ao ar de portas interiores (em geral são as respetivas juntas móveis, quando as portas estão fechadas, que condicionam o escoamento do ar no interior destas edificações). Nos casos em que existem sistemas de ventilação ativos também é avaliado o respetivo caudal de exaustão. A permeabilidade ao ar é avaliada através do ensaio *in situ* com porta ventiladora. Adicionalmente são realizadas medições da taxa local de ventilação em compartimentos recorrendo ao método de decaimento (no presente caso com a utilização de CO<sub>2</sub>). A simulação computacional da ventilação é realizada com o programa CONTAM [18]. A validação dos dados introduzidos (essencialmente condições de fronteira) é realizada através da comparação dos resultados de simulação com as taxas de ventilação determinadas através de gases traçadores. Com estas atividades pretende-se conhecer em detalhe os aspetos físicos que condicionam a ventilação nestes dois edifícios típicos de forma a ser possível avaliar o impacto de recomendações tendo em vista a melhoria da sua ventilação. Estes dois casos constituem exemplos de aplicação que servirão de base à generalização das recomendações que deverão resultar deste projeto de investigação.

A tarefa final constitui a fase de síntese dos resultados e de desenvolvimento de recomendações, de âmbito construtivo, do âmbito da saúde e relativas aos procedimentos de utilização dos edifícios e dos respetivos meios de ventilação, que podem permitir atenuar as insuficiências de meios de ventilação.

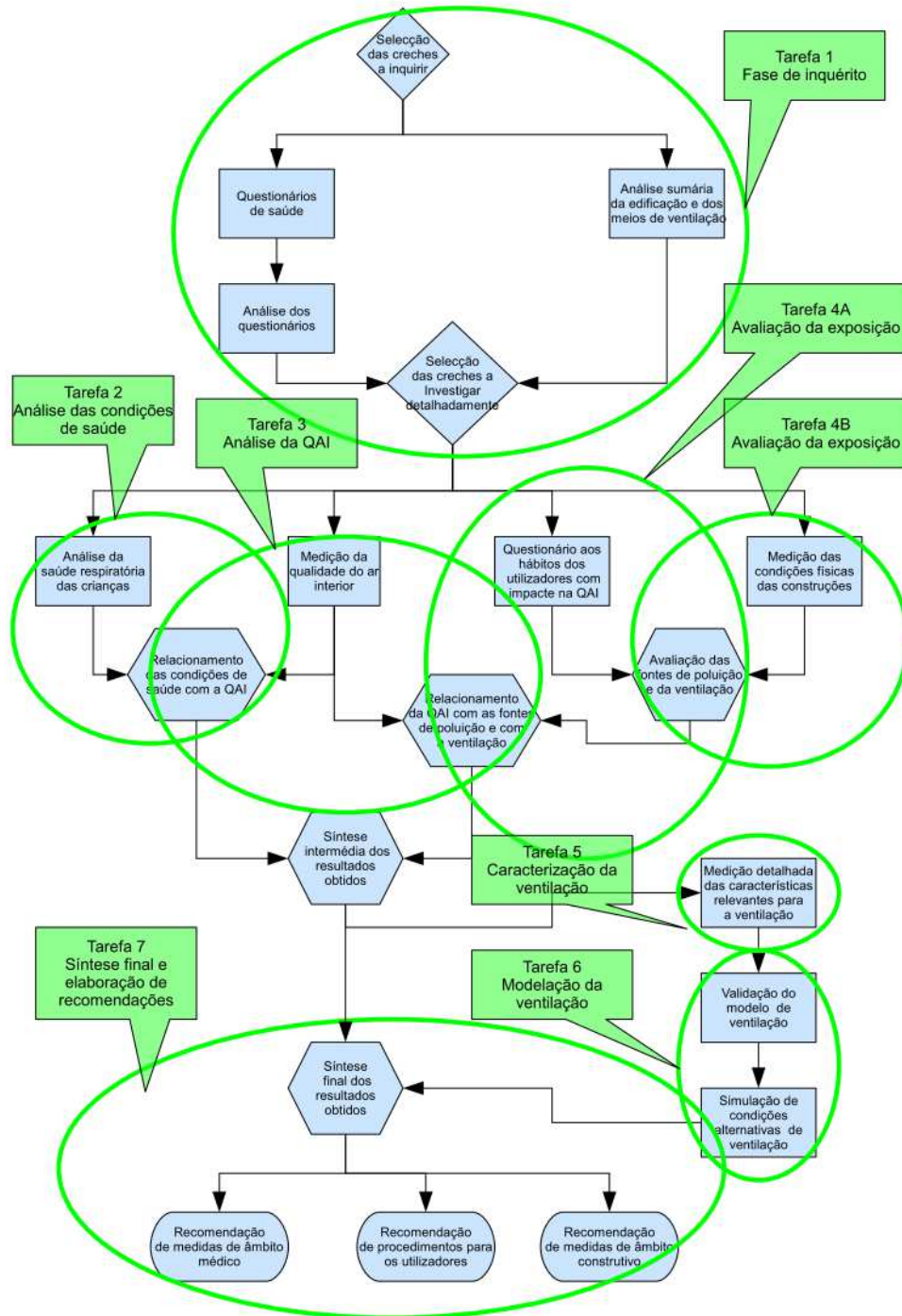


Figura 1. Fluxograma do projeto.

## 2.2. Metodologia estatística

Para manter a representatividade das freguesias das cidades de Lisboa e do Porto na amostra a ser recolhida, foram selecionadas 20 das 40 escolas do Porto e 25 das 48 escolas de Lisboa, através do método de amostragem aleatória estratificada proporcional, em que o número de elementos (escolas) selecionados em cada estrato (freguesias) é proporcional ao número de elementos existentes no estrato (tarefa 1).

Para selecionar 20 escolas das 45 consideradas na fase preliminar, foi efetuada uma análise de *clusters* através de um modelo hierárquico (método de Ward) com algumas das variáveis medidas no interior, nomeadamente teor médio de CO<sub>2</sub> no interior, temperatura média interior e humidade média interior. Dos *clusters* obtidos, consideraram-se os dois mais extremos (com as escolas mais heterogéneas no que diz respeito à qualidade do ar interior medida através das variáveis referidas anteriormente) e, destes, foram selecionadas 9 escolas do Porto e 11 de Lisboa.

Através do teste de Mann-Whitney foi confirmada a diferença, com significado estatístico, entre as escolas de cada um dos *clusters*, no que diz respeito às três variáveis utilizadas para efetuar a análise de *clusters*.

Foi efetuada uma análise exploratória das variáveis: área da sala [m<sup>2</sup>], volume da sala [m<sup>3</sup>], características das janelas (material da caixilharia, modo de abertura e tipo de vedante), orientação, acesso, número de crianças, densidade ocupacional [m<sup>-2</sup>], temperatura média exterior [°C], temperatura média interior [°C], diferença na humidade específica exterior/interior, precipitação, velocidade do vento, práticas de ventilação observadas, práticas de ventilação declaradas e teor médio de CO<sub>2</sub> [ppm] no período de ocupação das salas. Foram ainda estudadas outras variáveis relacionadas com o edifício e com a saúde.

Para as variáveis quantitativas, dada a existência de *outliers* e de distribuições assimétricas, foram utilizadas a mediana e a amplitude interquartil (P<sub>25</sub>; P<sub>75</sub>) como medidas de localização e de dispersão, respetivamente. Para as variáveis categóricas, foram calculadas frequências e/ou percentagens.

Foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman para estudar a associação entre algumas das variáveis contínuas. Para a comparação da distribuição destas variáveis, foram utilizados os testes de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis (dois ou mais grupos independentes, respetivamente). Nos casos em que foram detetadas diferenças após a aplicação do último destes testes, efetuaram-se as comparações múltiplas com vista a identificar quais os grupos que diferiam entre si. Para estudar a associação entre variáveis categóricas, foram utilizados os testes de Qui-Quadrado ou, sempre que necessário, o teste exato de Fisher.

Para aprofundar o estudo da associação entre os níveis de CO<sub>2</sub> e as características que se relacionam com a ventilação e que podem influenciar a QAI, foram ajustados vários modelos de regressão linear simples e múltipla, considerando como variável resposta o teor de CO<sub>2</sub>. Dada a grande assimetria da distribuição desta variável, foi efetuada uma transformação logarítmica dos valores de CO<sub>2</sub> por forma a garantir uma distribuição Gaussiana dos resíduos obtidos pelos referidos modelos.

Para estudar a associação entre o teor de CO<sub>2</sub> e as variáveis recolhidas no questionário da saúde, foram utilizados modelos de regressão que consideram a estrutura de dependência existente entre os indivíduos pertencentes à mesma IPSS. Os parâmetros destes modelos foram estimados através das Equações de Estimação Generalizadas (GEE) com uma matriz de correlação de trabalho uniforme (*exchangeable*).

Foi considerado um nível de significância  $\alpha = 0,05$  e a análise dos dados foi efetuada com os programas SPSS 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences, Chicago, Illinois, USA) e STATA (StataCorp. 2011. Stata Statistical Software: Release 12. College Station, TX: StataCorp LP.)

### **3. CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS**

#### **3.1. Estrutura do levantamento**

Este levantamento (tarefa 1) tinha por objetivo permitir avaliar as características construtivas e de utilização das creches que poderiam condicionar a ventilação e a qualidade do ar interior. O levantamento das condições construtivas foi realizado sempre pelo mesmo operador de forma a assegurar a uniformidade do preenchimento. Foi acompanhado por registo fotográfico e pela medição do teor de CO<sub>2</sub> em três salas, em média, por instituição. Este levantamento estava subdividido em grupos temáticos relativamente aos quais foram definidas as seguintes características:

1. Informação geral – Identificação, Caracterização genérica do edifício (Tipo de edifício, Número de pisos, Implantação, Ano de construção, Ocupação do edifício, Área total e Área climatizada) e Inserção (Caracterização da zona envolvente e Fontes de poluição);
2. Ocupação - N.º de salas, N.º total de alunos, N.º máximo de alunos por sala, N.º mínimo de alunos por sala;
3. Caracterização da envolvente do edifício – Paredes, Cobertura, Caixilharia (Material, Preenchimento, Modo de abertura das folhas móveis e Junta móvel) e Proteção solar;
4. Ventilação do edifício – Mecânica (VMC, Local), Natural (Características de admissão e Características de exaustão) e Mista (Características de admissão e Características de exaustão);
5. Climatização do edifício – Estratégia e Combustível utilizado;
6. Aquecimento de águas sanitárias - Tipo de aparelho e Localização do aparelho;
7. Cocção de alimentos – Local e Combustível;
8. Outras fontes de poluentes - Data da realização de obra de melhoramento das instalações e Outras fontes de poluentes;
9. Patologias relacionadas com o aparecimento de fungos e/ou bolores;
10. Práticas dos utilizadores – Climatização (Aquecimento e arrefecimento), Ventilação (Inverno, Primavera/Outono e Verão);
11. Opinião dos utilizadores – Climatização e Perceção da qualidade do ar.

#### **3.2. Resultados**

Foram analisadas 45 IPSS de acordo com a metodologia descrita, abrangendo um total de 310 salas de atividade (das quais 200 em Lisboa e 110 no Porto) e com uma população de 5251 crianças (sendo 3482 em Lisboa e 1769 no Porto). Nas tabelas 1 a 3 são resumidos alguns dos resultados obtidos neste levantamento. Na tabela 1 resumem-se as características das edificações incluindo algumas patologias identificadas; na tabela 2 são caracterizados os componentes dos vãos; na tabela 3 são caracterizados os sistemas de ventilação e de climatização, bem como as práticas dos utilizadores.

No Porto 50% das construções são anteriores a 1950, enquanto em Lisboa apenas 38% são anteriores a 1950. Em consonância com as datas de construção, verifica-se que a maioria dos edifícios tem estrutura de betão e paredes em alvenaria de tijolo. Verifica-se que apenas um quarto dos edifícios não apresentam patologias ligadas a condensações e/ou infiltrações. Os sinais de infiltrações correspondem às patologias observadas com maior frequência (em 60% dos edifícios em Lisboa e em 55% dos edifícios no Porto). Ainda assim verificou-se que estas patologias visíveis estavam normalmente circunscritas a locais muito limitados, sendo expectável que tenham um impacto reduzido no ambiente interior. Verificou-se que uma parte significativa dos edifícios tinha sido objeto de pequenas intervenções de reabilitação (essencialmente pintura interior e substituição de pisos) no ano em que foram visitados, o que pode ter mascarado algumas eventuais patologias.

Verifica-se que em Lisboa a maioria das janelas são de alumínio (76%) enquanto no Porto a maioria é de madeira (70%). As janelas de madeira e de aço encontradas correspondem a sistemas de caixilharia antigos que não dispõem de sistemas de vedação, o que implica que a sua permeabilidade

ao ar é significativamente mais elevada do que nos sistemas de caixilharia com sistemas de vedação. Note-se que a soma dos caixilhos de madeira com os de aço, quer em Lisboa quer no Porto, corresponde ao número de caixilhos sem vedantes. A estes caixilhos antigos também corresponde em geral a utilização de vidro simples (80% no Porto e 60% em Lisboa) e o modo de abertura por rotação (janelas de batente ou basculantes), sendo 68% em Lisboa e 80% no Porto. As janelas com vedantes correspondem a construções mais recentes e a reabilitação. Evidencia-se que em Lisboa existe já uma percentagem significativa de janelas com vidro duplo (40%), que resultam de obras de construção ou de reabilitação mais recentes.

		Lisboa		Porto		
		Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa	
Época de Construção	Séc. XVI	1	4%	2	10%	
	Séc. XVIII	2	8%	2	10%	
	Séc. XIX	5	20%	3	15%	
	Séc. XX	< 1950	1	4%	3	15%
		> 1950	13	52%	8	40%
	Séc. XXI	3	12%	2	10%	
Tipo de construção	Alvenaria de tijolo	16	64%	11	55%	
	Alvenaria de pedra	4	32%	8	40%	
	Pré-fabricado	1	4%	1	5%	
Patologias do edificado	Condensações	4	16%	4	20%	
	Infiltrações	5	20%	6	30%	
	Condensações e Infiltrações	10	40%	5	25%	
	Sem patologias	6	24%	5	25%	
Obras de reabilitação <sup>i</sup>	Ano n <sup>ii</sup>	14	56%	7	35%	
	Ano n-1	6	24%	3	15%	
	Ano n-2	2	8%	4	20%	
	Ano n-3	2	8%	2	10%	
	Ano n-4	0	0%	1	5%	
	Ano n-5	1	4%	3	15%	

Tabela 1. Características construtivas do edificado.

A maioria das salas de atividade não dispõe de qualquer sistema de ventilação concebido para o efeito, sendo a sua ventilação assegurada por meios passivos através da abertura das janelas ou através da permeabilidade ao ar da envolvente. Apenas um edifício dispõe de um sistema de ventilação mecânico que abrange as salas de atividade. Existe um número reduzido de edifícios (referidos como tendo ventilação mista com exaustão mecânica nas instalações sanitárias) nos quais a ventilação mecânica, embora não constituindo um sistema de ventilação mecânica centralizada envolvendo todo o edifício, poderá ter alguma influência para a ventilação das salas de atividade. Nos restantes casos existe com frequência ventilação mecânica nas cozinhas, mas devido à segregação da cozinha relativamente às salas de atividade, à existência de aberturas

<sup>i</sup> As obras de reabilitação consistiram essencialmente em pintura interior e substituição de pisos vinílicos.

<sup>ii</sup> Designa-se por ano n aquele em que decorreram as visitas aos edifícios.

exteriores na cozinha e ao facto das portas interiores da cozinha se encontrarem frequentemente fechadas em período de atividade considerou-se que o impacto destes sistemas de ventilação nas salas de atividade é muito reduzido. A climatização é assegurada essencialmente por aparelhos autónomos, existindo no Porto, todavia, uma maior incidência de sistemas centralizados. Em Lisboa quase todos os aparelhos de climatização têm funções de aquecimento e de arrefecimento, enquanto no Porto apenas 35% apresentam a possibilidade de arrefecimento. Verifica-se que cerca de 90% dos educadores referem manter as janelas abertas no período de Verão. No Inverno quase a totalidade dos educadores do Porto mantém as janelas fechadas. Em Lisboa cerca de 50% dos educadores afirmam manter as janelas abertas no Outono, Inverno e Primavera.

		Lisboa		Porto		
		Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa	
Material da Caixilharia	Madeira	5	20%	14	70%	
	Alumínio	19	76%	5	25%	
	Aço	1	4%	1	5%	
Tipo de Vidro	Vidro Simples	15	60%	16	80%	
	Vidro Duplo	10	40%	4	20%	
Tipo de Folha Móvel	Batente	12	48%	13	65%	
	Correr	8	32%	4	20%	
	Basculante	5	20%	3	15%	
Tipo de vedantes das Janelas	Sem Vedantes	6	24%	14	70%	
	Com vedantes de borracha	14	56%	3	15%	
	Com vedantes de pelúcias	5	20%	3	15%	
Tipo de proteção solar	Interior	Madeira	9	36%	9	45%
		Outros <sup>iii</sup>	3	12%	6	30%
	Exterior	PVC	13	52%	5	25%

Tabela 2. Características dos vãos.

#### 4. ANÁLISE DO TEOR DE DIÓXIDO DE CARBONO

##### 4.1. Enquadramento

No âmbito do levantamento que constituiu a fase preliminar deste estudo (tarefa 1) foram realizadas medições do teor de dióxido de carbono em salas de atividade das unidades estudadas. Dado que única fonte de contaminação destes espaços com este gás era o metabolismo dos ocupantes, o seu teor foi utilizado como indicador do grau de viciação do ambiente interior, permitindo assim dar uma indicação, embora parcial, sobre a QAI. Nas subsecções seguintes são indicadas as grandezas avaliadas no decurso do levantamento preliminar que mostraram influenciar de forma estatisticamente significativa o teor de CO<sub>2</sub>.

Foram realizadas medições do teor de CO<sub>2</sub>, da temperatura e da humidade relativa em cada local. No início e no fim da campanha de medições foram realizadas medições do ambiente exterior. Cada medição foi realizada até à estabilização da leitura, o que correspondeu na maioria dos casos a um período de espera aproximadamente de 15 minutos. Este período de

<sup>iii</sup> Cortina interior de tecido, estore interior de lâminas metálicas e estore interior tipo *blackout* e/ou de microfibras.

estabilização da leitura enquadra quer a estabilização da leitura do próprio aparelho, quer o período transiente inicial quando as salas tinham acabado de receber a sua ocupação. Os aparelhos utilizados caracterizam-se pelas seguintes estimativas de incerteza expandida: (i) CO<sub>2</sub> ( $U_{CO_2}=\pm 62$  ppm para uma medição de 1000 ppm e  $U_{CO_2}=\pm 175$  ppm para uma medição de 3000 ppm) e (ii) temperatura ( $U_T=\pm 1,16$  °C). Dado que se pretendia evidenciar a eventual associação entre a qualidade do ar e as condições de saúde respiratória das crianças, foram selecionadas para a realização destas medições as salas com um maior número de crianças ou com uma aparente menor permeabilidade ao ar da envolvente (que se concretizou normalmente pela seleção das salas com menos área aberta das janelas).

			Lisboa		Porto	
			Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa
Tipo de sistema de Ventilação	Mecânica		0	0%	1	5%
	Mista	Exaustão mecânica na cozinha	19	76%	13	65%
		Exaustão mecânica na cozinha e i.s. <sup>iv</sup>	1	4%	4	20%
		Exaustão mecânica na i.s.	0	0%	1	5%
	Natural		5	20%	1	5%
Práticas de Ventilação Declaradas pelos Utilizadores	Janelas Abertas	Inverno	11	44%	2	10%
		Primavera / Outono	13	52%	6	30%
		Verão	23	92%	18	90%
Tipo de Sistema de Climatização	Aparelhos autónomos		23	92%	13	65%
	Centralizado com fluido permutador de calor		2	8%	7	35%
Fonte de Energia	Eletricidade		23	92%	13	65%
	Gás		2	8%	7	35%
Existência de Climatização	Com aquecimento		22	88%	20	100%
	Sem aquecimento		3	12%	0	0%
	Com arrefecimento		20	80%	7	35%
	Sem arrefecimento		5	20%	13	65%

Tabela 3. Características dos sistemas de ventilação e climatização.

#### 4.2. Resultados

Foi medido o teor de CO<sub>2</sub> em 143 salas de atividade (sendo 82 em Lisboa e 61 no Porto), abrangendo um total de 2170 crianças (sendo 1266 em Lisboa e 904 no Porto). A figura 2 mostra a distribuição das medições do teor de CO<sub>2</sub> nas salas. Verifica-se que em cerca de 90% das medições os valores obtidos correspondem a concentrações superiores a 1000 ppm (1800 mg/m<sup>3</sup>). Este valor de referência enquadra-se na recomendação da ASHRAE [14] e constitui também o limite referido no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) [15], que embora não se aplique necessariamente nestes casos constitui uma referência nacional para a QAI em edifícios. Embora sejam bem conhecidos os fatores que interferem nas taxas de ventilação (permeabilidade da envolvente do edifício, das ações do vento e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior)

<sup>iv</sup> Instalações sanitárias.

e o seu impacte na concentração dos poluentes com origem conhecida, é difícil de ser prevista a situação real de utilização de uma edificação sem uma extensa medição das características da edificação e um conhecimento detalhado das práticas dos seus utilizadores. No presente caso, resultou do levantamento realizado um conjunto de características observáveis que se relacionam com a ventilação e que podem influenciar a QAI. Foi avaliado através de metodologia estatística se o estado dessas características está significativamente associado ao teor de CO<sub>2</sub> medido. Na tabela 4 apresentam-se alguns dos resultados obtidos no estudo univariável, apresentando-se as variáveis com associação significativa ou relevante ao teor de CO<sub>2</sub>.

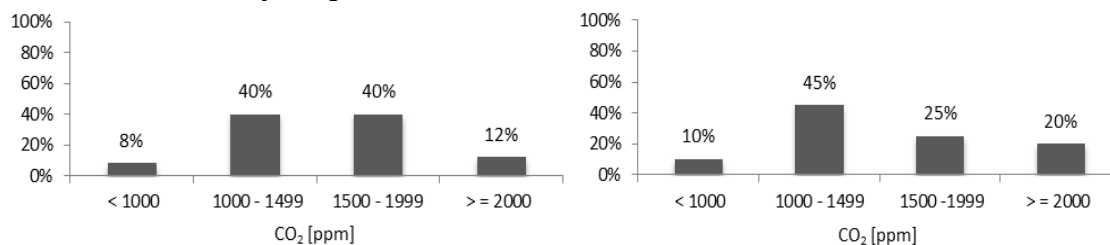


Figura 2. Resultados da medição do teor de CO<sub>2</sub> em salas de atividade em Lisboa e no Porto.

Associação	Significância	Caracterização da distribuição
<u>Variação do teor de CO<sub>2</sub> com o tipo de vedante nas janelas (domínio – 68 salas com portas e janelas fechadas)</u>	p =0,012	
Teor de CO <sub>2</sub> nas salas com janelas com vedantes de borracha (29 salas)		mediana=2029; P <sub>25</sub> :1637 - P <sub>75</sub> :2322
Teor de CO <sub>2</sub> nas salas com janelas com vedantes de pelúcia (12 salas)		mediana=1693; P <sub>25</sub> :1254 - P <sub>75</sub> :2180
Teor de CO <sub>2</sub> nas salas com janelas sem vedantes (27 salas)		mediana=1420; P <sub>25</sub> :1150 - P <sub>75</sub> :2120
<u>Variação do teor de CO<sub>2</sub> com o tipo de janela (domínio - 137 salas com janelas abertas ou fechadas)</u>	p =0.302 sem significado	
Teor de CO <sub>2</sub> nas salas com janelas de batente (68 salas)		mediana=1509; P <sub>25</sub> :1119 - P <sub>75</sub> :2138
Teor de CO <sub>2</sub> nas salas com janelas basculantes (34 salas)		mediana=1433; P <sub>25</sub> :1000- P <sub>75</sub> :1627
Teor de CO <sub>2</sub> nas salas com janelas de correr (35 salas)		mediana=1433; P <sub>25</sub> :1086 - P <sub>75</sub> :1730
<u>Variação de CO<sub>2</sub> com a posição da janela (domínio – 143 salas)</u>	p <0.001	
Teor de CO <sub>2</sub> em salas com janelas fechadas (96 salas)		mediana=1625; P <sub>25</sub> :1247 - P <sub>75</sub> :2143
Teor de CO <sub>2</sub> em salas com janelas abertas (47 salas)		mediana=1092; P <sub>25</sub> :870 - P <sub>75</sub> :1497
<u>Variação de CO<sub>2</sub> com a posição das portas, estando as janelas fechadas ou abertas (domínio – 143 salas)</u>	p =0,028	
Teor de CO <sub>2</sub> em salas com portas fechadas (106 salas)		mediana=1559; P <sub>25</sub> :1127 - P <sub>75</sub> :2105
Teor de CO <sub>2</sub> em salas com portas abertas (37 salas)		mediana=1238; P <sub>25</sub> :1070 - P <sub>75</sub> :1638
<u>Variação de CO<sub>2</sub> com a posição das portas, estando as janelas fechadas (domínio – 96 salas)</u>	p =0.001	
Teor de CO <sub>2</sub> em salas com portas fechadas (68 salas)		mediana=1402; P <sub>25</sub> :1680 - P <sub>75</sub> :2217
Teor de CO <sub>2</sub> em salas com portas abertas (28 salas)		mediana=1085; P <sub>25</sub> :1248 - P <sub>75</sub> :1733

Tabela 4. Avaliação estatística da possível associação do teor de CO<sub>2</sub> com características observáveis das janelas.

Verificou-se que tem significado estatístico a associação entre o teor de CO<sub>2</sub> e o tipo de vedante da janela (só foram consideradas as salas com as janelas fechadas), sendo esse valor mais elevado nas salas com vedantes de borracha. Este aspeto deverá estar relacionado com o facto dos vedantes de borracha assegurarem uma menor permeabilidade ao ar das juntas móveis. Embora não seja significativo, observa-se uma tendência para as salas com janelas de batente

terem um teor de CO<sub>2</sub> superior aos das salas com janelas de ventilação ou de correr. Observa-se ainda uma associação muito significativa entre a posição das folhas das janelas e o teor de CO<sub>2</sub> medido, sendo este menor quando as folhas estão abertas, como seria de esperar. No que respeita à posição das portas, também foi encontrada uma associação significativa com o teor de CO<sub>2</sub>, quer quando as janelas estão abertas, quer quando estas estão fechadas.

Para além da análise univariável referida foi desenvolvida uma análise multivariável com o logaritmo do teor de CO<sub>2</sub> através da qual foram isoladas variáveis de influência verificando-se que a abertura da janela exterior (estimativa do coeficiente de regressão = -0,374, 95% CI: -0,504; -0,244; p<0,001) é mais eficaz do que a abertura da porta interior (estimativa do coeficiente de regressão = -0,195, 95% CI: -0,331; -0,060; p=0,005), que o logaritmo do teor de CO<sub>2</sub> é incrementado com o número de crianças no compartimento (estimativa do coeficiente de regressão = 0,019, 95% CI: 0,008; 0,030; p=0,001) e que o logaritmo do teor de CO<sub>2</sub> é decrementado com o incremento da velocidade do vento (estimativa do coeficiente de regressão = -0,008, 95% CI: -0,015; -0,001; p=0,022).

## 5. ANÁLISE DA SAÚDE RESPIRATÓRIA DAS CRIANÇAS

Em Outubro de 2010, no âmbito da tarefa 1, foi entregue aos pais de todas as crianças inscritas nas instituições selecionadas, uma versão resumida do questionário do estudo ISAAC (n=5161). Destes, foram devolvidos 3185 questionários. A idade média das crianças foi de 3.1 ± 1.5 anos, sendo 50.5% do sexo masculino. A prevalência reportada de pieira (silvos no peito) nos 12 meses anteriores foi de 27.5% (IC 95%: 25.9% - 29.0%).

Das diversas variáveis consideradas - idade em anos, sexo, escolaridade dos pais, tabagismo passivo, existência de irmãos mais velhos, antecedentes de eczema na criança, antecedentes de asma ou rinite nos pais, número de alunos, existência de bolores na instituição, temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) médias do ar interior durante o período de ocupação, somente persistiram significativas na análise multivariável (p<0.05), a idade (OR: 0.74; IC 95: 0.70 - 0.78; p<0.001), antecedentes de eczema (OR: 1.35; IC 95: 1.14 - 1.60; p<0.001), e antecedentes de asma ou rinite nos pais (OR: 1.99; IC 95: 1.67 - 2.38; p<0.001). De salientar ainda que um aumento de 100 ppm de CO<sub>2</sub>, também se associou com um incremento de 2% do risco de pieira nos 12 meses anteriores (OR: 1.02; IC 95: 1.01 - 1.03; p=0.008).

## 6. CONCLUSÕES

- Os edifícios das creches e infantários apresentam-se cuidados nos seus aspetos construtivos, frequentemente com sistemas de aquecimento e, nalguns casos, com sistemas de climatização.
- São pouco evidentes patologias da construção, que ou foram objeto de reparação ou não estão aparentes por aplicação recente de revestimentos por pintura.
- Uma parte significativa deste parque edificado corresponde a edifícios que foram objeto de reabilitação, no âmbito da qual foram melhoradas as caixilharias exteriores, sem, todavia, terem sido implementados sistemas de ventilação dedicados nas salas de atividade.
- A maioria dos edifícios não tem sistemas de ventilação nas salas de atividade, sendo a ventilação assegurada pela abertura de janelas ou pela permeabilidade ao ar da envolvente.
- Em consequência disso, foram medidos teores particularmente elevados de CO<sub>2</sub> no ambiente interior, indicando claramente deficiências da QAI devido à insuficiente ventilação.
- Através de uma análise estatística univariável verificou-se que existe uma associação significativa entre o teor de CO<sub>2</sub> nas salas e o tipo de vedante utilizado nas janelas, a posição das folhas das janelas (abertas ou fechadas) e a posição das portas interiores (abertas ou fechadas).
- Uma análise multivariável evidenciou, para além das variáveis referidas, que também o número de crianças em cada sala de atividade e a velocidade do vento influenciam

- significativamente o teor de CO<sub>2</sub>. Não foram identificadas outras variáveis de influência.
- Os resultados obtidos relativamente à análise da saúde respiratória indiciam a existência de uma associação do teor de CO<sub>2</sub> com a pieira nos 12 meses anteriores.
- 

Este projeto de investigação tem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/SAU-ESA/100275/2008).

## REFERÊNCIAS

- [1] M.S. Zuraimi, K.W. Tham. *Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers*. Atmospheric Environment, Vol. **42**(9), pp. 2225-2239 (2008)
- [2] F. van Dijken, J. E. M. H. van Bronswijk e J. Sundell, *Indoor environment and pupils' health in primary schools*, Building Research & Information, Vol. **34**(5), pp. 437-446 (2006).
- [3] D. Mumovic, J. Palmer, M. Davies, M. Orme, I. Ridley, T. Oreszczyn, C. Judd, R. Critchlow, H. A. Medina, G. Pilmoor, C. Pearson e P. Way, *Building and Environment*, Vol. **44**, pp. 1466-1477 (2009).
- [4] A. Borodinecs and Z. Budjko, *Indoor air quality in nursery schools in Latvia*. Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, USA (2009).
- [5] Khaled Al-Rashidi, Dennis Loveday, Nawaf Al-Mutawa. *Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms*. Energy & Buildings, Vol. **47**, pp. 540-549 (2012).
- [6] Susana Marta Almeida, Nuno Canha, Ana Silva, Maria do Carmo Freitas, Priscilla Pegas, Célia Alves, Margarita Evtugina, Casimiro Adrião Pio. *Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools*. Atmospheric Environment, Vol. **45**(40), pp. 7594-7599 (2011).
- [7] P.N. Pegas, T. Nunes, C.A. Alves, J.R. Silva, S.L.A. Vieira, A. Caseiro, C.A. Pio. *Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal*. Atmospheric Environment, Vol. **55**, pp. 80-89 (2012).
- [8] D. Norbäck, G. Wieslander, X. Zhamg e Z. Zhao, *Respiratory Symptoms, perceived air quality and physiological signs in elementary school pupils in relation to displacement and mixing ventilation system: an intervention study*. Indoor Air, Vol. **21**, pp. 427-437 (2011).
- [9] M. C. Freitas, N. Canha et al., *Indoor air quality in primary schools*, Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies, Vol. **20**, pp. 361-384 (2011). Anca Maria Moldoveanu (ed.)
- [10] Mélissa St-Jean, Annie St-Amand, Nicolas L. Gilbert, Julio C. Soto, Mireille Guay, Karelyn Davis, Theresa W. Gyorkos. *Indoor air quality in Montréal area day-care centres, Canada*. Environmental Research (2012)
- [11] O. Ramalho, C. Mandin, J. Ribéron e G. Wyart. *Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centres*. Ventilation 2012, Paris, (2012).
- [12] Larry Dlugosz, Wei Sun. *HVAC design to reduce risk of communicable disease in child care center infant and toddler rooms*.(Report). ASHRAE Transactions, July, Vol. **117**(2), p. 84(7) (2011)
- [13] Céline Roda, Sophie Barral, Hanitriniala Ravelomanantsoa, Murielle Dusséaux, Martin Tribout, Yvon Le Moullec, Isabelle Momas. *Assessment of indoor environment in Paris child day care centers*. Environmental Research, Vol. **111**(8), pp. 1010-1017 (2011)
- [14] ASHRAE Standard 62.1, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA (2010).
- [15] *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. Diário da República — I Série-A, Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril de 2006.
- [16] M. S. Zuraimi, K. W. Tham et al. *The effect of ventilation strategies of child care centers on indoor air quality and respiratory health of children in Singapore*. Indoor Air, Vol. **17**, pp. 317-327 (2007).
- [17] L. Hagerhed-Engman, C. G. Bornehag, J. Sundell e N. Åberg, *Day-care attendance and increased risk for respiratory and allergic symptoms in preschool age*. Allergy, Vol. **61**, pp. 447-453 (2006).
- [18] George N. Walton e W. Stuart Dols, *CONTAM User Guide and Program Documentation*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2010. NISTIR 7251.