

O DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES COM VENTILAÇÃO NATURAL E MISTA II

Manuel Pinto¹

Correio electrónico: mpinto@dcivil.estv.ipv.pt

Vasco Peixoto de Freitas²

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

Num passado recente, os edifícios residenciais nos climas temperados eram ventilados pela abertura diária das janelas e pela exagerada permeabilidade da caixilharia. Preocupações de conservação de energia levaram ao uso de caixilharia de melhor qualidade e consequentemente ao aumento do risco de condensações bem como à redução da qualidade do ar interior.

Devido à variação de factores naturais, tais como a velocidade do vento e o efeito de chaminé, os sistemas de ventilação natural nem sempre permitem assegurar as taxas de renovação horária ideais. Sendo assim, pretende-se caracterizar um sistema de ventilação misto (entradas de ar auto-reguláveis nos quartos e salas, extracção natural nas instalações sanitárias e extracção mecânica na cozinha) que poderá ser uma estratégia de ventilação interessante.

Este artigo apresenta alguns resultados de uma campanha experimental realizada com o objectivo de caracterizar o sistema atrás descrito, o qual se encontra implementado num conjunto habitacional de 94 fogos na área do grande Porto.

O estudo pretende avaliar, entre outros, os coeficientes de pressão na envolvente exterior do edifício, a permeabilidade da envolvente (ex.: janelas, grelhas e caixas de estore), os dispositivos instalados (ex.: ventilador estático), bem como as taxas de renovação horária recorrendo ao método do gás traçador, mais concretamente às técnicas PFT e do declive.

Palavras-chave: Ventilação, Habitação, Renovações Horárias (*RPH*), Gases Traçadores, PFT

1 INTRODUÇÃO

Na sequência da crise energética da década de 70 do século passado, surgiu a necessidade de limitar o consumo de energia, diminuindo as taxas de renovação de ar nos edifícios de habitação, com consequências na qualidade do ar e no valor da humidade relativa interior. Por outro lado, a utilização de caixilharias de melhor qualidade reduziu a permeabilidade ao ar da envolvente, o que resultou no aumento do risco de aparecimento de condensações e a consequente degradação dos elementos de construção [1] e [2].

As recomendações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil [3] e da normalização existente para a ventilação natural de edifícios de habitação [4] estipulam taxas médias de uma renovação por hora (*RPH*) nos compartimentos principais (quartos e salas) e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias). A recente regulamentação portuguesa na área da térmica de edifícios [5] define uma renovação horária mínima de 0,6 *RPH*.

¹ Prof. Adjunto da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Departamento de Engenharia Civil.

² Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Física das Construções.

Admite-se que grande parte dos edifícios de habitação recentemente construídos não cumpra as taxas de renovação apresentadas. Sendo assim, é necessário implementar sistemas de ventilação geral e permanente com admissão contínua de ar através dos compartimentos principais e exaustão de ar nos compartimentos de serviço [6], [7], [8] e [9].

2 MEDIÇÃO DAS RENOVAÇÕES HORÁRIAS. MÉTODO DO GÁS TRAÇADOR – TÉCNICA PFT

O método do gás traçador consiste na introdução no compartimento a ser testado de uma determinada quantidade de um gás pouco comum na atmosfera, gás traçador, e o registo da evolução da sua concentração ao longo do tempo. Em sistemas de ventilação natural, com infiltrações e exfiltrações, o método do gás traçador é o único que pode ser usado para medir a distribuição dos fluxos de ar pelos diferentes compartimentos dos edifícios.

Durante os últimos anos a técnica do gás traçador passivo [10] tem-se tornado bastante difundida internacionalmente, devido ao reduzido sistema experimental *in situ* e também ao facto de ser possível efectuar os ensaios em edifícios ocupados e em períodos alargados de tempo. Esta técnica, denominada por PFT devido ao tipo de gás usualmente empregue (Perfluorocarbon Tracer), foi criada nos EUA [11] e posteriormente aplicada e desenvolvida em várias instituições europeias e japonesas.

A técnica do gás traçador passivo é uma variante da técnica da emissão constante e consiste na emissão contínua e passiva do gás traçador, Perfluorobenzeno (C_6F_6) – PB e Perfluorometilbenzeno (C_7F_8) – PMB, através de cápsulas emissoras.

O gás contido nas cápsulas emissoras está na fase líquida e é disperso no ar ambiente, após evaporação, através de várias técnicas: permeância através de uma membrana, difusão através de um tubo capilar, e mais recentemente inserindo um fio metálico no tubo capilar [12] o que permite uma emissão ajustável.

Nesta última técnica, o gás traçador, na forma líquida, está contido num pequeno tubo de alumínio. O composto vaporiza-se, a uma taxa variável em função da temperatura, e difunde-se ao longo de um tubo capilar de 40 mm. A taxa de emissão pode ser ajustada através da inserção, com diferentes profundidades, de um fio metálico no tubo capilar, com o objectivo de bloquear parte da área de difusão. Assim, a emissão pode ser ajustada proporcionalmente ao volume da zona na qual a cápsula vai ser instalada. A Figura 1 indica-nos a emissão relativa em função do comprimento da penetração do fio.

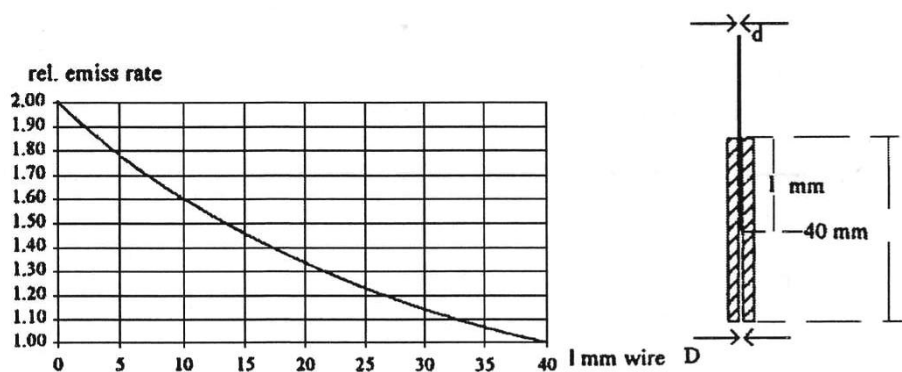


Figura 1 - Ajustamento da emissão relativa numa cápsula emissora [13].

Após a difusão molecular do gás no ambiente, a recolha é realizada passivamente por difusão capilar através de cápsulas receptoras contendo um adsorvente, carvão activado poroso. Na Figura 2 apresenta-se um exemplo de uma cápsula receptora.

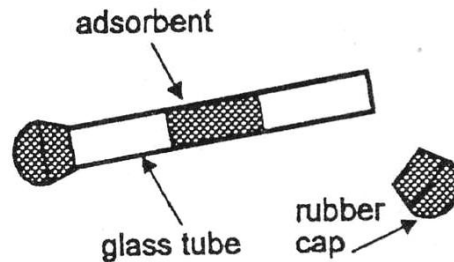


Figura 2 - Exemplo de uma cápsula receptora [14].

O princípio em que se baseia a técnica da emissão homogénea consiste na divisão do volume a medir em várias zonas e na injeção contínua do gás traçador em cada zona com uma taxa proporcional ao volume das mesmas. Então, em condições estacionárias (após a obtenção de uma concentração de equilíbrio), a concentração local é proporcional à idade média local do ar [15].

A idade média do ar num determinado ponto é o tempo que, em média, o ar demorou desde a entrada no compartimento até ao ponto em estudo, estando relacionada com o tempo requerido para trocar o ar velho por ar novo vindo do exterior. Espaços bem ventilados têm idades médias do ar pequenas, enquanto que espaços mal ventilados têm valores mais elevados.

A idade média do ar num determinado ponto [12] é dada pela seguinte expressão:

$$\tau_p = \frac{c_p}{(s/V)} \quad (1)$$

em que:

- τ_p : idade média do ar num determinado ponto [h];
- c_p : concentração local do gás traçador [g/m^3];
- s/V : taxa de emissão homogénea, proporcional ao volume, do gás traçador [$\text{g}/\text{h} \cdot \text{m}^3$].

A concentração do gás traçador [12] num determinado ponto é definida pela expressão (2).

$$c_p = \frac{M_p}{\kappa \cdot t} \quad (2)$$

em que:

- M_p : quantidade de gás traçador recolhida nas cápsulas receptoras [g];
- κ : taxa de recolha [m^3/h];
- t : tempo de ensaio [h].

O ar é usualmente trocado a taxas diferentes consoante os compartimentos do edifício. Sendo assim, apesar de se ter uma emissão proporcional ao volume, a concentração do gás traçador variará entre as diversas zonas, traduzindo as diferentes idades médias do ar, ou seja uma ventilação desigual entre as zonas.

Se a mistura ar-gás traçador é uniforme em cada zona – concentração igual em todos os pontos –, então a concentração local é assumida como seja igual à da zona. Quando os pontos de extracção não são totalmente identificáveis, a idade média do ar de um edifício com n zonas é obtida da seguinte forma [12]:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (3)$$

em que:

- V_i : volume de cada zona do edifício [m^3];
- τ_i : idade média do ar em cada zona do edifício [h].

Por definição, a média das renovações horárias de um edifício (RPH_{global}) ou zona (RPH_{local}) é o inverso da respectiva idade média:

$$RPH = 1/\tau \quad (4)$$

Na Figura 3 apresenta-se o princípio de análise da quantidade de gás (Mp [g]) contida nas cápsulas receptoras. Na primeira fase usa-se um cromatógrafo, este tem por objectivo separar os vários gases da amostra e assim isolar o gás traçador. A segunda fase consiste na quantificação do gás traçador e é realizada por um detector de captura de electrões. Esta quantificação é efectuada pela medição da captura de electrões, proporcional à quantidade de gás, quando este é sujeito a uma corrente eléctrica contínua.

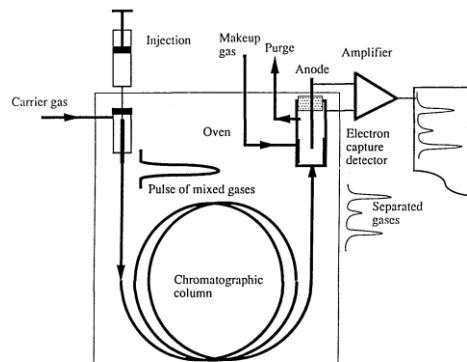


Figura 3 - Princípio da cromatografia gasosa com um detector de captura de electrões [16].

3 RESULTADOS DOS ESTUDOS EXPERIMENTAIS REALIZADOS

3.1 MEDIÇÕES NUM APARTAMENTO TIPO

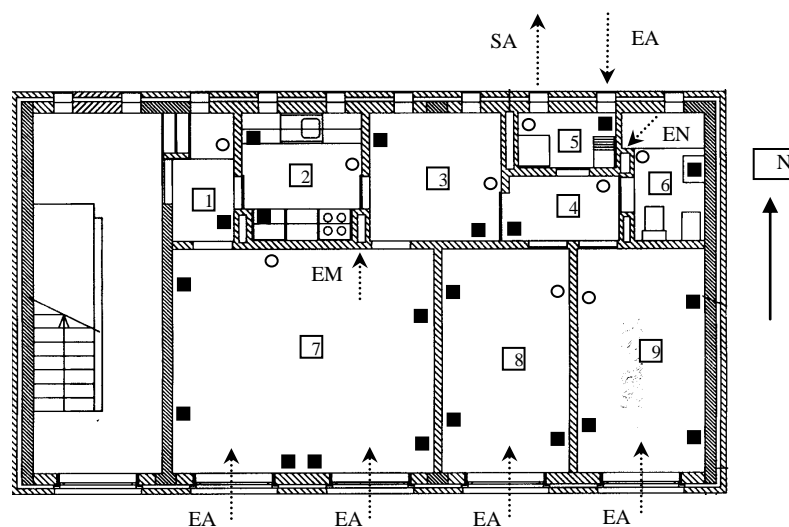
Realizaram-se dois ensaios preliminares recorrendo à técnica PFT com o objectivo de aquilatar a implantação das taxas de ventilação num apartamento do tipo T2 localizado no concelho da Maia (Vila Nova da Telha). O edifício era composto por 4 pisos (garagem + 3 pisos de habitação) com o ensaio a decorrer no 3.º piso.

Os ensaios tiveram uma duração média de 2 semanas cada um e foram realizados em Maio de 2002 e Janeiro de 2003 [17].

As características do sistema de ventilação do edifício eram as seguintes:

- admissão de ar por grelhas auto-reguláveis (1 grelha por quarto e 2 grelhas na sala) de “módulo” 30 - caudal de referência (m^3/h) sob a diferença de pressão de 20 Pa;
- Extracção natural na instalação sanitária ($\phi 125$);
- Extracção mecânica local e descontínua na cozinha;
- Lavandaria autoventilada (admissão/extracção através de grelhas fixas).

Na Figura 4 apresenta-se a planta do apartamento com a localização da instrumentação usada e dos dispositivos de ventilação.



Legenda:

- | | | | |
|----|----------------------------|----|--------------------------|
| ■ | - cápsula emissora; | ○ | - cápsula receptora; |
| EM | - extracção mecânica; | SA | - grelha de saída de ar; |
| EA | - grelha de entrada de ar. | EN | - extracção natural. |

Figura 4 - Planta do apartamento com indicação da posição do equipamento usado.

Sabendo que as grelhas de admissão garantem $120 \text{ m}^3/\text{h}$, e tendo em conta que o volume do apartamento é de 160 m^3 , a taxa *RPH* esperada seria de $0,75 \text{ h}^{-1}$ (em média para todo o apartamento). As baixas taxas obtidas (ver Tabela 1) poderão ser explicadas pela relativa falta de ventilação cruzada, os vãos encontram-se praticamente numa fachada, orientados a Sul, enquanto que os ventos predominantes se situaram entre os rumos NW e E. A falta do efeito de chaminé devido à pequena diferença entre a temperatura interior e exterior e o uso de uma ventilação mecânica descontínua na

cozinha poderão também explicar as baixas taxas obtidas. A abertura de janelas poderá justificar a maior renovação horária medida em Maio.

Tabela 1 - *RPH* no apartamento e respectivas condições climáticas

Compartimento	N.º	<i>RPH_{local}</i> [h ⁻¹] ¹	
		Maio de 2002	Janeiro de 2003
Hall	1	0,42	0,42
Cozinha	2	0,49	0,41
Corredor A (quarto C)	3	0,40	0,35
Corredor B	4	0,37	0,33
Lavandaria	5	0,85	0,68
Instalação sanitária	6	0,37	0,38
Sala	7	0,40	0,35
Quarto A	8	0,46	0,28
Quarto B	9	0,33	0,26
		<i>RPH_{global}</i> [h ⁻¹] ²	
		0,41	0,33
Condições climáticas ³			
Vento – direcção prevalecente		NW-31,2%	E-32,2%
Vento – velocidade média (km/h)		17,5	10,6
Temperatura – média interior (°C)		16,0	12,2
Temperatura – média exterior (°C)		13,8	8,5
Notas:			
1 - Incerteza local média de 8%;			
2 - Incerteza global de 12%;			
3 - As condições climáticas apresentadas foram registadas no aeroporto de Pedras Rubras (2 km do local).			

3.2 MEDIÇÕES NUM GRUPO DE APARTAMENTOS MODIFICADOS

3.2.1 Caracterização do edifício e dos sistemas de ventilação

Tendo em conta as reduzidas taxas de ventilação verificadas na investigação anterior, levou-se a efeito uma campanha experimental que pretende caracterizar as condições de ventilação de apartamentos do tipo T2 com um sistema de ventilação modificado [18]. Seis apartamentos estão equipados com um sistema misto (extracção contínua na cozinha, com dois regimes de ventilação, e extracção natural na instalação sanitária). O sétimo apartamento está equipado com um sistema exclusivamente de ventilação natural, sendo assim possível comparar as performances de ambos os sistemas. Os apartamentos foram seleccionados de modo a representarem diferentes orientações e diferentes alturas em relação ao nível do solo (Figura 5).

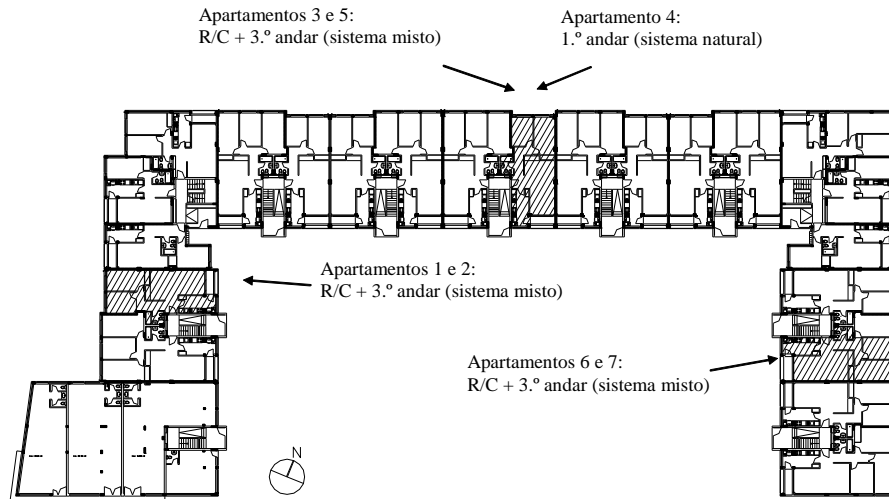


Figura 5 - Edifício multifamiliar contendo os sete apartamentos ensaiados.

Os apartamentos inserem-se num edifício multifamiliar de 4 pisos localizado em Areias – Gondomar e respeitam o programa de habitações a custos controlados (PER).

A Figura 6 mostra o apartamento tipo bem como a localização dos vários dispositivos do sistema de ventilação [18], enquanto a Figura 7 mostra alguns dos dispositivos implementados.

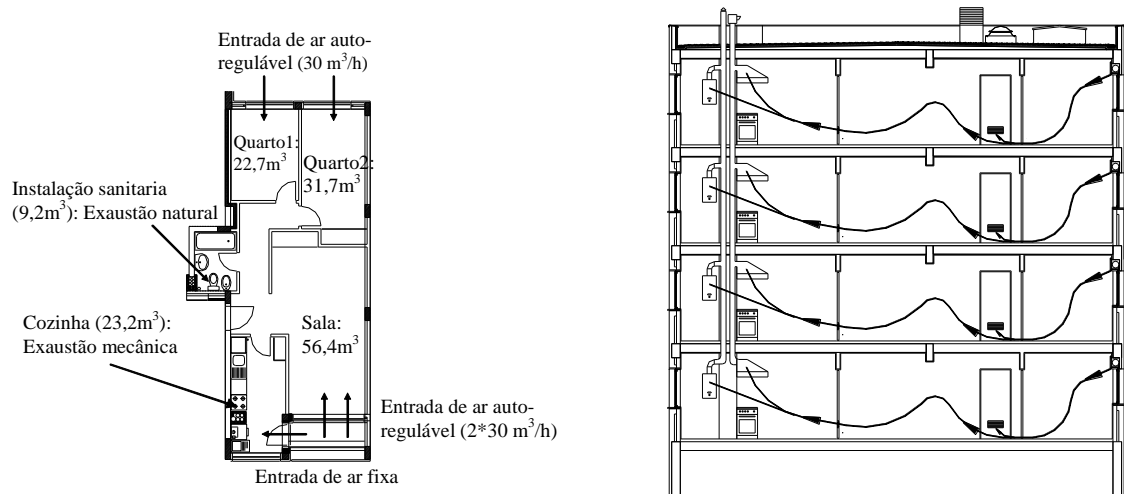


Figura 6 - Dispositivos de ventilação.



a) Ventilador estático na conduta da instalação sanitária



b) Grelha auto-regulável instalada nos quartos e sala



c) Grelha instalada na porta exterior da cozinha



d) Grelha instalada na porta da instalação sanitária e cozinha.

Figura 7 - Dispositivos implementados.

A informação contida na Tabela 2 permite caracterizar os sistemas de ventilação implementados nos diversos apartamentos.

Tabela 2 - Características dos sistemas de ventilação implementados.

Apart. n.º	Orientação	Piso	Sistema de ventilação	Diâm. da conduta da inst. sanitária	Diâm. da conduta do esquentador	Extracção na cozinha ($\Phi 150$) ¹
1	NE/SW	R/C	Misto	$\Phi 110$ + ventilador estático	$\Phi 175$ - colectiva	Mecânica ² : 32,6 – 110,7 m ³ /h
2		3.º	“	$\Phi 110$ + ventilador estático	$\Phi 125$ - individual	Mecânica: 59,6 – 122 m ³ /h
3	SE/NW	R/C	“	$\Phi 110$ + ventilador estático	$\Phi 175$ - colectiva	Mecânica: 68,1 – 105 m ³ /h
4		1.º	Natural	$\Phi 110$	$\Phi 175$ - colectiva	Natural
5		3.º	Misto	$\Phi 110$ + ventilador estático	$\Phi 125$ - individual	Mecânica: 56,7 – 126,3 m ³ /h
6	SW/NE	R/C	“	$\Phi 125$ + ventilador estático	$\Phi 175$ - colectiva	Mecânica: 62,4 – 141,9 m ³ /h
7		3.º	“	$\Phi 125$ + ventilador estático	$\Phi 125$ - individual	Mecânica: 58,2 – 114,9 m ³ /h

Notas:
 1 - O vento induzia alguma turbulência na conduta, sendo assim, os valores da extracção devem ser considerados com alguma incerteza; ventilador mecânico situado na cobertura;
 2 - O ventilador mecânico instalado neste apartamento não funcionou nas melhores condições.

A ventilação da cozinha, na presença de extracção mecânica, era realizada com dois níveis com a seguinte programação: 12h-14h e 18h30-21h30 com $\approx 120\text{m}^3/\text{h}$ e no tempo restante $\approx 60\text{m}^3/\text{h}$.

É de realçar que a conduta da instalação sanitária, à excepção do apartamento 4, era isolada com espuma de poliuretano ($\approx 3\text{cm}$) e a grelha de extracção era de reduzida perda de carga ($\Delta P_{\text{total-45m}^3/\text{h}} = 2\text{Pa}$).

3.2.2 Caracterização experimental dos dispositivos utilizados

Foram realizados ensaios com vista a determinar a permeabilidade dos componentes do sistema de ventilação dos apartamentos. A permeabilidade das janelas foi obtida em laboratório de acordo com

a norma EN 1026: 2000. As janelas colocadas nos quartos e cozinhas eram semelhantes e os resultados dos ensaios são apresentados na Figura 8. De acordo com a norma EN 12207: 1999, a permeabilidade da janela conduz à classe 2. A performance aerodinâmica da grelha auto-regulável é apresentada na Figura 9.

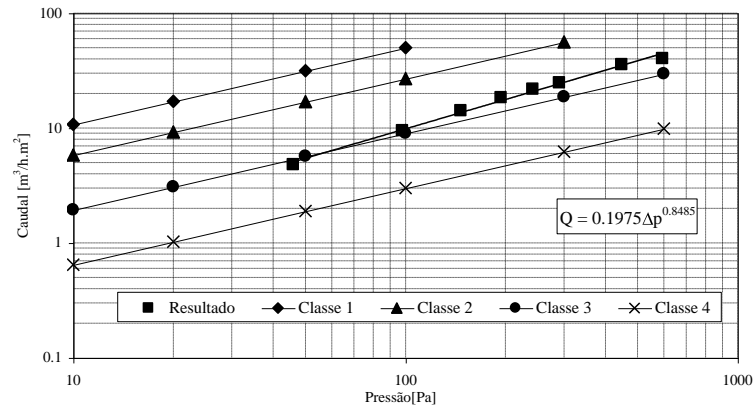


Figura 8 - Permeabilidade da janela dos quartos e cozinha.

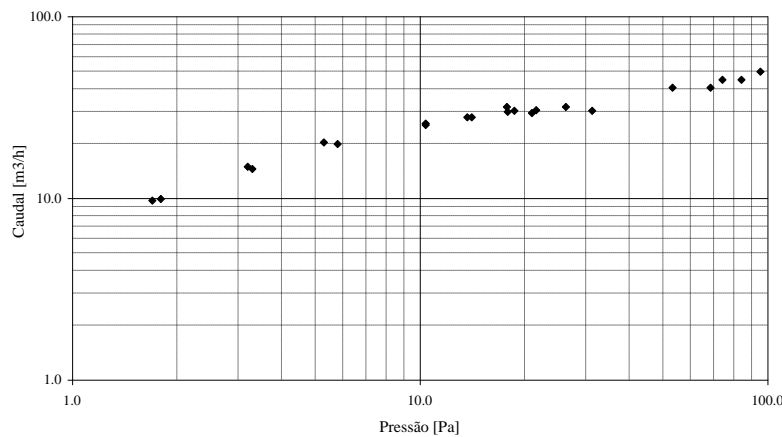


Figura 9 - Performance aerodinâmica da grelha auto-regulável [18].

3.2.3 Medições *in situ* - 1.ª campanha experimental

A estratégia definida para esta 1.ª campanha teve por objectivo determinar as condições ambientais, tanto interiores como exteriores, as condições de conforto, as renovações horárias com os apartamentos desabitados, locais e globais, e determinar a influência das condições climáticas no caudal escoado da conduta de uma instalação sanitária.

Os ensaios *in situ* decorreram entre os dias 2 e 9 de Agosto de 2005 com os apartamentos desocupados e os parâmetros medidos foram os seguintes [18]:

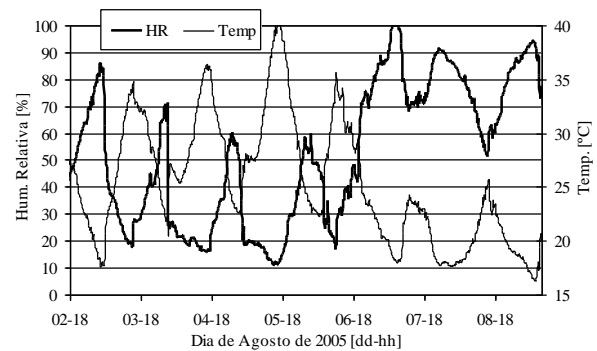
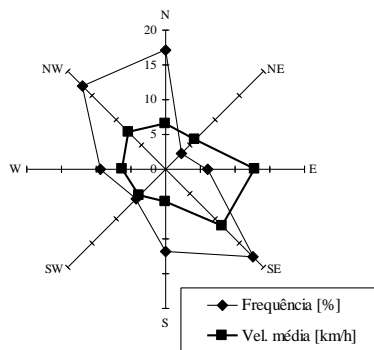
- Condições climáticas exteriores (direcção e velocidade do vento, temperatura e humidade relativa) obtidas na cobertura do edifício;
- Temperatura e humidade relativa em cada apartamento;
- Renovação horária média de cada compartimento em todos os apartamentos, bem como a renovação horária média dos apartamentos;

- Permeabilidade ao ar global dos apartamentos (RPH_{50});
- Temperatura do ar, das superfícies e humidade relativa em cada compartimento do apartamento 5;
- Caudal e temperatura na conduta de uma instalação sanitária;
- Condições de conforto térmico em vários apartamentos, determinação dos índices PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*).

A permeabilidade global dos apartamentos para uma diferença de pressão de 50 Pa (RPH_{50}) é de aproximadamente $5,6 \text{ h}^{-1}$, situando-se na média da gama de permeabilidades registadas em Portugal [19].

3.2.3.1 Condições ambientais

Apresentam-se na Figura 10 as condições climáticas exteriores entre os dias 2 e 9 de Agosto.



a) Frequência da direcção e velocidade média do vento por octante.

b) Humidade relativa e temperatura.

Figura 10 - Condições climáticas exteriores.

Na Figura 11 apresentam-se os resultados correspondentes à média das condições climáticas no interior (temperatura e humidade relativa).

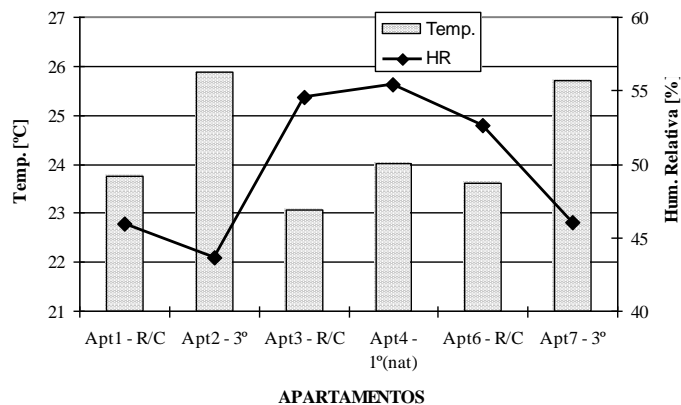


Figura 11 - Média da temperatura e humidade relativa nos apartamentos.

Na Figura 12 apresentam-se os resultados correspondentes à evolução da temperatura em cada apartamento.

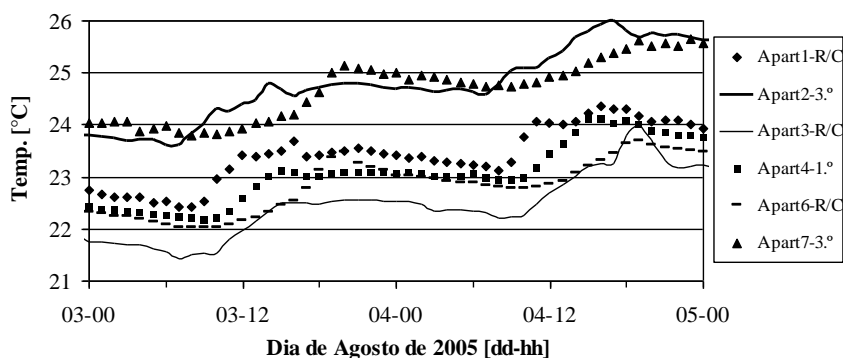


Figura 12 - Evolução da temperatura em cada apartamento entre os dias 3 e 5 de Agosto.

As condições atmosféricas exteriores caracterizaram-se por velocidades do vento reduzidas (1,3 m/s a 3,5 m/s), rumos aproximadamente perpendiculares aos apartamentos 3 a 5, ou seja nos octantes NW (predominantemente nos períodos da tarde e noite) e SE (predominantemente no período da manhã) e temperaturas elevadas (Figura 10).

Relativamente às condições higrotérmicas interiores, a análise da Figura 11 indica-nos que, como era expectável, os apartamentos com temperaturas médias extremas são aqueles que estão situados sob a cobertura com uma diferença média de 3°C. Não foi possível obter valores respeitantes ao apartamento 5. Relativamente à humidade relativa detecta-se um ligeiro decréscimo nos apartamentos 1, 2 e 7, os mais expostos à radiação solar durante a tarde.

As temperaturas dos compartimentos do apartamento 5, durante o 3.º dia de Agosto, são apresentadas na Figura 13 onde se observa que as temperaturas extremas ocorrem nos compartimentos com a maior e menor exposição à radiação solar (cozinha e instalação sanitária).

Na Figura 14 são apresentadas as temperaturas superficiais no quarto 1 do apartamento 5 (orientado a NW) onde se observa que, à semelhança do ocorrido nos compartimentos, as temperaturas extremas ocorrem nas superfícies com maior e menor exposição à radiação solar (tecto e pavimento).

Pode-se concluir que as temperaturas ambientes e superficiais seguem a temperatura exterior e podem originar situações de desconforto.

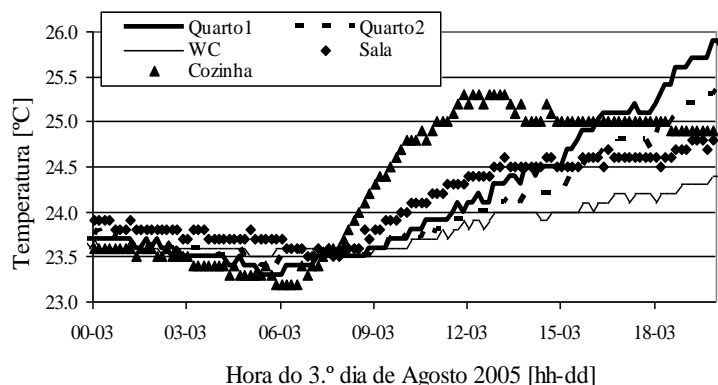


Figura 13 - Temperaturas no apartamento 5 no dia 3 de Agosto. Temperaturas dos compartimentos.

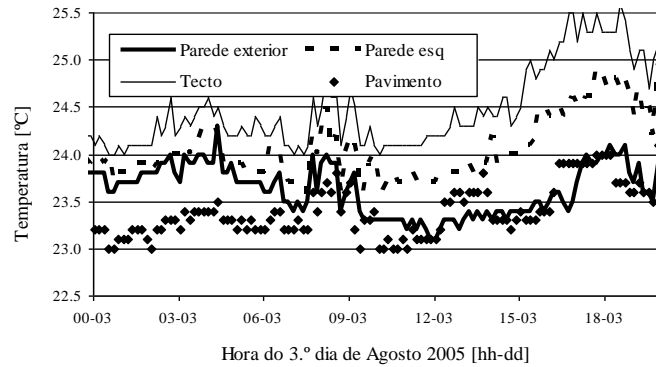


Figura 14 - Temperaturas no apartamento 5 no dia 3 de Agosto. Temperaturas superficiais do quarto 1.

Adicionalmente aos parâmetros anteriores, também se mediram as seguintes variáveis ambientais no quarto 1 e sala dos apartamentos 2, 3 e 5, nos dias 10 e 11 de Agosto:

- Temperatura do ar (T_a);
- Temperatura média radiante (T_{MR}) ou temperatura operativa (T_{op});
- Humidade relativa (HR);
- Velocidade do ar (v).

De modo a garantir as mesmas condições de ensaio, as protecções solares exteriores constituídas por estores enroláveis de PVC foram mantidas na mesma posição (2/3 do vão obstruído). Os ensaios recorreram a dois analisadores da marca Brüel & Kjær, referência 1213. Os parâmetros foram medidos continuamente, mais especificamente no meio dos compartimentos a uma altura de 0,6 m acima do pavimento (nível do abdómen, para pessoas sentadas), de acordo a norma EN ISO 7726: 2001. Em cada ensaio o período de medição teve uma duração de 1 h.

As medições foram processadas de modo a obterem-se os índices de conforto térmico devidos a Fanger, PMV e PPD , de acordo com as normas EN ISO 7730: 2005 e ANSI/ASHRAE 55: 2004. Na avaliação destes índices, a taxa metabólica foi fixada em $1,0 \text{ met}^3$ (pessoas sentadas e relaxadas) e o nível de vestuário em $0,65 \text{ clo}^4$ (incluindo a contribuição de uma cadeira: $0,15 \text{ clo}$).

Quatro séries de ensaios foram levadas a efeito simultaneamente no quarto 1 e sala nos três apartamentos referidos. Os resultados dos índices térmicos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de conforto térmico.

Ensaio	Apartamento	Compartimento	T_{op} [°C]	PMV	PPD [%]	Temp. média exterior [°C]
1 ¹	3	Sala	23,7	- 0,4	8	19,6
2 ¹	5		24,9	0,0	5	
3 ¹	3	Quarto 1	23,3	- 0,5	10	18,6
4 ¹	5		24,7	- 0,1	5	
5 ²	2	Quarto 1	24,6	- 0,1	5	21,2
6 ²	5		24,1	- 0,3	7	
7 ²	2	Sala	25,3	+ 0,1	5	27,1
8 ²	5		25,0	0,0	5	

³ A unidade utilizada para a taxa de metabolismo é designada por met , correspondendo 1 met (situação de repouso, acordado) a uma produção de calor por unidade de superfície do corpo humano igual a 58 W/m^2 .

⁴ A resistência térmica convencional do vestuário expressa-se numa unidade denominada de clo , sendo 1 clo (vestuário típico para Inverno) equivalente a $0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$.

Notas:

- 1 - Ensaios efectuadas no período da tarde do dia 10;
- 2 - Ensaios efectuadas no período da manhã do dia 11.

De acordo com as normas referidas, os índices PMV e PPD e a temperatura (T_{op}) apresentados na Tabela 3 satisfazem os requisitos térmicos para ambientes especificados na categoria B (nível moderado de aceitabilidade: $0,5 < PMV < 0,5$ e $PPD < 10\%$).

Se considerarmos o método opcional de determinação das condições de conforto térmico aplicável a edifícios ventilados naturalmente, apresentado na norma ANSI/ASHRAE 55: 2004, os resultados obtidos são perfeitamente aceitáveis.

É de realçar que se os apartamentos estivessem habitados certamente que as condições ambientais seriam diferentes. Claro que as condições térmicas interiores são fortemente dependentes das condições externas. Assim, se estas medições tivessem sido realizadas, por exemplo, no dia 5 de Agosto ($T_{média} = 31,0^{\circ}\text{C}$; $T_{mínima} = 22,6^{\circ}\text{C}$; $T_{máxima} = 40,6^{\circ}\text{C}$) os resultados seriam menos aceitáveis (ver Figura 10).

A comparação dos resultados entre os apartamentos 3 e 5 (ensaios 1 a 4), respectivamente situados no R/C e 3.º andar, demonstra que o apartamento 5 situado sob a cobertura em terraço é ligeiramente mais quente. O facto da temperatura exterior ser inferior à temperatura interior poderá ser explicado pela libertação de calor armazenado na massa da “envolvente interior” (inércia térmica).

Relativamente à performance relativa entre os apartamentos 2 e 5, situados ambos no 3.º andar mas com orientações diferentes, observa-se que o apartamento que recebeu maior radiação solar durante o período de ensaio (apartamento 2), obviamente, atinge valores mais altos da temperatura operativa.

3.2.3.2 Resultados relativos aos caudais obtidos

Na Figura 15 e Figura 16 apresentam-se as condições atmosféricas entre os dias 2 e 3 de Agosto (temperatura, velocidade e direcção do vento) bem como a temperatura e o caudal registados na instalação sanitária e conduta do apartamento 3.

Pela observação da Figura 15, pode-se concluir que o incremento do caudal na conduta da instalação sanitária do apartamento 3 é directamente relacionado com o rumo do vento quando este é aproximadamente perpendicular à fachada principal, isto é, no octante SE (≈ 6 -12h). Fora deste período poderá haver inversão do fluxo, como se pode observar na Figura 16, particularmente pelos picos de temperatura no interior da conduta entre as 12 e as 15h.

De acordo com a norma portuguesa para ventilação natural [4], o caudal médio a extrair nas instalações sanitárias terá que ser de $45\text{m}^3/\text{h}$, o que só é ocasionalmente atingido (Figura 15).

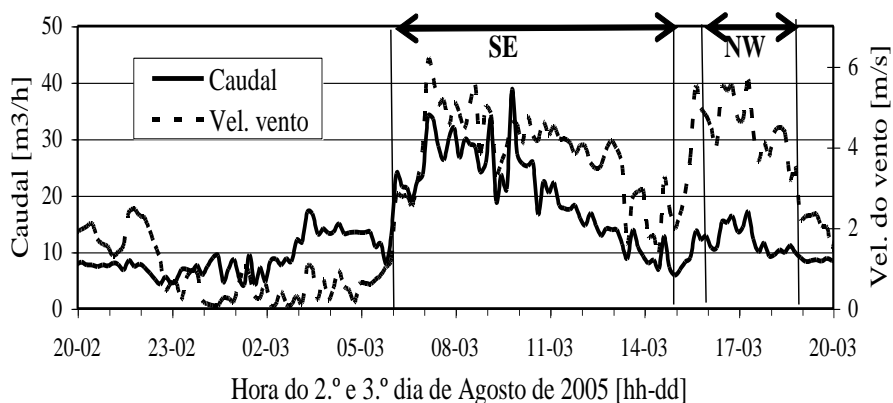


Figura 15 - Condições interiores e exteriores na instalação sanitária do apartamento 3 durante os dias 2 e 3 de Agosto. Velocidade e direcção do vento e caudal.

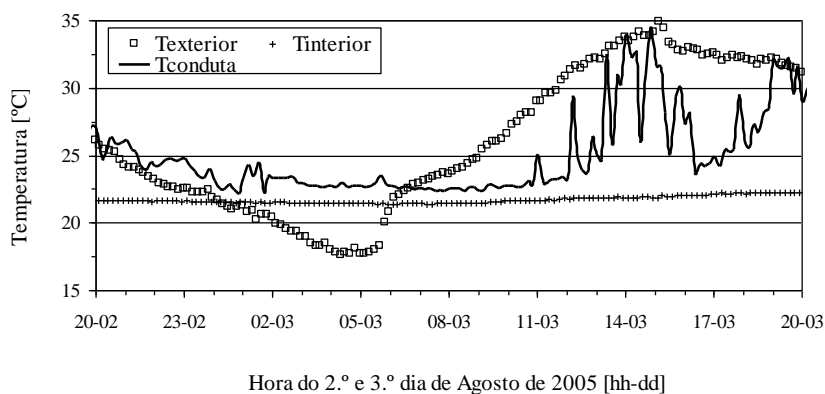


Figura 16 - Condições interiores e exteriores na instalação sanitária do apartamento 3 durante os dias 2 e 3 de Agosto. Temperatura interior, na conduta e no exterior.

Apresentam-se nas figuras seguintes as médias das renovações horárias da instalação sanitária, da cozinha e dos apartamentos obtidos com a técnica PFT, com um período de medição de uma semana.

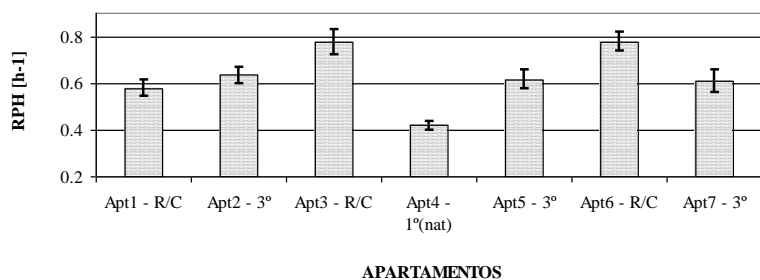


Figura 17 - Renovações horárias. Instalações sanitárias.

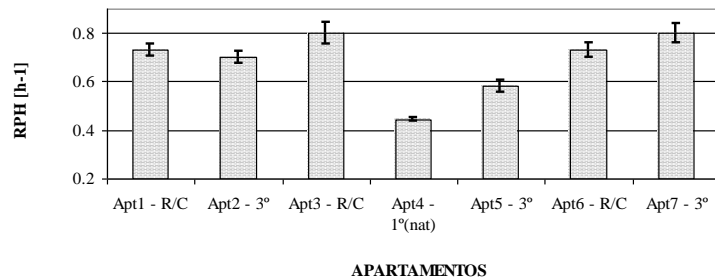


Figura 18 - Renovações horárias. Cozinhas.

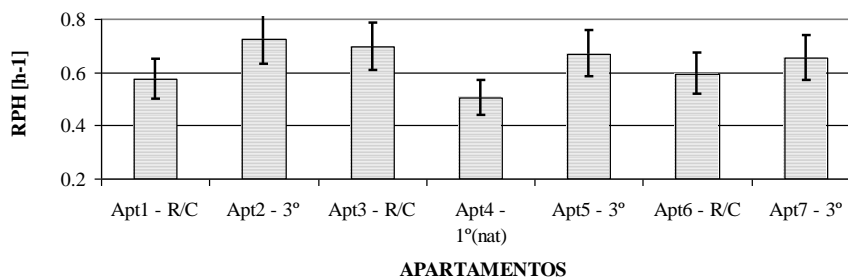


Figura 19 - Renovações horárias. Globais.

Pode-se concluir que o apartamento 4 que recorre exclusivamente à ventilação natural e que não possui ventilador estático nem grelha de performance melhorada na instalação sanitária apresenta um desempenho inferior no que diz respeito às renovações horárias, locais ou globais.

3.2.4 Conclusões relativas à 1.ª campanha experimental

Da 1.ª campanha experimental, podemos retirar as seguintes conclusões [18]:

- O ventilador estático e a utilização de grelhas com baixa perda de carga na exaustão ($\Delta P_{\text{total-45m}^3/\text{h}} = 2 \text{ Pa}$) são preponderantes para se obterem acréscimos significativos nas renovações horárias na instalação sanitária relativamente ao apartamento 4 que não recorre a estes dispositivos (Figura 17);
- O uso de condutas de $\Phi 125$ de diâmetro nas instalações sanitárias nos apartamentos 6 e 7 não incrementou os caudais extraídos, relativamente à conduta de $\Phi 110$;
- Apesar da extracção mecânica recorrer a caudais reduzidos na cozinha ($\approx 60 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 19h do dia) os caudais extraídos nesta, por via da ventilação natural (apart. 4), ainda são inferiores;
- A acção do vento faz-se sentir essencialmente nos apartamentos sob a cobertura;
- Os casos de baixa renovação horária surgem essencialmente no piso do R/C e no caso do apartamento com sistema de ventilação exclusivamente natural (apart. 4);
- A renovação horária global dos apartamentos com um sistema misto de ventilação regista valores razoáveis, com uma variação entre 0,57 a 0,72 RPH. Estas taxas variam ligeiramente com a localização em termos de altura e orientação dos apartamentos, registando o apartamento ventilado naturalmente (apart. 4) um valor de $0,51 \text{ h}^{-1}$;
- As condições de conforto interiores são fortemente dependentes das condições climáticas exteriores, com maior preponderância nos apartamentos sob a cobertura.

3.2.5 Medições in situ - 2.^a campanha experimental

A estratégia definida para esta 2.^a campanha teve por objectivo determinar as condições ambientais, tanto interiores como exteriores, as renovações horárias com os apartamentos desabitados em condições climáticas exteriores diferentes, e determinar especificamente a influência da grelha de exaustão e do ventilador estático no caudal escoado da conduta de uma instalação sanitária.

Numa primeira fase realizaram-se estudos de sensibilidade com o objectivo de avaliar a performance do ventilador estático e da grelha com baixa perda de carga. Neste sentido, usou-se uma conduta paralela na instalação sanitária do apartamento 3 de diâmetro igual, contudo, esta era desprovida do isolamento térmico e do ventilador estático e recorria a uma vulgar grelha de extracção. Os ensaios foram realizados em Dezembro de 2005 e os parâmetros obtidos com o apartamento vazio foram os seguintes [18]:

- Condições climáticas exteriores (direcção e velocidade do vento, temperatura e humidade relativa) obtidas na cobertura do edifício;
- Velocidade do ar em simultâneo nas condutas da instalação sanitária do apartamento 3 durante aproximadamente 1 dia.

Os resultados obtidos encontram-se na Figura 22 onde se observam os caudais simultâneos e a velocidade e direcção do vento.

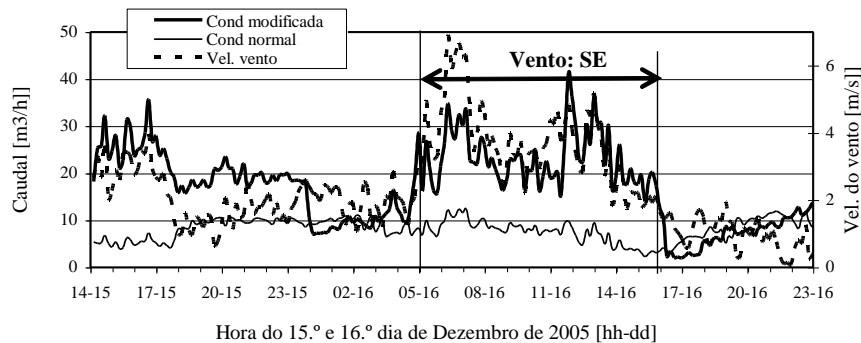


Figura 20 - Caudal nas condutas do apartamento. Situação corrente.

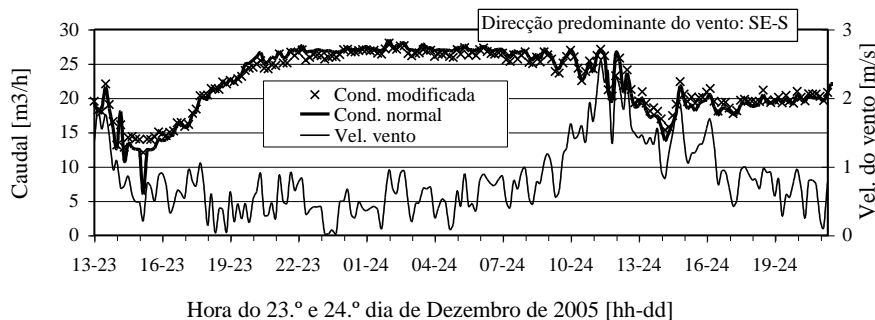


Figura 21 - Caudal nas condutas do apartamento. Sem grelhas e com ventilador estático.

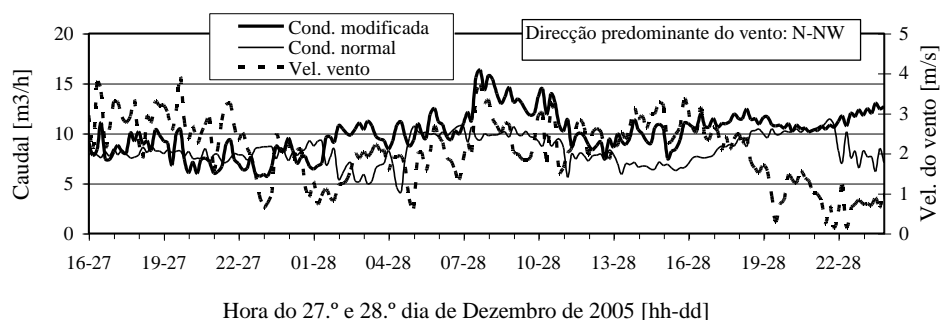


Figura 22 - Caudal nas condutas do apartamento 3. Com grelhas e sem ventilador estático.

Comparando a Figura 20 e a Figura 21 pode-se concluir que a perda de carga da grelha pode ser um obstáculo fundamental aos caudais extraídos. Comparando também a Figura 20 e a Figura 22, observa-se que o ventilador estático pode auxiliar significativamente os caudais extraídos, especialmente quando a velocidade do vento é superior a 4 m/s.

Durante os meses de Janeiro e Fevereiro de 2006 levou-se a efeito a 2.ª campanha experimental dos ensaios PFT, igualmente com os apartamentos desocupados. Nesta 2.ª campanha realizaram-se duas medições de uma semana cada: entre 12 e 19 de Janeiro e entre 26 de Janeiro a de 2 de Fevereiro. Mediram-se igualmente as condições climáticas exteriores e interiores (Tabela 4) [20].

Na 1.ª semana de medições colocaram-se radiadores no apartamento 2 (2400 W) e na 2.ª semana no apartamento 4. Nesta última semana usaram-se as condutas paralelas da instalação sanitária de diâmetro igual, contudo, estas eram desprovidas do isolamento e do ventilador estático e recorreu-se a uma vulgar grelha de extracção.

Neste período de Inverno, o regime de ventilação na cozinha tinha igualmente dois regimes (12h-14h e 18h30-21h30 com $\approx 110 \text{ m}^3/\text{h}$ e no tempo restante $\approx 90 \text{ m}^3/\text{h}$) com um caudal médio de $\approx 95 \text{ m}^3/\text{h}$, em contraste com o caudal médio de $70 \text{ m}^3/\text{h}$ do período de Verão.

Em relação às condições interiores, observa-se na Tabela 4 que os apartamentos têm temperaturas muito baixas. Pode observar-se um ligeiro acréscimo no apartamento 2 (1.ª semana) e no apartamento 4 (2.ª semana) devido à presença dos radiadores.

As condições climáticas exteriores revelam baixas velocidades do vento (velocidade do vento por octante entre 1,0 m/s e 3,2 m/s), predominantemente nos mesmos rumos que os registados na 1.ª campanha (N, S e SE).

Tabela 4 - Condições climáticas durante as duas campanhas.

	2/8 a 9/8 ¹ de 2005	12/1 a 19/1 ¹ de 2006	26/1 a 2/2 ² de 2006
Apart. n.º	Temp. média interior [°C]		
1	23,8	12,5	10,0
2	25,9	15,5 ³	9,1
3	23,1	11,6	13,4
4	24,0	11,2	16,8 ³
5	-	10,5	10,5
6	23,6	10,9	10,2
7	25,7	9,7	9,2
Condições climáticas			
Temperatura média interior [°C]	24,4	11,1 ⁴	10,4 ⁴
Temperatura média exterior [°C]	25,4	8,8	6,0
Velocidade média do vento [m/s]	1,9	1,4	1,7
Direcção prevalecte do vento	N+NW=34%	S+SE=51%	N+SE=36%

SE=18%
<p>Notas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 - Ensaio com conduta da instalação sanitária com isolamento (≈ 3 cm), grelha com baixa perda de carga e ventilador estático, à excepção do apartamento 4; 2 - Ensaio com conduta da instalação sanitária não isolada, grelha standard e sem ventilador estático; 3 - Apartamento aquecido com radiadores; 4 - Valor obtido sem o apartamento aquecido.

Apresentam-se nas figuras seguintes os resultados dos ensaios PFT obtidos nas 2 semanas do período de Inverno.

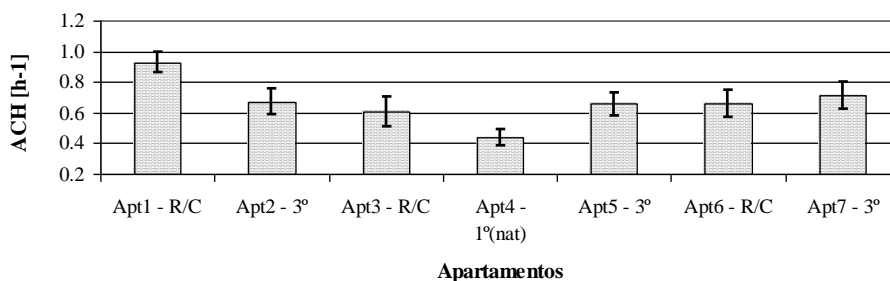


Figura 23 - Renovações horárias durante a semana de 12 a 19 de Janeiro. Instalações sanitárias.

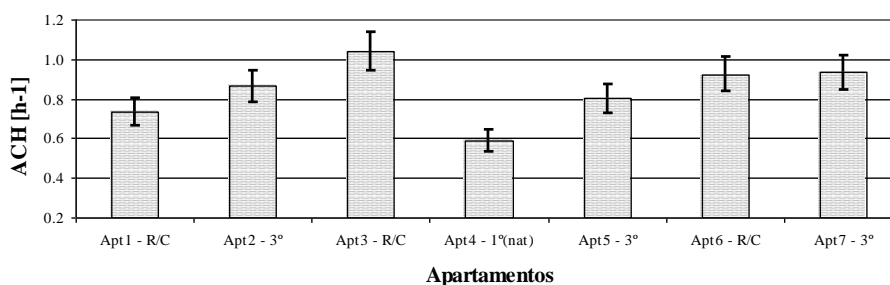


Figura 24 - Renovações horárias durante a semana de 12 a 19 de Janeiro. Cozinhas.

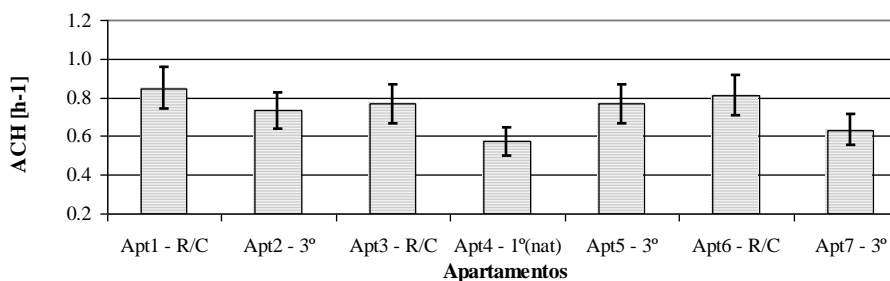


Figura 25 - Renovações horárias durante a semana de 12 a 19 de Janeiro. Globais.

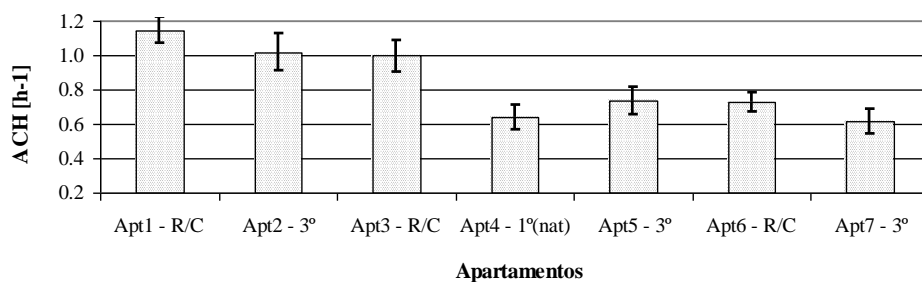


Figura 26 - Renovações horárias durante a semana de 26 de Janeiro a 2 de Fevereiro. Instalações sanitárias.

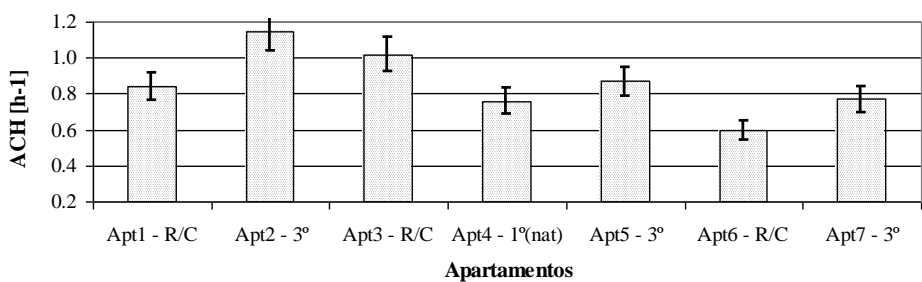


Figura 27 - Renovações horárias durante a semana de 26 de Janeiro a 2 de Fevereiro. Cozinhas.

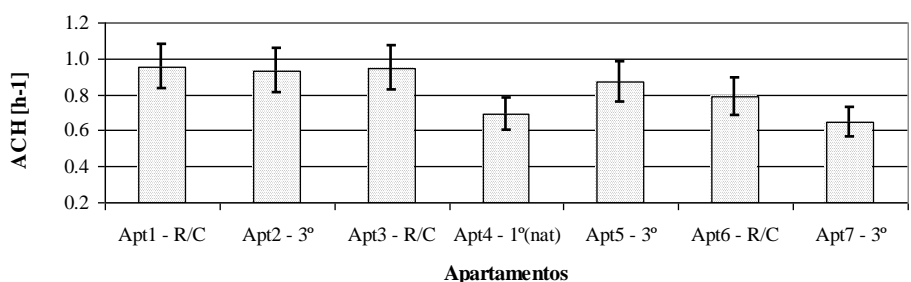


Figura 28 - Renovações horárias durante a semana de 26 de Janeiro a 2 de Fevereiro. Globais.

3.2.6 Conclusões relativas à 2.ª campanha experimental

As principais conclusões a retirar são:

- O ventilador estático e a utilização de grelhas com baixa perda de carga na exaustão ($\Delta P_{\text{total-45m3/h}} = 2 \text{ Pa}$) são preponderantes para se obterem acréscimos significativos nas renovações horárias na instalação sanitária relativamente ao apartamento 4 que não recorre a estes dispositivos;
- A velocidade do vento é importante para se conseguir alcançar maiores renovações horárias, especialmente na instalação sanitária. Podemos retirar esta conclusão comparando as taxas de renovação entre a 1.ª e a 2.ª semana da campanha de Inverno (para um aumento da velocidade média do vento de 21% as renovações horárias globais aumentaram 14%);
- O aumento da temperatura interna e da velocidade do vento na 2.ª semana foram fundamentais para o incremento da renovação horária no apartamento 4 com ventilação natural ($\approx 21\%$);

- O incremento de 36% nos caudais médios extraídos na cozinha entre a 1.^a campanha e a 2.^a campanha resultou no aumento de 25% das renovações horárias globais;
- A taxa média de renovação horária nos apartamentos com ventilação mista pode considerar-se razoável (0,65 no Verão e 0,81 no Inverno). Estas taxas variam ligeiramente com a localização em termos de altura e orientação dos apartamentos, no entanto são sempre maiores que a taxa de renovação do apartamento 4 ventilado naturalmente (0,51 no Verão e 0,63 no Inverno).

3.2.7 Outros resultados

Para além dos resultados apresentados, obtiveram-se outros, nomeadamente:

- Performance aerodinâmica da grelha fixa da instalação sanitária e da porta exterior da cozinha;
- Perda de carga e coeficiente de depressão do ventilador estático;
- Coeficientes de pressão na envolvente exterior do edifício;
- Permeabilidade *in situ* de portas, interiores e exteriores, grelhas auto-reguláveis e caixas de estore;
- Influência da grelha fixa instalada na porta da cozinha e instalação sanitária;
- Influência do isolamento térmico da conduta da instalação sanitária nos caudais extraídos;
- Ensaios PFT com os apartamentos habitados (Janeiro de 2007).

4 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

As conclusões obtidas podem resumir-se da seguinte forma:

- 1- A renovação horária média dos apartamentos (0,6 a 0,8 *RPH*) obtida com os caudais propostos e com o sistema de ventilação misto pode considerar-se razoável, esta varia ligeiramente com a localização em altura e orientação dos apartamentos;
- 2- A ventilação geral e permanente, com extracção contínua na cozinha, ($\approx 60-90 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 19h do dia) foi fundamental para se atingirem as renovações horárias pretendidas;
- 3- Os resultados obtidos demonstraram a vantagem da introdução do ventilador estático e da utilização de uma grelha com baixa perda de carga na conduta da instalação sanitária;
- 4- A instalação de uma grelha fixa na cozinha poderá ter obviado a inversões de fluxo na instalação sanitária.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto POC-TI/ECM 45555/2002, a colaboração da AICCOPN na distribuição do inquérito realizado e do INH, das Câmaras Municipais da Maia e Gondomar na disponibilização dos apartamentos ensaiados.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Piedade, A.; Rodrigues, A., Deficiências de ventilação na origem de manifestação de humidades em edifícios: Um caso de estudo, Congresso Nacional da Construção, Lisboa, 2001.
- [2] Freitas, V., Building condensation. How to solve the problem in Portugal, 30.º Congresso IAHS, Coimbra, 2002.
- [3] Viegas, J., Ventilação natural de edifícios de habitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 1995.
- [4] IPQ, Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, NP 1037-1, Instituto Português da Qualidade, 2002.
- [5] Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), 4 de Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.
- [6] Viegas, J. *et al*, Ventilation of dwellings: requirements and experiments, 30.º Congresso IAHS, Coimbra, 2002.
- [7] Viegas, J. *et al*, Assessment of the performance of natural ventilation in an apartment building, 8.ª Conferência Roomvent, Copenhaga, Dinamarca, 2002.
- [8] Viegas, J. *et al*, Natural ventilation of an apartment: a case study, 9.ª Conferência Roomvent. Coimbra, 2004.
- [9] Ferreira, M. *et al*, Natural ventilation of residential buildings in Portuguese winter climatic conditions, 25.ª Conferência AIVC, Praga, República Checa, 2004.
- [10] Sherman, M., Analysis of errors associated with passive ventilation measurement techniques, Building and Environment, Vol. 24, p. 131-139, 1989.
- [11] Dietz, R.; Cote, E., Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique, Environment International, Vol. 8, p. 419-433, 1982.
- [12] NORDTEST, Ventilation. Local mean age of air. Homogeneous emission techniques, NT VVS 118, Organization for Testing in the Nordic Countries, Espoo, Finland, 1997.
- [13] Stymne H., Monitoring of ventilation rate and air distribution patterns in an apartment block using the homogeneous emission technique, Joint Research Centre, Ispra, Italy, Final report contract n.º 5607-93-11 EI ISP S, 1994.
- [14] NORDTEST, Ventilation. Flow rate, total effective – by single zone approximation, NT VVS 105, Organization for Testing in the Nordic Countries, Espoo, Finland, 1994.
- [15] Stymne, H.; Boman, C., Measurement of ventilation and air distribution using the homogeneous emission technique. A validation, 4.ª Conferência Healthy Buildings, Budapeste, Hungria, 1994.
- [16] Roulet, C.; Vandaele, L., Air flow patterns within buildings. Measurement techniques, Technical Note 34, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 1991.
- [17] Pinto, M. *et al*, Air change rates in multi-family residential buildings in northern Portugal, 7.ª Conferência Healthy Buildings, Singapura, 2003.
- [18] Pinto, M. *et al*, Residential Hybrid Ventilation Systems in Portugal: Experimental Characterization, 8.ª Conferência Healthy Buildings, Lisboa, 2006.
- [19] Pinto, A., Criteria to define limits for building airtightness. Airtightness of some portuguese dwellings, 26.ª Conferência AIVC, Bruxelas, Bélgica, 2005.

[20] Pinto; M. *et al*, Measurements of Air Change Rates using the PFT Technique in Residential Buildings in Northern Portugal, 27.^a Conferência AIVC, Lyon, França, 2006.