

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO MISTO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF A MIXED VENTILATION SYSTEM IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Manuel Pinto^(a)

Vasco Peixoto de Freitas^(b)

Resumo

Devido à variação de factores naturais, nomeadamente a direcção e a velocidade do vento e a flutuação da temperatura, os sistemas de ventilação natural nem sempre permitem assegurar as taxas de renovação horária ideais. Para isso consideramos fundamental caracterizar o funcionamento de um sistema de ventilação misto (entradas de ar auto-reguláveis nos quartos e salas, extracção natural nas instalações sanitárias e exaustão mecânica na cozinha) que poderá contribuir para uma estratégia de ventilação de grande interesse.

O estudo pretende avaliar qual a melhor constituição de um sistema misto de ventilação e definir regras construtivas a implementar de modo a permitirem alcançar as renovações horárias preconizadas na normalização e regulamentação portuguesa.

Abstract

Due to the variation of natural factors, such as wind speed and the stack effect, natural ventilation systems cannot always guarantee ideal hourly renovation rates. We therefore intend to characterize a mixed ventilation system (self-regulating air intakes in rooms and bedrooms, natural extraction in bathrooms and mechanical extraction in the kitchen) which may constitute an interesting ventilation strategy.

The aim of the study is to assess the best mixed ventilation system and to define construction rules which should be implemented so as to achieve the hourly renovation rates recommended by Portuguese regulations and standardizations.

^(a) Engenheiro Civil
Prof. Adjunto da ESTG de Viseu,
mpinto@estv.ipv.pt
^(b) Engenheiro Civil
Prof. Catedrático da FEUP,
vpfreita@fe.up.pt

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], [2].

Refira-se que as recomendações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil [1 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), enquanto que a recente regulamentação portuguesa na área da térmica de edifícios [5] exige que nos cálculos das perdas térmicas se considere uma renovação horária mínima de $0,6 \text{ h}^{-1}$.

Admite-se que grande parte dos edifícios de habitação recentemente construídos não cumpra as taxas de renovação apresentadas, apesar de ser absolutamente necessário implementar sistemas de ventilação geral e permanente com admissão contínua de ar através dos compartimentos principais e extracção 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.

Seguidamente apresenta-se em pormenor a técnica utilizada neste trabalho, uma vez que foi usada pela primeira vez em Portugal e se pensa que é de grande utilidade para estudos congéneres.

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

européias 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 mostra a emissão relativa em função do comprimento da penetração do fio.

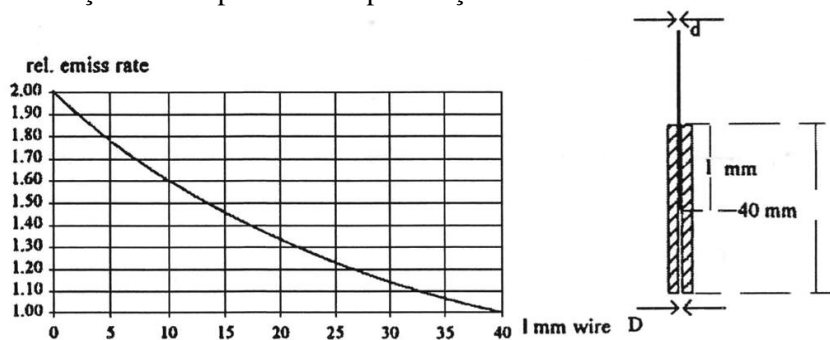


Figura 1
Ajustamento da emissão relativa numa cápsula emissora [13]

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.

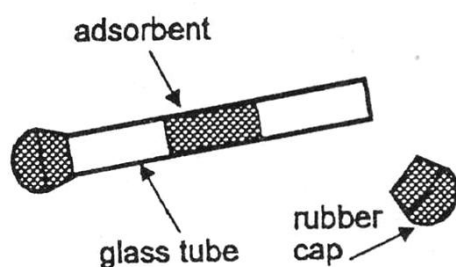


Figura 2
Exemplo de uma cápsula receptora [14]

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. Assim, 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(1):

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

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 sendo igual à da zona. Quando a extracção ocorre pelos dispositivos pré-instalados e pela permeabilidade da envolvente (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 da análise da quantidade de gás (M_p [g]) contida nas cápsulas receptoras. Numa primeira fase usa-se um cromatógrafo, que tem por objectivo separar os vários gases da amostra e assim isolar o gás traçador. Numa segunda fase, quantifica-se o gás traçador, utilizando 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.

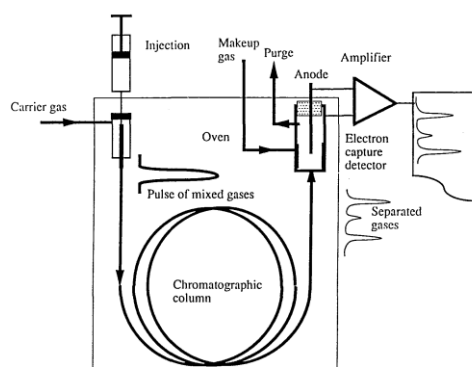


Figura 3
Princípio da cromatografia gasosa com um detector de captura de electrões [16]

3 RESULTADOS DOS ESTUDOS EXPERIMENTAIS REALIZADOS

3.1 ESTRATÉGIA

O objectivo fundamental desta investigação foi o de caracterizar um sistema misto de ventilação, avaliando as suas potencialidades e fraquezas. Para concretizar este objectivo, foi necessário:

- Seleccionar apartamentos de modo a representarem diferentes orientações e diferentes alturas em relação ao nível do solo de modo a avaliar a influência destas variáveis.
- Comparar o desempenho de um sistema misto com o desempenho do sistema de referência inicialmente previsto (exclusivamente por ventilação natural).
- Determinar as renovações horárias com os apartamentos desabitados e habitados, em diferentes condições climáticas.

Delineados os objectivos, decidiu-se realizar a campanha experimental

in situ em 3 fases:

- 1.^a campanha experimental: Julho e Agosto de 2005 (apartamentos desabitados).
- 2.^a campanha experimental: Dezembro de 2005 a Março de 2006 (apartamentos desabitados).
- 3.^a campanha experimental: Janeiro de 2007 (apartamentos habitados).

Tendo em atenção a estratégia definida, a campanha experimental teve como primeiro objectivo caracterizar os dispositivos instalados, tanto em laboratório, como *in situ*, fazendo a respectiva análise comparativa.

Neste contexto, realizaram-se os seguintes ensaios em laboratório:

- Quantificação do desempenho aerodinâmico da grelha fixa *standard* da instalação sanitária e da grelha auto-regulável de admissão de ar.
- Quantificação da permeabilidade ao ar, estanquidade à água, resistência ao vento e resistência mecânica da janela dos quartos.
- Determinação da perda de carga e coeficiente de depressão do ventilador estático.
- Determinação dos coeficientes de pressão na envolvente exterior do edifício em estudo.

Quanto aos ensaios *in situ*, tendo em vista a caracterização dos dispositivos instalados, realizaram-se os seguintes:

- Quantificação do desempenho aerodinâmico da grelha instalada na porta exterior da cozinha e da grelha de passagem instalada nas portas da instalação sanitária e da cozinha.
- Quantificação da permeabilidade *in situ* de janelas, portas, interiores e exterior, grelha auto-regulável e caixa de estore.
- Medição da permeabilidade ao ar global dos apartamentos (RPH_{50} : renovação horária obtida através do ensaio de pressurização a 50 Pa).

Durante todos os ensaios realizados localmente, mediram-se as condições climáticas exteriores (direcção e velocidade do vento, temperatura e humidade relativa), obtidas 6 m acima da cobertura horizontal, bem como a temperatura e humidade relativa nos apartamentos estudados. Pontualmente mediram-se estas grandezas em todos os compartimentos.

O segundo objectivo desta campanha era o de caracterizar o desempenho do sistema de ventilação misto instalado, o que exigiu avaliar:

- A influência do isolamento térmico da tubagem, da grelha fixa de extracção e do ventilador estático da conduta da instalação sanitária nos caudais extraídos.

- As renovações horárias, locais e globais, recorrendo ao método dos gases traçadores, mais concretamente às técnicas PFT e do declive. Pretendia-se que estes ensaios decorressem em condições climáticas diversas, com modificações do sistema instalado e com os apartamentos desabitados e habitados.

Complementarmente, também se desejava obter as condições de conforto térmico nos apartamentos; para isso determinaram-se:

- Temperatura e humidade relativa em cada apartamento.
- Temperatura do ar, das superfícies e humidade relativa em cada compartimento, num apartamento.

No Quadro 1 apresenta-se resumidamente os ensaios levados a efeito em cada campanha experimental.

QUADRO 1
Resumo dos ensaios efectuados

Data	Parâmetros determinados
Várias (laboratório)	- Permeabilidade das janelas dos quartos - Permeabilidade da grelha auto-regulável - Perda de carga da grelha de extracção da instalação sanitária - Perda de carga e coeficiente de depressão do ventilador estático
Março 2006	- Permeabilidade global dos apartamentos (RPH_{50})
Agosto 2005 Janeiro 2006	- Condições de conforto (apartamentos desabitados)
Janeiro 2007	- Condições de conforto (apartamentos habitados)
Dezembro 2005 Março 2006	- Análise de sensibilidade na instalação sanitária com as seguintes variáveis: isolamento térmico da conduta, perda de carga da grelha de extracção, ventilador estático e aquecimento ambiente
Agosto 2005 Janeiro 2006 Fevereiro 2006	- Renovações horárias (apartamentos desabitados) - Caudais nas instalações sanitárias
Janeiro 2007	- Renovações horárias (apartamentos habitados)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO E DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO EM ANÁLISE

Tendo em conta as reduzidas taxas de ventilação verificadas numa investigação preliminar, efectuada num edifício de habitação que dispunha de um sistema de ventilação natural com extracção mecânica descontínua na cozinha [17], decidiu-se efectuar uma campanha experimental que pretendia caracterizar as condições de ventilação de apartamentos do tipo T2 e T3 com um sistema de ventilação misto. Implementou-se um sistema de ventilação misto em quatro apartamentos do tipo T2 (apartamentos 1, 2, 3 e 5) e em dois apartamentos do tipo T3 (apartamentos 6 e 7), constituído por exaustão contínua na cozinha, com dois regimes de ventilação, e extracção natural na instalação sanitária. O apartamento 4 estava equipado com um sistema exclusivamente de ventilação natural (sistema de referência), sendo assim possível comparar os desempenhos de ambos os sistemas. Os apartamentos inserem-se num edifício multifamiliar de 4 pisos, localizado em Gondomar, e respeitam o programa de habitações a custos controlados (PER). Os apartamentos foram seleccionados de modo a representarem diferentes orientações e diferentes alturas em relação ao nível do solo (Figura 4) [18].

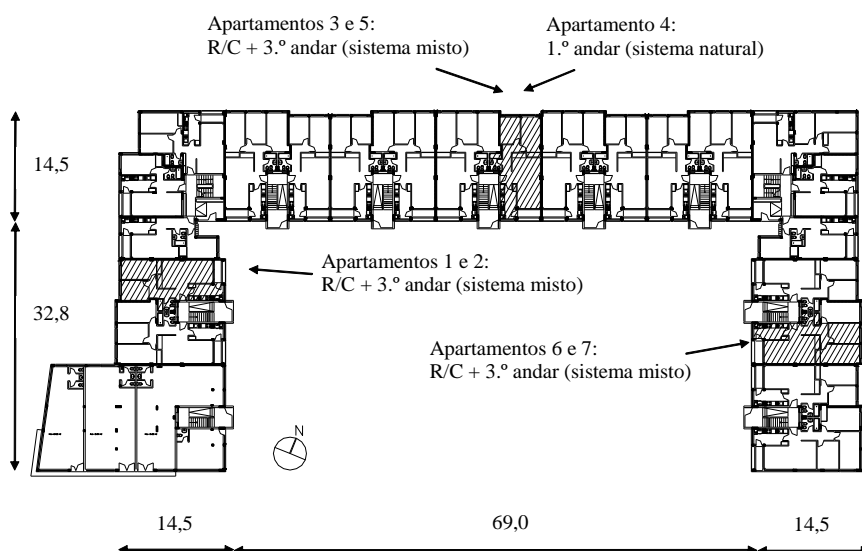
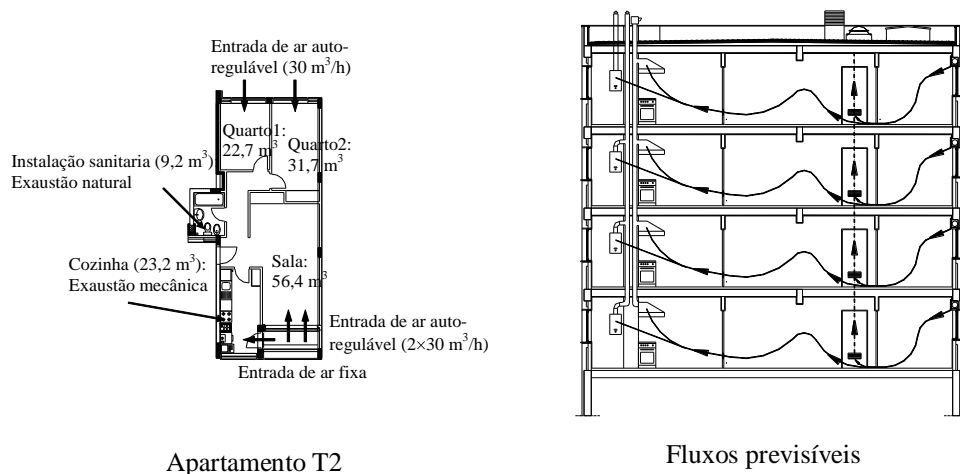


Figura 4

Localização dos sete apartamentos ensaiados

A Figura 5 mostra o apartamento-tipo bem como a localização dos vários dispositivos do sistema de ventilação [18], enquanto a Figura 6 mostra alguns dos dispositivos implementados.



Apartamento T2

Fluxos previsíveis

Figura 5

Princípio de funcionamento do sistema de ventilação implementado – sistema misto



Ventilador estático na conduta da instalação sanitária



Grelha auto-regulável instalada nos quartos e sala



Grelha instalada na porta exterior da cozinha



Grelha instalada nas portas da instalação sanitária e da cozinha.

Figura 6

Dispositivos implementados

No sistema misto, a ventilação da cozinha (extractor mecânico na cobertura) era realizada em dois níveis com a seguinte programação: 12h-14h e 18h30-21h30 com um caudal aproximado de 120 m³/h e no tempo restante com um caudal aproximado de 60 m³/h (a que corresponde um caudal médio de 70 m³/h).

A extracção da instalação sanitária era realizada por conduta de PVC associada a uma grelha de extracção em plástico. Ensaiou-se, em

alternativa, uma conduta de diâmetro igual (adiante designada por modificada), isolada com espuma rígida de poliuretano com uma espessura aproximada de 3 cm. Instalou-se também nesta conduta uma grelha de baixa perda de carga e um ventilador estático na saída da conduta na cobertura.

A informação contida no Quadro 2 permite caracterizar os sistemas de ventilação implementados nos diversos apartamentos.

QUADRO 2

Características dos sistemas de ventilação implementados

Apart. n.º	Orientação	Piso	Sistema de ventilação	Conduta da inst. sanitária	Conduta do esquentador
1	NE/SW	R/C	Misto	$\Phi 110^{(1)}$	$\Phi 175$ - colectiva
2		3.º	“	$\Phi 110^{(1)}$	$\Phi 125$ - individual
3	SE/NW	R/C	“	$\Phi 110^{(1)}$	$\Phi 175$ - colectiva
4		1.º	Natural	$\Phi 110$	$\Phi 175$ - colectiva
5		3.º	Misto	$\Phi 110^{(1)}$	$\Phi 125$ - individual
6	SW/NE	R/C	“	$\Phi 125^{(1)}$	$\Phi 175$ - colectiva
7		3.º	“	$\Phi 125^{(1)}$	$\Phi 125$ - individual

Nota:
⁽¹⁾ Instalou-se também paralelamente uma conduta modificada com os seguintes dispositivos: grelha de baixa perda de carga (alumínio), isolamento térmico e ventilador estático.

3.3 CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS

Foram realizados ensaios com vista a determinar o desempenho aerodinâmico dos componentes do sistema de ventilação dos apartamentos. Por se considerarem mais significativos, apresentam-se os resultados das grelhas de extracção da instalação sanitária e da auto-regulável, da janela dos quartos e do ventilador estático.

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 7 [18]. De acordo com a norma EN 12207: 1999, a permeabilidade da janela conduz à classe 2.

O desempenho aerodinâmico da grelha auto-regulável é apresentado na Figura 8 [18].

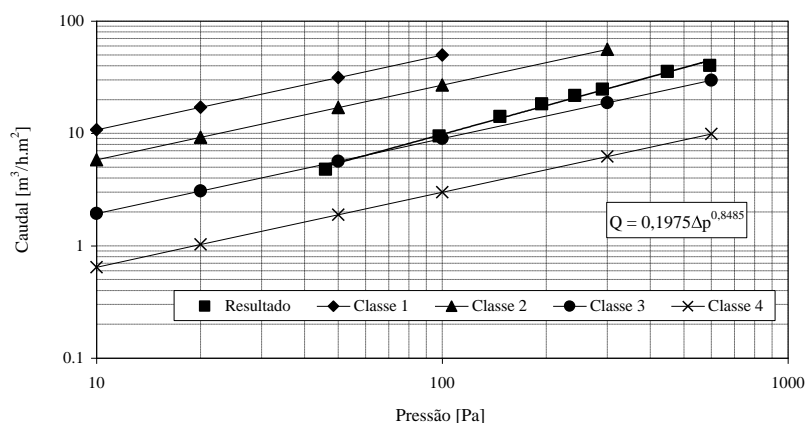


Figura 7
Permeabilidade ao ar da janela dos quartos (depressão)

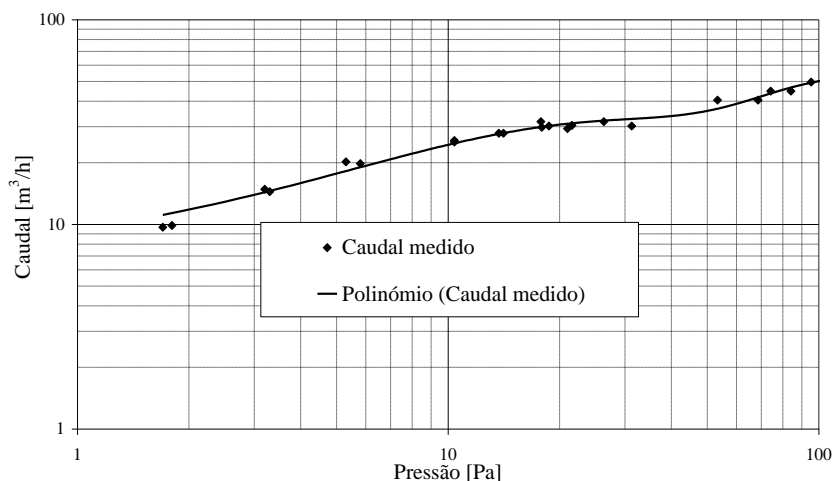


Figura 8
Desempenho aerodinâmico da grelha auto-regulável

O coeficiente de perda de carga da grelha corrente plástica (área bruta de 15 cm × 15 cm e área útil aproximada de 26 cm²) corresponde a 2,8, o que equivale a uma perda de carga de 40 Pa para 45 m³/h (ultrapassa a perda de carga recomendada pela NP 1037-1: 2002 [4], 3 Pa). Comparativamente, e segundo dados do fabricante, o coeficiente de perda de carga (ζ) da grelha de extracção colocada na conduta modificada corresponde a 0,77, o que equivale a uma perda de carga de 2 Pa para 45 m³/h (caudal nominal de extracção).

O ventilador estático foi ensaiado segundo a norma prEN 13141-5: 1998. Os parâmetros determinados foram o coeficiente de perda de carga ($\zeta = 1,5$; ζ do fabricante = 1,51) e o coeficiente de depressão. O ventilador é classificado na classe B (nível Bom), segundo a norma NF P 50-413: 1993.

3.4 PERMEABILIDADE GLOBAL DOS APARTAMENTOS

O ensaio de permeabilidade global dos apartamentos foi executado segundo a norma EN 13829: 2000, efectuando a oclusão das grelhas da cozinha, instalação sanitária, porta exterior da cozinha e auto-reguláveis.

Dos ensaios efectuados (16 ensaios nos apartamentos 1 a 5), pode concluir-se que o valor da permeabilidade global (RPH_{50}), em cada

apartamento estudado, é semelhante para os ensaios de pressão e depressão. Regista-se uma variação entre 4,4 e 9 h⁻¹, para uma média de 6,1. Estes resultados estão consentâneos com outros já apresentados em bibliografia portuguesa [19]. Em ensaios complementares verificou-se que a permeabilidade entre apartamentos era desprezável. Na Figura 9 apresenta-se a distribuição da permeabilidade nos apartamentos 1 e 3, da qual se pode concluir que a caixilharia apresenta um valor relativamente baixo comparado com a caixa de estore.

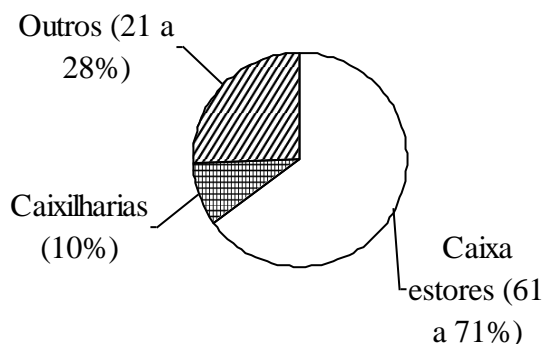


Figura 9
Distribuição da permeabilidade ao ar nos apartamentos 1 e 3 (ensaios em pressão).

3.5 CONDIÇÕES DE CONFORTO

Pretendia-se determinar algumas variáveis de conforto térmico com os apartamentos habitados e desabitados. Na Figura 10 apresentam-se os resultados correspondentes à evolução da temperatura em cada apartamento entre os dias 3 e 6 de Agosto de 2005.

A análise da Figura 10 indica-nos que, como era expectável, os apartamentos com temperaturas médias extremas são aqueles que estão situados no R/C e sob a cobertura com uma diferença média de 3 °C.

O desfasamento entre as condições exteriores e interiores varia de 4 a 15 °C. Segundo a norma ASHRAE 55: 2004, as temperaturas máxima registada no interior do apartamento 2 (28,6 °C) e mínima no apartamento 3 (21,4 °C) encontram-se fora dos limites de conforto, assumindo que a temperatura operativa é aproximadamente igual à temperatura ambiente. No fim do período em análise, os apartamentos tendem a enquadrar-se na gama de valores de conforto.

Segundo a mesma norma e para edifícios ventilados naturalmente, somente a temperatura máxima é que está fora dos limites de conforto. Para este caso, é necessário conhecer a temperatura média mensal de Agosto (22 °C) obtida no Porto – Pedras Rubras, única estação disponível (dados obtidos no site do Instituto de Meteorologia).

Realizaram-se as mesmas medições em Janeiro de 2006 e, tendo-se procedido ao aquecimento ambiente do apartamento 2, os respectivos resultados encontram-se na Figura 11.

A análise da Figura 11 indica-nos que, como era expectável, os apartamentos têm temperaturas médias bastante baixas, independentemente da localização, à excepção do apartamento 2, que foi aquecido. Observa-se que a temperatura tem um andamento similar em todos os apartamentos, à excepção dos apartamentos 1 e 2, o

primeiro por ter sido usado para ensaios na semana anterior e o segundo por ter sido aquecido. Se os apartamentos estivessem habitados, as temperaturas interiores atingiriam no máximo, aproximadamente, 15 °C, valor insuficiente para o conforto humano de Inverno, o que realça a necessidade de se recorrer a aquecimento ambiente. A diferença média entre o apartamento 3 (o mais quente) e o apartamento 7 (o mais frio) foi de 1,9 °C. Os apartamentos mais frios situaram-se sob a cobertura (apartamentos 5 e 7).

Os mesmos ensaios foram também repetidos para a situação de apartamentos habitados, os respectivos resultados encontram-se na Figura 12.

A análise da Figura 12 indica-nos que os apartamentos têm temperaturas médias baixas e similares entre eles, à excepção dos apartamentos 6 e 7, orientados a SW/NE, com médias ligeiramente inferiores. Este último apartamento também registou em Janeiro de 2006 uma das temperaturas médias mais baixas, o que pode ser explicado pela sua localização, sob a cobertura, e orientação (situação inversa registou-se em Agosto de 2006). A baixa temperatura do apartamento 6 também pode ser explicada pelo tipo de ocupantes (2 adultos e 1 idoso com aparentes capacidades económicas inferiores às dos restantes habitantes).

De modo a obtermos as condições de conforto local, também se mediram as temperaturas nos diversos compartimentos e em algumas superfícies.

As temperaturas dos compartimentos do apartamento 4 (aquecido com radiadores nos quartos, sala e cozinha, com uma potência total de 2400 W), entre os dias 26 e 29 de Janeiro, são apresentadas na Figura 13, onde se observa que a instalação sanitária é o compartimento mais frio, com uma diferença média em relação à cozinha de 2,4 °C. Os compartimentos virados a SE, cozinha e sala, têm temperaturas mais altas, sendo o andamento na cozinha mais irregular (temperatura máxima aproximadamente às 12h). O andamento mais irregular na cozinha provavelmente terá a haver com a ausência de estore e o funcionamento do termóstato. Os quartos têm temperaturas aproximadamente coincidentes. A análise da evolução da temperatura no fim da semana de ensaio revela que esta estabiliza e se situa em média nos 18 °C (valor não constante da figura).

Na Figura 14 são apresentadas, durante o mesmo intervalo de tempo, as temperaturas superficiais no quarto 1 do apartamento 4 (orientado a NW), onde se observa que as temperaturas extremas ocorrem no vidro simples e pavimento. Entre superfícies verticais, vidro e parede esquerda, regista-se uma diferença máxima de 9,1 °C. Segundo a norma ASHRAE 55: 2004, e para este caso, a assimetria de temperatura radiante pode ser no máximo de 10 °C.

Como conclusão geral pode retirar-se o seguinte:

- Na situação de Verão, os apartamentos mais quentes situam-se sob a cobertura. Nestas condições, as temperaturas extremas, máxima e mínima, situaram-se fora dos limites de conforto.
- Na situação de Inverno, os apartamentos têm temperaturas médias bastante baixas, com ou sem ocupação.
- Na situação de Inverno, a assimetria de temperatura radiante entre superfícies verticais, vidro e paredes, situou-se perto do limite normativo.

3.6 INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO DA INSTALAÇÃO SANITÁRIA NO CAUDAL EXTRAÍDO - ESTUDO DE SENSIBILIDADE

Como já referido no ponto 3.2, no âmbito da caracterização do sistema instalado, inseriu-se uma conduta suplementar de PVC, adiante designada por “modificada”, na instalação sanitária de todos os apartamentos ensaiados, à excepção do apartamento 4, de diâmetro igual à “normal”, isolada com espuma rígida de poliuretano com uma espessura aproximada de 3 cm; conjuntamente, instalou-se também uma grelha com baixa perda de carga e um ventilador estático na saída da conduta na cobertura.

A conduta adiante designada por “normal” (não modificada) tem uma vulgar grelha de extracção e não tem isolamento térmico e ventilador estático.

Os ensaios apresentados seguidamente tiveram como objectivo avaliar o impacto dos dispositivos instalados, bem como o isolamento térmico e aquecimento ambiente, nos caudais extraídos (registo simultâneo nas duas condutas), em condições de ventilação natural e portas interiores abertas [18].

Os ensaios decorreram no apartamento 3 (desocupado) entre os meses de Dezembro de 2005 e Março de 2006, tiveram uma duração média de 33 horas e recorreu-se ao uso de termoanemómetros e termopares. No Quadro 3 apresenta-se resumidamente os ensaios levados a efeito nesta campanha experimental.

QUADRO 3

Análise de sensibilidade na instalação sanitária. Resumo dos ensaios efectuados

Ensaio	Configuração do sistema
Situação corrente	- Cond. modificada: sem alterações - Cond. normal: sem alterações
Influência do ventilador estático e do aquecimento ambiente	- Cond. modificada: sem grelha de extracção - Cond. normal: sem grelha de extracção - Dois em três ensaios com aquecimento ambiente
Influência da grelha de extracção	- Cond. modificada: sem ventilador estático - Cond. normal: sem alterações
Influência da grelha de extracção	- Cond. modificada: sem ventilador estático - Cond. normal: sem grelha de extracção
Influência do aquecimento ambiente e do isolamento térmico da conduta	- Cond. modificada: sem alterações - Cond. normal: sem alterações - Três ensaios com aquecimento ambiente

3.6.1 Situação corrente

De modo a compararmos o desempenho relativo na situação corrente, isto é, sem alterações nas duas condutas, procedeu-se à realização de dois ensaios constantes do Quadro 4.

QUADRO 4

Resultados da situação corrente

Data do ensaio	15 - 16/12/2005
Velocidade média do vento	2,4 m/s ⁽¹⁾
Direcção do vento predominante	NE + E + SE = 83%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	13,2 - 9,5 = 3,7 °C
Caudal médio na conduta modificada	17,3 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	8,0 m ³ /h
Data do ensaio	14 - 16/3/2006
Velocidade média do vento	0,8 m/s ⁽¹⁾
Direcção do vento predominante	SE + S = 39%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	16,9 - 12,0 = 4,8 °C
Caudal médio na conduta modificada	9,0 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	7,3 m ³ /h
Nota:	
⁽¹⁾ Segundo as normais para a Serra do Pilar, a velocidade média registada situa-se bastante abaixo dos valores médios por rumo para a situação de Inverno (4 - 6 m/s).	

A título exemplificativo, apresenta-se na Figura 15 a evolução dos caudais extraídos bem como a velocidade e direcção do vento para o

ensaio realizado entre os dias 15 e 16 de Dezembro de 2005.

Dos resultados apresentados, pode-se concluir que os dispositivos implementados na conduta modificada – grelha de baixa perda de carga e ventilador estático – incrementaram o caudal relativamente à conduta normal, sendo este incremento bastante dependente da direcção (maior preponderância em direcções perpendiculares às fachadas: SE e NW) e velocidade do vento. Os picos da velocidade do vento conduzem a maiores incrementos nos caudais da conduta modificada. No entanto, o caudal médio extraído (17,3 m³/h) é, mesmo assim, bastante baixo.

3.6.2 Influência do ventilador estático e do aquecimento ambiente

De modo a avaliar-se a importância do ventilador estático, retiraram-se as grelhas de extracção. Em dois ensaios dos três ensaios (26 e 27 de Dezembro de 2005 e 2 a 4 de Janeiro de 2006), procedeu-se ao aquecimento ambiente (recurso a radiadores com 1200 W), realizando-se os ensaios constantes do Quadro 5.

QUADRO 5

Resultados dos ensaios sem grelhas de extracção

Data do ensaio	23 - 24/12/2005
Velocidade média do vento	0,8 m/s
Direcção do vento predominante	SE + S = 66%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	14,7 – 10,1 = 4,6 °C
Caudal médio na conduta modificada	22,4 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	22,4 m ³ /h
Data do ensaio	26 - 27/12/2005
Velocidade média do vento	2,5 m/s
Direcção do vento predominante	W + NW = 61%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	20,5 – 12,4 = 8,1 °C
Caudal médio na conduta modificada	13,8 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	28,7 m ³ /h
Data do ensaio	2 - 4/1/2006
Velocidade média do vento	1,2 m/s
Direcção do vento predominante	NW + N = 50%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	19,1 – 9,2 = 10,6 °C
Caudal médio na conduta modificada	16,0 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	30,1 m ³ /h

Apresenta-se na Figura 16 a evolução dos caudais extraídos bem como a sua variação com a velocidade e direcção do vento, para o ensaio

entre os dias 23 e 24 de Dezembro.

Apresenta-se na Figura 17 a mesma situação mas com aquecimento ambiente entre os dias 2 a 4 de Janeiro.

Da análise da Figura 16, pode-se concluir que em situação de vento fraco o ventilador estático não produz efeitos, pois os dois caudais apresentam o mesmo andamento e o mesmo valor médio (22,4 m³/h). Mais uma vez se observa que a direcção do vento é preponderante para se obter um incremento dos caudais, apesar de por vezes a velocidade ser baixa. Observa-se também que a ausência de grelhas possibilitou, com velocidades do vento muito baixas, caudais bastante razoáveis (máximo de 28 m³/h), comparativamente aos restantes ensaios.

Na situação de aquecimento ambiente (Figura 17) a influência deste sobrepõe-se à influência da perda de carga do ventilador estático, fazendo com que a conduta não isolada, com menor perda de carga, obtenha caudais superiores, registando-se uma diferença média nos caudais extraídos de aproximadamente 14,0 m³/h ($\Delta T_{int-ext} = 10,6$ °C).

3.6.3 Influência da grelha de extracção

De modo a avaliar-se a importância da grelha fixa de extracção nos caudais em jogo, retirou-se o ventilador estático da conduta modificada (27 a 29 de Dezembro: ensaio comparativo das duas grelhas) e retirou-se a grelha da conduta normal (23 e 24 de Fevereiro: ensaio sem perdas de carga localizadas na conduta normal), procedendo à realização dos ensaios constantes do Quadro 6.

QUADRO 6

Resultados dos ensaios relativos à influência das grelhas

Data do ensaio	27 - 29/12/2005
Velocidade média do vento	2,1 m/s
Direcção do vento predominante	W + NW + N = 65%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	15,4 – 10,6 = 4,8 °C
Caudal médio na conduta modificada	10,0 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	8,3 m ³ /h
Data do ensaio	23 - 24/2/2006
Velocidade média do vento	1,0 m/s
Direcção do vento predominante:	Variável
$\Delta T_{int-ext}$ médio	11,9 – 7,0 = 4,9 °C
Caudal médio na conduta modificada	7,8 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	16,3 m ³ /h

Apresenta-se na Figura 18 a evolução dos caudais extraídos bem como a velocidade e direcção do vento para o ensaio entre os dias 27 a 29 de Dezembro (sem ventilador estático).

Apresenta-se na Figura 19 a evolução dos caudais extraídos bem como

a velocidade e direcção do vento para o ensaio entre os dias 23 e 24 de Fevereiro (ensaio sem grelha na conduta normal).

Dos resultados apresentados, pode-se concluir que a grelha com perda de carga elevada restringe consideravelmente o caudal na conduta normal.

Comparando o ensaio de 15 e 16 de Dezembro, situação corrente – com ventilador estático (§3.6.1), com o presente ensaio de 27 a 29 de Dezembro, conclui-se que para velocidades médias da mesma ordem de grandeza, 2,1 a 2,4 m/s, os caudais médios são mais elevados na presença do ventilador estático (17,3 m³/h no 1.º ensaio e 10,0 m³/h no 2.º ensaio).

3.6.4 Influência do aquecimento ambiente e do isolamento térmico na conduta

De modo a compararmos o desempenho relativo entre as duas condutas na situação de aquecimento ambiente, procedeu-se à realização de três ensaios constantes do Quadro 7.

QUADRO 7

Resultados na situação de aquecimento ambiente

Data do ensaio	20 - 21/12/2005
Velocidade média do vento	3,3 m/s
Direcção do vento predominante	E + SE = 81%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	17,8 – 10,9 = 6,9 °C
Caudal médio na conduta modificada	19,8 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	10,0 m ³ /h
Data do ensaio	07 - 09/03/2006
Velocidade média do vento	1,0 m/s
Direcção do vento predominante	Variável
$\Delta T_{int-ext}$ médio	23,9 – 12,3 = 11,6 °C
Caudal médio na conduta modificada	15,5 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	15,8 m ³ /h
Data do ensaio	10 - 11/03/2006
Velocidade média do vento	2,3 m/s
Direcção do vento predominante	N + NW = 66%
$\Delta T_{int-ext}$ médio	24,0 – 12,8 = 11,2 °C
Caudal médio na conduta modificada	16,3 m ³ /h
Caudal médio na conduta normal	13,2 m ³ /h

Apresenta-se na Figura 20 a evolução dos caudais entre os dias 20 e 21 de Dezembro e na Figura 21 a evolução das temperaturas exterior, na instalação sanitária e no interior das condutas entre os dias

10 e 11 de Março (temperatura nas condutas medidas no 3.º andar).

De modo a compararmos a situação anterior com a situação sem aquecimento ambiente, apresenta-se na figura 22 a evolução das temperaturas para o ensaio decorrido entre os dias 14 e 16 de Março, já apresentado no §3.6.1.

Dos resultados apresentados, pode-se concluir que, à semelhança do ensaio de 15 e 16 de Dezembro, os dispositivos implementados na conduta modificada, grelha de baixa perda de carga e ventilador estático, incrementam o caudal relativamente à conduta normal, sendo este incremento bastante dependente da direcção (maior preponderância em direcções perpendiculares às fachadas) e velocidade do vento (ver Figura 20).

O caudal médio extraído (máximo de 19,8 m³/h) continua a ser bastante baixo e mais dependente do vento do que do diferencial de temperatura (os ensaios com maior velocidade média do vento, 1.º e 3.º, sobrepõem-se ao 2.º ensaio com vento mais fraco mas diferencial de temperatura maior).

Em relação ao efeito do isolamento térmico, este pode ser observado na Figura 21, donde se retira que a temperatura na conduta isolada é sempre superior em relação à conduta não aquecida (ΔT médio entre condutas = 2,8 °C). Na situação de não aquecimento (Figura 22), o isolamento térmico da conduta modificada não altera significativamente a temperatura no interior da conduta (ΔT médio entre condutas = 0,6 °C).

3.6.5 Síntese crítica da análise de sensibilidade efectuada

Dos ensaios realizados, pode-se concluir o seguinte:

- A velocidade e direcção do vento são preponderantes para se obterem incrementos significativos nos caudais extraídos, principalmente nos rumos perpendiculares às fachadas em estudo, SE e NW, mesmo em situações de velocidades do vento baixas.
- A velocidade do vento tem mais preponderância que o diferencial de temperatura no incremento dos caudais.
- A situação de grelha com baixa perda de carga e ventilador estático revelou-se a mais favorável para se obterem caudais mais elevados.
- O maior caudal médio obtido na conduta modificada foi de 22,4 m³/h, 2,4 RPH, atingido nas condições de sem grelha, vento fraco e perpendicular às fachadas (23 e 24 de Dezembro).

Como conclusão geral, pode retirar-se que em situação de ventilação natural e de não utilização (sem aquecimento das águas sanitárias ou sem aquecimento ambiente) os caudais médios atingidos na conduta modificada são razoáveis, aproximadamente 2 RPH. Crê-se que na situação de velocidade do vento com valores médios próximos dos das

normais do local (4-6 m/s), os valores atingidos seriam razoavelmente superiores no entanto, a direcção do vento seria sempre preponderante. É de realçar, no entanto, que dificilmente o valor nominal de cálculo (45 m³/h) seria atingido. De acordo com os resultados obtidos, o principal obstáculo na prossecução de caudais razoáveis é a grelha fixa de extracção.

No Quadro 8 apresentam-se resumidamente os resultados desta campanha experimental.

QUADRO 8

Análise de sensibilidade na instalação sanitária. Resumo dos resultados

Parâmetro	Conclusões
Perda de carga da grelha de extracção	- Quando elevada, restringe fortemente os caudais
Ventilador estático	- Potencia velocidade do vento - Previne refluxos
Velocidade do vento	- Preponderante para se atingirem caudais razoáveis (2 RPH)
Direcção do vento	- A conjugação da direcção do vento e da orientação das fachadas (situação de vento perpendicular às fachadas) incrementa os caudais
Isolamento térmico da conduta	- Importante no caso de aquecimento ambiente
Aquecimento ambiente	- Menos relevante que velocidade do vento

3.7 RENOVAÇÕES HORÁRIAS OBTIDAS ATRAVÉS DA TÉCNICA PFT

A determinação das renovações horárias foi realizada em 4 semanas [20]. Nas três primeiras semanas utilizaram-se apartamentos do tipo T2. As condições dos ensaios foram as seguintes:

- Agosto de 2005: apartamentos T2 desabitados; caudal médio de exaustão na cozinha de 70 m³/h (à excepção do apartamento 4); conduta modificada na instalação sanitária (à excepção do apartamento 4).
- Janeiro de 2006: apartamentos T2 desabitados; caudal médio de exaustão na cozinha de 95 m³/h (à excepção do apartamento 4); aquecimento do apartamento 2 (2400 W); conduta modificada na instalação sanitária (à excepção do apartamento 4).
- Fevereiro de 2006: apartamentos T2 desabitados; caudal médio de exaustão na cozinha de 95 m³/h (à excepção do apartamento 4); aquecimento do apartamento 4 (2400 W); conduta normal na instalação sanitária (grelha *standard*, sem isolamento térmico e sem ventilador estático).
- Janeiro de 2007: apartamentos habitados (apartamentos

5 e 6 passaram a T3); sistema de ventilação natural; conduta normal na instalação sanitária (grelha *standard*, sem isolamento térmico e sem ventilador estático).

Em relação às condições interiores, observa-se no Quadro 9 que os apartamentos, na situação de Inverno, têm temperaturas muito baixas. Pode observar-se um ligeiro acréscimo no apartamento 2 (2.ª semana) e no apartamento 4 (3.ª semana) devido à presença dos radiadores.

As condições climáticas exteriores revelaram baixas velocidades do vento, predominantemente no rumo SE, perpendicular à fachada principal dos apartamentos 3 a 5.

QUADRO 9

Condições climáticas durante os períodos de ensaio

	2/8 a 9/8 de 2005 ⁽¹⁾	12/1 a 19/1 de 2006 ⁽¹⁾	26/1 a 2/2 de 2006 ⁽²⁾	13/1 a 20/1 de 2007 ⁽²⁾
Apart. n.º	Temp. média interior [°C]			
1 (R/C)	24,0	12,5	10,0	16,4
2 (3.º andar)	26,0	15,5 ⁽³⁾	9,1	16,3
3 (R/C)	23,2	11,6	13,4	16,1
4 (1.º andar)	24,2	11,2	16,8 ⁽³⁾	16,8
5 (3.º andar)	-	10,5	10,5	16,6
6 (R/C)	23,6	10,9	10,2	14,8 ⁽⁴⁾
7 (3.º andar)	25,7	9,7	9,2	15,6 ⁽⁴⁾
Condições climáticas				
Temp. média interior [°C]	24,5	11,1 ⁽⁵⁾	10,4 ⁽⁵⁾	16,1
Temp. média exterior [°C]	25,4	8,8	5,9	12,1
Veloc. média do vento [m/s]	1,9	1,4	1,7	3,5
Direcção prevalectante do vento	SE+NW =34%	S+SE=51%	N+SE=36%	-
Notas:				
⁽¹⁾ - Ensaio com conduta da instalação sanitária modificada: 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 normal: não isolada, grelha <i>standard</i> e sem ventilador estático.				
⁽³⁾ - Apartamento aquecido com radiadores.				
⁽⁴⁾ - Apartamentos do tipo T3.				
⁽⁵⁾ - Valor obtido sem o apartamento aquecido.				

Apresentam-se nas figuras seguintes a análise comparativa das médias das renovações horárias das instalações sanitárias, das cozinhas e dos apartamentos obtidos com a técnica PFT, com um período de medição de uma semana (incerteza local média de 9% e incerteza global

de 13%).

3.7.1 Síntese crítica dos resultados das renovações horárias obtidas pela técnica PFT

Localmente não se pode definir a taxa *RPH*, uma vez que esta taxa é obtida com ar exterior (fresco). Por este motivo, não se podem comparar as renovações horárias apresentadas na Figura 21 e na Figura 22 (resultam de uma mistura ar fresco + ar “velho”) com as renovações advindas dos caudais nominais de ar fresco para os compartimentos principais (1 *RPH*, pela NP 1037: 2002) ou as renovações advindas dos caudais de extracção nos compartimentos de serviço (4 *RPH*, pela NP 1037: 2002). Pode-se, contudo, fazer uma análise relativa comparando o desempenho de cada apartamento. Desta análise pode retirar-se que, por exemplo, no que diz respeito às instalações sanitárias os apartamentos 1, 2 e 3, na 3.^a semana, apresentam renovações horárias mais elevadas, provavelmente devido a um efeito favorável do vento. Outra conclusão a retirar é que as renovações horárias da instalação sanitária na 4.^a semana, apesar do aumento significativo da velocidade do vento, são inferiores às restantes semanas (à excepção do apartamento 4), talvez reflexo da presença da grelha de extracção *standard*.

De uma forma global, da campanha experimental com a técnica PFT, podemos retirar as seguintes conclusões:

- O ventilador estático e a utilização de grelhas com baixa perda de carga na extracção das instalações sanitárias ($\Delta P_{total} - 45m^3/h = 2 Pa$) são preponderantes para se obterem acréscimos significativos nas renovações horárias da instalação sanitária relativamente ao apartamento 4, que não recorre a estes dispositivos.
- 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 exaustão mecânica recorrer a caudais reduzidos na cozinha, os caudais por via da ventilação natural (apartamento 4) são ainda inferiores.
- A acção do vento faz-se sentir essencialmente nos apartamentos sob a cobertura.
- 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 2.^a e a 3.^a semana (para um aumento da velocidade média do vento de 21% as renovações horárias globais aumentaram 14%).
- Os casos de baixa renovação horária surgem

essencialmente no piso do R/C e no caso do apartamento com sistema de ventilação exclusivamente natural (apartamento 4).

- O aumento da temperatura interna e da velocidade do vento entre a 2.^a e a 3.^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 semana e as 2.^a e 3.^a semanas resultou no aumento de 25% das renovações horárias globais.
- Na situação de ventilação natural, 4.^a semana, em face da ocupação, os resultados das renovações horárias podem ter sido influenciados pelos hábitos dos ocupantes, nomeadamente, pela abertura de janelas e pelo aquecimento ambiente; sendo assim, a taxa mais alta obtida no apartamento 4 pode ser explicada pela respectiva temperatura média interior mais alta (16,8 °C).
- A renovação horária média global obtida na situação de ventilação natural, 4.^a semana, foi de $0,59 \text{ h}^{-1}$ bastante abaixo do obtido nos ensaios anteriores, $0,65 \text{ h}^{-1}$, $0,76 \text{ h}^{-1}$ e $0,86 \text{ h}^{-1}$, respectivamente, na 1.^a semana, 2.^a semana e 3.^a campanha (médias obtidas sem o apartamento 4). As taxas de renovação horária variam ligeiramente com a localização em termos de altura e orientação dos apartamentos. A taxa de renovação do apartamento 4, ventilado naturalmente, é frequentemente inferior às restantes.

3.7.2 Caudais obtidos nas instalações sanitárias (situação de exaustão mecânica na cozinha)

A série de ensaios que se apresenta seguidamente teve por objectivo determinar os caudais extraídos em vários apartamentos em função das respectivas altura e posição, na situação de ventilação mecânica na cozinha (na determinação dos caudais usaram-se termoanemómetros).

Os ensaios decorreram nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2006, simultaneamente com a determinação das renovações horárias pela técnica PFT, e tiveram uma duração média de 33 horas. Os caudais foram medidos na cobertura, no caso de medição de 2 apartamentos em simultâneo, ou no 3.^o piso. Todas as condutas da instalação sanitária estavam equipadas com grelha de baixa perda de carga e ventilador estático.

Apresentam-se na Figura 24 e na Figura 25 alguns dos caudais determinados. Pode observar-se na primeira das figuras que o exaustor tem uma ligeira influência nos caudais da instalação sanitária, a um incremento do primeiro corresponde um decréscimo do segundo, principalmente em condições de vento fraco. Na segunda figura

observa-se que, para um diferencial de temperatura aproximadamente igual para ambos os casos, o incremento da velocidade do vento é preponderante para se obterem caudais mais elevados, principalmente na conduta do R/C.

Apresenta-se no Quadro 10 o resumo dos caudais obtidos nas instalações sanitárias durante toda a segunda campanha.

QUADRO 10

Caudais obtidos nas instalações sanitárias. Situação de ventilação mecânica na cozinha

Apart.	Data do ensaio	Caudal médio [m ³ /h]	Vento		$\Delta T_{int-ext}$ [°C]
			Vel. média [m/s]	Direcção	
1	05 - 06/01/2006	7,1	1,3	SE + S = 31% N = 29%	5,0 ⁽¹⁾
1	12 - 14/01/2006	17,0	1,4	SE + S = 54%	4,7
2		7,3			3,7 ⁽¹⁾
3	19 - 20/01/2006	9,6	1,1	SE + S = 39%	4,5 1
3	23 - 24/01/2006	24,9	1,4	SE + S = 37%	7,6 ⁽¹⁾
5		10,7			1,7
3	02 - 03/02/2006	5,6	1,3	N + NE = 31% NW = 18%	0,5
5		8,5			1,4 ⁽¹⁾
1	06 - 07/02/2006	7,1	1,4	SE = 24% N = 17%	-
2		6,0			-
6	09 - 10/02/2006	7,0	0,7	SE + S = 37%	0,9 ⁽¹⁾
7		4,1			-2,4
6	16 - 17/02/2006	24,7	3,5	SW + W = 68% NW = 19%	2,9
7		26,0			2,9 ⁽¹⁾
	Média	11,4	1,5		

Nota:
⁽¹⁾ - Apartamento aquecido.

Da análise do quadro anterior, podem retirar-se as seguintes conclusões:

- Durante os ensaios a velocidade média do vento foi baixa, à excepção do ensaio entre os dias 16 e 17 de Fevereiro, o que se reflectiu em caudais médios bastante baixos.
- Os caudais dependem bastante da velocidade média do vento, como é o caso dos ensaios de 9 e 10 de Fevereiro e 16 e 17 de Fevereiro para os apartamentos 6 e 7. Para estes, um aumento da velocidade do vento de 500%, corresponde um aumento de caudal de 450%. Este aumento verificou-se independentemente da direcção do vento, pois esta alterou-se totalmente entre os dois ensaios.

- Para velocidades médias do vento baixas e diferenciais de temperatura também baixos, registaram-se em dois ensaios, 12 a 14 Janeiro (apartamentos 1 e 2) e 23 e 24 Janeiro (apartamentos 3 e 5), diferenças substanciais (230%) entre os caudais do R/C e os caudais do 3.º andar, demonstrando a importância do efeito de chaminé.

4 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas podem resumir-se da seguinte forma:

- A renovação horária média dos apartamentos (0,65 a 0,87 *RPH*, em situação de exaustão mecânica na cozinha, ver Figura 23) 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.
- A ventilação geral e permanente, com exaustão contínua na cozinha, (70-95 m³/h durante 19h do dia) foi fundamental para se atingirem as renovações horárias pretendidas.
- 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.
- Em situação de ventilação natural e de não utilização (sem aquecimento das águas sanitárias ou sem aquecimento ambiente) os caudais médios atingidos na conduta modificada são razoáveis, aproximadamente 2 *RPH*.
- A instalação de uma grelha fixa na porta exterior da cozinha poderá ter obviado a inversões de fluxo na instalação sanitária.
- A perda de carga da grelha corrente plástica e a permeabilidade da caixa de estore são excessivas.
- As condições de conforto interiores são deficitárias e fortemente dependentes das condições climáticas exteriores, com maior preponderância nos apartamentos sob a cobertura.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projecto POCTI/ECM 45555/2002, do IHRU (Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana), das Câmaras Municipais da Maia e de Gondomar na disponibilização dos apartamentos ensaiados.

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 – Construção 2001, Lisboa, 19 de Dezembro de 2001. Lisboa : IST, 2001. Actas.
2. FREITAS, V. - *Building condensation. How to solve the problem in Portugal*. Proceedings of XXX IAHS World Congress on Housing “Housing Construction: An Interdisciplinary Task”. Coimbra, Portugal, 9-13 Setembro de 2002. Coimbra : Wide Dreams, 2002. Conference Papers Vol. 3, p. 1633-1638.
3. VIEGAS, João Carlos – *Ventilação natural de edifícios de habitação*. 5.^a ed. Lisboa : LNEC, 2006. 144 p. (Coleção Edifícios; CED 4). ISBN 978-972-49-1671-2.
4. NP 1037-1. 2002, *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás – Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural*. Monte da Caparica : IPQ.
5. Decreto-Lei n.º 80/2006. D.R. I Série-A. 67 (06-04-04) 2468-2513 – *Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*.
6. VIEGAS, João Carlos; SILVA, F. Marques da; PINTO, Armando; MATIAS, Luís – *Ventilation of Dwellings: Requirements and Experiments*. Proceedings of XXX IAHS World Congress on Housing “Housing Construction: An Interdisciplinary Task”. Coimbra, Portugal, 9-13 Setembro de 2002. Coimbra : Wide Dreams, 2002. Conference Papers Vol. 3, p. 1523-1530.
7. VIEGAS, João Carlos; SILVA, F. Marques da; PINTO, Armando; MATIAS, Luís – *Assessment of the performance of natural ventilation in an apartment building*. Proceedings of ROOMVENT 2002, 8th International Conference on Air Distribution in Rooms. Copenhagen, Denmark, 8-11 September de 2002. Copenhagen : The Technical University of Denmark, 2002. Conference Papers no. 294, p. 473-476.
8. VIEGAS, João Carlos; MATIAS, Luís; PINTO, Armando – *Natural ventilation of an apartment: a case study*. Proceedings of ROOMVENT 2004, 9th International Conference on Air Distribution in Rooms. Coimbra, Portugal, 5-8 Setembro de 2004. Coimbra : Universidade de Coimbra, 2002. Conference Papers.
9. FERREIRA, M.; Corvacho, H.; Alexandre J.L.. – *Natural Ventilation of Residential Buildings in Portuguese Winter Climatic Conditions*. Proceedings of the 25th Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre, Prague, Czech Republic, 15 to 17 September 2004. Prague : AIVC, 2004. p. 281-286.
10. SHERMAN, M. – *Analysis of Errors Associated with Passive Ventilation Measurement Techniques*. Building and Environment, Vol. 24 (1989) p. 131-139.
11. DIETZ, R.; COTE, E. – *Air Infiltration Measurements in a Home using a Convenient Perfluorocarbon Tracer Technique*. Environment International. Vol. 8, (1982), p. 419-433.
12. NT VVS 118: 1997, *Ventilation. Local mean age of air. Homogeneous emission techniques*. Espoo, Finland : NORDTEST.
13. STYMNE, H. – *Monitoring of Ventilation Rate and Air Distribution Patterns in an Apartment Block using the Homogeneous Emission Technique*. Ispra, Italy :

- Joint Research Centre, 1994. (Final report contract n.º 5607-93-11 EI ISP S).
14. NT VVS 105: 1994, *Ventilation. Flow rate, total effective – by single zone approximation*. Espoo, Finland : NORDTEST.
 15. STYMNE, H.; BOMAN, C. - *Measurement of Ventilation and Air Distribution using the Homogeneous Emission Technique. A validation*. Proceedings of Healthy Buildings '94: 3rd International Conference, Budapest, Hungary, 22-25 August, 1994. Conference Papers, Vol. 2, p. 539-544.
 16. ROULET, C.; VANDAELE, L. – *Air flow Patterns Within Buildings: Measurement Techniques*. Bracknell, Berkshire, GB : AIVC, 1991.. (Technical Note 34; TN 34). 284 p. ISBN:0-946075-64-6.
 17. PINTO, M. et al. – *Air Change Rates in Multi-family Residential Buildings in Northern Portugal*. Proceedings of the Healthy Buildings – 7th International Conference “Energy-Efficient Healthy Buildings”, Singapore, 7-11 December 2003. Singapore : National University of Singapore, 2003.
 18. PINTO, Manuel; FREITAS, Vasco; VIEGAS, João; MATIAS, Luis – *Residential Hybrid Ventilation Systems in Portugal: Experimental Characterization*. Proceedings of 8th Healthy Buildings Conference. Lisboa, Portugal, 4-8 Junho de 2006. Lisboa : E. de Oliveira Fernandes, M. Gameiro da Silva, J. Rosado Pinto, 2006. Conference Papers, p. 357-362.
 19. PINTO, A. – *Recomendações para Limites da Permeabilidade ao Ar da Envolvente*. Comunicação apresentada no Seminário sobre “Aplicação da Ventilação Natural e Mista em Edifícios”, Lisboa, Portugal, 17-18 Maio de 2007. Lisboa : LNEC, 2007. Actas.
 20. PINTO M.; FREITAS, V. P. de; STYMNE, H.; BOMAN, C. A. – *Measurements air change rates using the PFT technique in residential buildings in northern Portugal*. Proceedings of the AIVC 27th conference "Technologies & sustainable policies for a radical decrease of the energy consumption in buildings", Lyon, France, 20-22 November de 2006. 2006. Lyon : AIVC, 2006. Vol. 3, p. 761-766.