

Medição experimental do escoamento do ar através de janelas abertas

Hildebrando Cruz¹ e João Carlos Viegas¹

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Av. do Brasil, 1700-066 Lisboa, Portugal
email: htacruz@lnec.pt <http://www.lnec.pt>

Sumário

Actualmente o estilo de vida da maioria dos países desenvolvidos conduz a que as pessoas passem, em média, mais de 80% do seu tempo em edifícios em actividades diversas, potenciando a um maior tempo de exposição a concentrações de poluentes (no interior) superiores às concentrações de poluentes do meio exterior, originando um aumento da probabilidade de doenças do foro respiratório especialmente nas crianças. No âmbito desta temática o projecto ENVIRH pretende clarificar a relação existente entre ventilação, qualidade do ar interior e saúde. Tendo em vista caracterizar a ventilação natural através de janelas abertas, foi desenvolvida uma metodologia experimental para determinação “in situ” do coeficiente de perda de carga de janelas abertas. Nesta comunicação apresentam-se os resultados desse estudo.

Palavras-chave: Ventilação natural de edifícios; coeficientes de vazão; velocidades do escoamento; perfil de velocidades; caudais; caixilhos.

1 INTRODUÇÃO

Com o actual estilo de vida da maioria dos países desenvolvidos as pessoas passam, em média, mais de 80% do seu tempo em edifícios, em actividades profissionais ou de lazer. Este confinamento conduz a que as pessoas fiquem expostas a maiores concentrações de poluentes (no interior) do que as existentes no exterior. De entre os grupos de risco, as crianças são particularmente vulneráveis, podendo ocorrer um aumento de doenças do foro respiratório, tal como a asma. A forma como os factores ambientais afectam a saúde das crianças não é um tema consensual, mas é do senso comum que as crianças adoecem com mais frequência quando iniciam a sua actividade na creche ou no infantário. O projecto ENVIRH pretende clarificar/evidenciar quais as relações entre a causa e o efeito deste fenómeno através da resposta a algumas questões base, nomeadamente a: *Qual o papel da ventilação dos edifícios na saúde das crianças? Como é que a ventilação afecta a Qualidade do Ar Interior?*

Nos países mediterrânicos, frequentemente utiliza-se o processo de ventilação natural para se obter, no interior dos edifícios, o desejado conforto térmico e para a redução do teor dos poluentes; este princípio também é largamente utilizado nos países com climas tropicais e temperados [1]. Este processo de ventilação, sendo economicamente mais viável que o uso de equipamentos de ventilação mecânica, depende da direcção e intensidade do vento e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior [2]. Como a ventilação natural é efectuada através das aberturas que comunicam com o exterior, é frequente intensificar-se este processo através da abertura de janelas.

No âmbito deste projecto é necessário desenvolver capacidade de simulação computacional da ventilação dos edifícios. Embora a metodologia de simulação não apresente dificuldades de maior, a caracterização criteriosa da envolvente do edifício, dos obstáculos interiores ao escoamento [3] e da ação do vento sobre o edifício (expressa normalmente em termos de coeficientes de pressão) é complexa e a avaliação inadequada destas características pode conduzir com facilidade a grandes afastamentos entre as previsões computacionais e as condições de ventilação que efectivamente ocorrem. Dado que se verificou que os edifícios em estudo (creches e infantários) têm as janelas abertas para efeitos de ventilação durante uma parte significativa do tempo, é necessário caracterizar detalhadamente os escoamentos promovidos pelo vento que ocorrem através destas aberturas. Nesse sentido, foi desenvolvida uma metodologia de ensaio que visa determinar “in situ” a perda de carga das janelas em função do seu estado de abertura, e da posição das persianas exteriores enroláveis.

O escoamento do ar, para ventilação natural, no interior de um compartimento de um edifício pode ser considerado com o sendo um escoamento incompressível. Embora em termos clássicos se considere que a perda de carga através de janelas abertas seja simplesmente caracterizada por um coeficiente de perda de carga de $\xi = 2,69$ (correspondente a um coeficiente de vazão de $C_d = 0,61$) [4], verificou-se que esta aproximação,

baseada no escoamento de um fluido através de um orifício rectangular de arestas vivas [5], é simplista e que podem ocorrer condições geométricas ou do próprio escoamento que são caracterizadas por outros coeficientes de perda de carga [6 a 9]. Em especial, verifica-se que:

- o tipo de caixilho e a abertura da folha influenciam o escoamento na janela e o seu coeficiente de perda de carga [6];
- quando a área livre da janela é da ordem de grandeza do compartimento, a forma do escoamento dentro deste interfere de forma já significativa com o escoamento através da janela, influenciando o seu coeficiente de perda de carga [3];
- a velocidade na abertura exterior é dependente do rumo do vento e do posicionamento da janela no edifício, influenciando também o coeficiente de perda de carga [7 a 9].

Os estudos acima enumerados foram desenvolvidos em túnel de vento e identificaram aspectos relevantes que a abordagem clássica não contempla; deste modo, verifica-se ser necessário proceder com maior detalhe à medição da perda de carga de janelas abertas “*in situ*”. Para tal, desenvolveu-se uma metodologia, baseada na recomendação ASHRAE [10], onde se procedeu à pressurização de um compartimento (com recurso a uma porta ventiladora) de modo a se obter uma diferença de pressão aproximadamente constante e independente do rumo e intensidade do vento. A validação da metodologia e sua aplicação são apresentadas nesta comunicação. Para além disso foi desenvolvida uma metodologia complementar que permite a medição da perda de carga com recurso à ação do vento, sendo, portanto, muito próxima das condições reais de utilização das janelas para ventilação.

2 METODOLOGIA

2.1 Instalação Experimental

Para a determinação da perda de carga através de uma abertura singular no escoamento é necessário medir a diferença de pressão que ocorre quando o escoamento a atravessa, e conhecer o caudal. Dado que as aberturas em janelas têm formas frequentemente complexas e fortemente influenciadas pelos elementos envolventes é particularmente difícil medir o caudal na própria janela. Assim, a metodologia baseou-se na medição da diferença de pressão entre o interior e o exterior, mas o caudal foi medido numa secção de passagem suficientemente afastada da janela de maneira a que o dispositivo de medição não influenciasse significativamente o escoamento na janela. Optou-se por proceder à medição do caudal na porta interior do compartimento no qual foi medida a perda de carga da janela, tendo em conta que, não havendo outras aberturas, o caudal que atravessa a porta interior é igual ao que atravessa a janela.

Para o efeito foram utilizadas duas instalações experimentais. A instalação utilizada para a determinação dos coeficientes de vazão sob a ação da ventilação mecânica (instalação experimental n.º 1), foi configurada de acordo com a Fig. 1 sendo: 1-dispositivo de oclusão (utilizado para regularizar o perfil de velocidade do escoamento e assim ser possível medir a velocidade num menor número de pontos sem prejudicar a estimativa do caudal); 2-ventilador mecânico; 3-janela. A instalação utilizada para a determinação dos coeficientes de vazão sob a ação do vento exterior (instalação experimental n.º 2), foi configurada de acordo com a Fig. 2 onde: 1-Portão de grandes dimensões na posição de aberto; 2-dispositivo de oclusão; 3-janela.

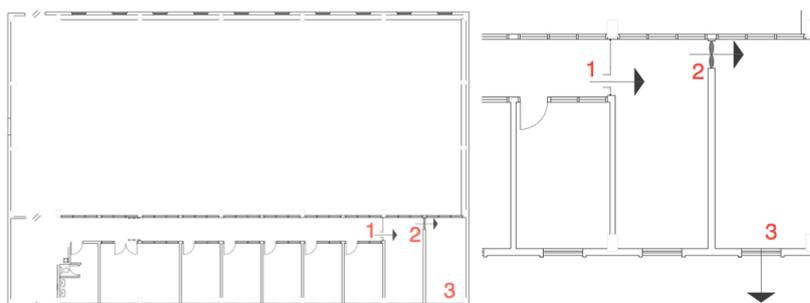


Fig. 1 Instalação experimental n.º 1 (com vista do pormenor à direita)

As instalações experimentais estão apresentadas de acordo com o referencial geográfico. Para os ensaios as condições meteorológicas foram as mais favoráveis, isto é, nos ensaios com ventilação mecânica foram registadas velocidades do vento nulas e, nos ensaios sob a ação do vento, as velocidades médias foram de 1,52 m/s com rumo Norte.

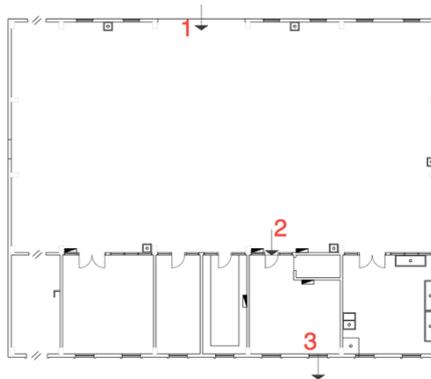


Fig. 2 Instalação experimental n.º 2

Na instalação experimental n.º 1 foi ensaiada uma janela de batente com duas folhas (em várias posições) e, na instalação experimental n.º 2 foi ensaiada uma janela basculante, como se representa na Fig. 3.



Janela de batente com duas folhas



Janela basculante

Fig. 3. Tipos de janelas ensaiadas

2.2 Avaliação da Medição de Caudais

A metodologia proposta baseia-se na determinação do caudal de ventilação através da medição de velocidades pontuais na secção livre do dispositivo de oclusão (ver Fig. 4). Para tal, é requerido que a velocidade seja tanto quanto possível uniforme, sendo o regime do escoamento na referida secção turbulento. Deste modo, efetuou-se uma verificação inicial com o intuito de se aferir o regime do escoamento e o perfil de velocidades obtido para duas velocidades de funcionamento do ventilador.

A determinação dos regimes de funcionamento foi efectuada com base na expressão do número de Reynolds para secções rectangulares [11], equação (1), onde: V é a velocidade do escoamento; ν é a viscosidade cinemática do ar $1,5 \times 10^{-5} m^2/s$; A é a secção de passagem; e P é o perímetro da secção de passagem.

$$Re = \frac{v \cdot D_h}{\nu} \text{ com } D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \quad (1)$$

As velocidades médias registadas para as duas velocidades de funcionamento do ventilador foram de $1,10 \text{ m/s}$ e $3,25 \text{ m/s}$ e, utilizando a dimensão da abertura ($1,40 \times 0,36 \text{ m}^2$) e da janela na posição a) ($1,29 \times 1,04 \text{ m}^2$), foram obtidos os resultados que são apresentados no Quadro 1.

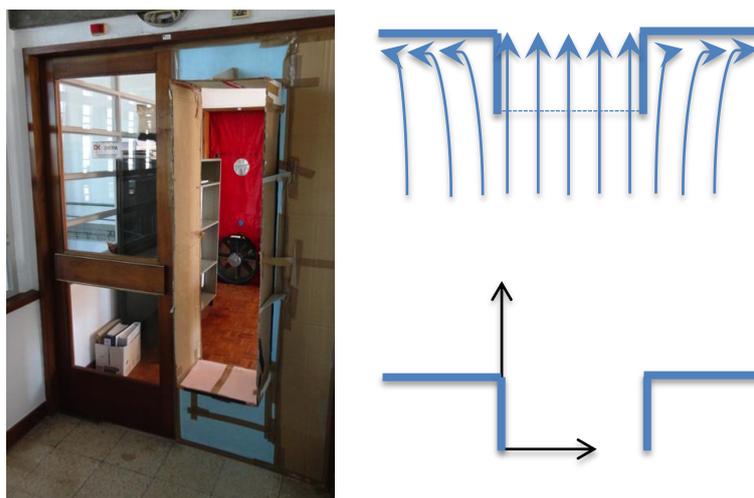


Fig. 4 Dispositivo de oclusão; escoamento na secção de passagem e referencial ortogonal

Com estes resultados verifica-se que, para ambas as velocidades de funcionamento do ventilador, o escoamento obtido estava no regime turbulento completamente desenvolvido; deste modo, é de esperar que a forma dos perfis de velocidade seja semelhante para os caudais compreendidos entre estes dois limites. Para estas condições, os perfis de velocidade obtidos, adimensionalizando pela velocidade média, são os indicados na Fig. 5 e o referencial está de acordo com o indicado na Fig. 4. Nessa figura a azul representa-se o resultado da medição realizada com o anemómetro de fio quente TA5 para números de Reynolds elevados, a vermelho o resultado da medição realizada com o anemómetro de fio quente TA5 para números de Reynolds reduzidos e a verde o resultado da medição realizada com o anemómetro de fio quente TSI 8455 para números de Reynolds elevados.

Quadro 1. Regime do escoamento na abertura e na janela

Velocidade média [m/s]	Re_{abertura}	Re_{janela}
1,10	$4,57 \times 10^4$	$6,34 \times 10^4$
3,25	$1,34 \times 10^5$	$1,86 \times 10^5$

Com estes resultados verifica-se que a velocidade média do escoamento através do dispositivo de oclusão é aproximadamente igual à velocidade medida no ponto central da sua secção, pelo que a determinação dos caudais, com base na medição de um número reduzido de pontos (no limite somente o ponto central) é possível e o erro cometido não é significativo pois, com a utilização de diferentes anemómetros e variando o número de Reynolds do escoamento os perfis de velocidade não apresentaram uma variabilidade significativa. Deste modo, a estimativa dos caudais, para a determinação dos coeficientes de perda de carga (ξ), foi efetuada com a medição da velocidade na zona central e a estimativa do caudal de ventilação insuflado pela abertura através da equação (2). A estimativa dos caudais de ventilação, na insuflação, é de $2.200 \text{ m}^3 \text{ h}$ e $6.500 \text{ m}^3 \text{ h}$ para a primeira e segunda velocidades ensaiadas, respectivamente.

$$Q = \bar{V} \times A \quad (2)$$

Os anemómetros de fio quente utilizados são do tipo Airflow TA5 e TSI 8455 e, estes últimos encontram-se ligados a um sistema de aquisição de dados do tipo DataTaker DT800 que efectua o registo das velocidades em tensão (mV) para cada um dos anemómetros. O valor final resulta da média temporal desse conjunto de medições instantâneas e posterior conversão do valor de tensão para velocidade [m/s]. Os anemómetros foram previamente calibrados e a estimativa de incerteza para a medição é de $U_{95\%} = 0,07 \text{ m/s}$ para os anemómetros do tipo TA5, e de $U_{95\%} = 0,03 \text{ m/s}$ para os anemómetros do tipo TSI 8455.

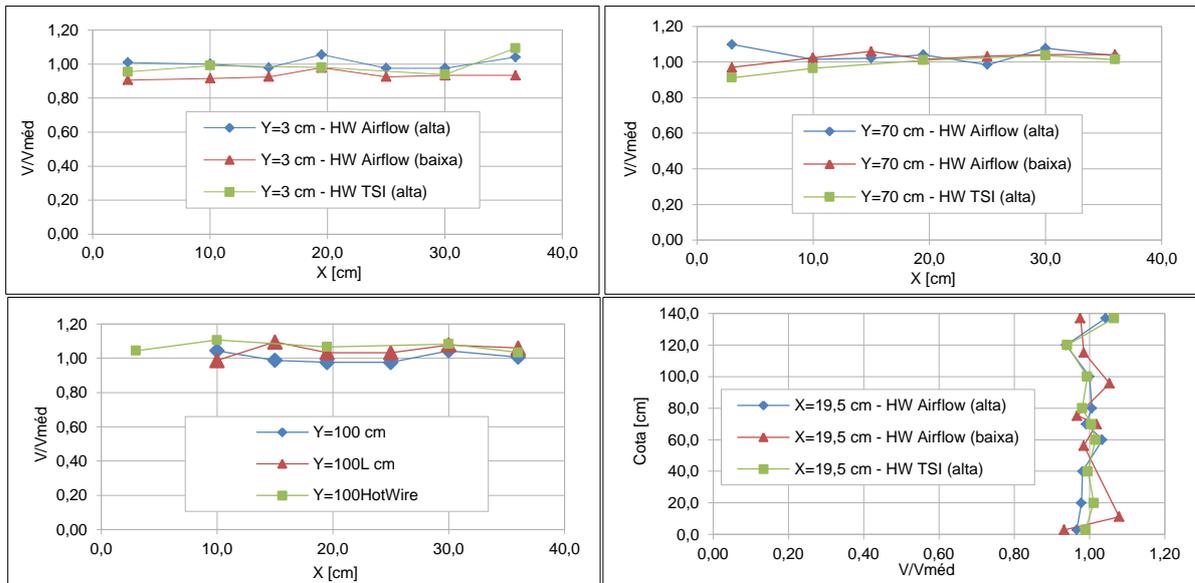


Fig. 5. Perfil de velocidades adimensionalizado pela velocidade média.

2.3 Determinação dos Coeficientes de Vazão com Ventilação Mecânica

A estimativa do caudal de ar que passa através de uma janela pode ser efectuada pela equação (2), sendo V a velocidade do escoamento na janela e A a secção mínima de passagem da referida janela. A velocidade pode ser estimada através da equação (3), ou seja, a partir das medições da diferença de pressão (ΔP) entre o interior do compartimento e o exterior, na secção da janela.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho V_{janela}^2 \quad (3)$$

Todavia, os valores indicados nas equações (2) e (3) para a área e para a velocidade têm de ser afectados pelo coeficiente de contração (C_c) e pelo coeficiente de atrito (C_v), respectivamente. O produto dos coeficientes corresponde ao coeficiente de vazão (C_d) que é relacionável com o coeficiente de perda de carga através da expressão $C_d = 1 - \bar{\xi}$ [4]. Deste modo, a equação (2) pode ser reescrita como se indica na equação (4).

$$Q_{janela} = C_d \cdot A_{janela} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P_{janela}}{\rho}} \quad (4)$$

Pela equação da conservação de massa, o caudal na secção da abertura do dispositivo de oclusão é igual ao caudal que passa na secção da janela; deste modo, o coeficiente de vazão pode ser determinado através da equação (5).

$$C_d = \frac{A_{abertura} \cdot V_{abertura}}{A_{janela} \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P_{janela}}{\rho}}} \quad (5)$$

A avaliação dos coeficientes de vazão nesta condição foi realizada para uma janela de peitoril com duas folhas (ver Fig. 3) e as folhas foram colocadas em quatro configurações diferentes, como indicado na Fig. 6, com as persianas exteriores enroláveis completamente recolhidas.

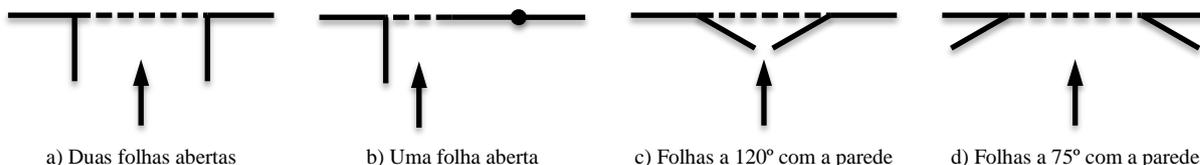


Fig. 6. Configurações ensaiadas relativas às folhas (a seta indica o sentido do escoamento, do interior do edifício para o exterior)

Com as folhas na posição a) avaliou-se a influência das persianas exteriores enroláveis, colocando-as nas posições de 1/3, 2/3 e 3/3, como se indica na Fig. 7. A avaliação da sua influência foi efectuada de dois modos:

- (i) Mantendo a área da configuração a) determinou-se qual o coeficiente de vazão associado;
- (ii) Mantendo o coeficiente de vazão da configuração a) determinou-se qual uma área livre correspondente.

Após a aferições das condições para a determinação dos caudais na secção de admissão de ar, observou-se que era necessário dar uma ênfase especial à determinação da diferença de pressão, através da localização das tomadas de pressão exteriores, pois estas iriam estar sujeitas a ação do vento. A primeira abordagem consistiu em medir a pressão exterior num ponto mas, com os resultados dos ensaios preliminares verificou-se que as pressões quando comparadas com um mesmo referencial variavam significativamente entre os diversos pontos de medição, ver Fig. 8. Para se anular a variação devida à ação do vento, colocaram-se as tomadas de pressão em redor de toda a janela (ver imagem esquerda da Fig. 10); essas tomadas de pressão foram ligadas a um pleno de modo a se obter uma média da pressão exterior atuante na janela. As aberturas das tomadas de pressão foram colocadas perpendiculares à parede para se evitar pressões dinâmicas que possam ser geradas pelo escoamento que ocorre na janela, como se ilustra na Fig. 9.



Fig. 7. Configurações ensaiadas relativas às persianas exteriores enroláveis

O posicionamento da tomada de pressão interior também foi analisado e compararam-se os resultados obtidos para a tomada de pressão interior no centro da sala com tomadas de pressão colocadas no peitoril da janela e junto ao chão nesse mesmo plano. Verificou-se que as tomadas de pressão colocadas junto à janela apresentavam valores próximos entre si e concordantes com as indicações dadas nos trabalhos de [3] e [6]. Os valores obtidos com a tomada de pressão no centro da sala eram mais baixos e os coeficientes de descarga eram mais elevados que os indicados nas referências bibliográficas. Deste modo, para os restantes ensaios, a tomada de pressão interior considerada foi a que estava junto ao chão no plano da janela.

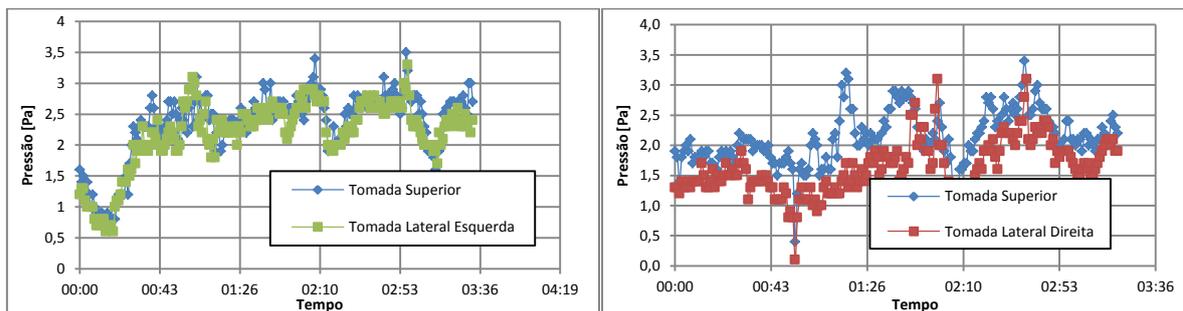


Fig. 8 Variação de pressão nas tomadas de pressão exterior

Os micromanómetros utilizados são do tipo Airflow TA460 e o valor final da pressão resulta da média temporal desse conjunto de medições instantâneas. Os micromanómetros foram previamente calibrados e a estimativa de incerteza para a medição é de $U_{95\%} = 0,31 Pa$. Os resultados obtidos estão indicados e comentados na secção 3.1.

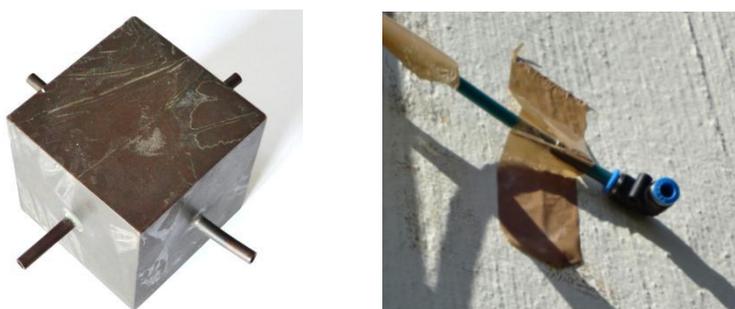


Fig. 9 Pleno e posicionamento das tomadas de pressão

2.4 Determinação dos Coeficientes de Vazão com Ação do Vento

Os ensaios para a determinação dos coeficientes de vazão na instalação experimental 2 foram efectuados com condições meteorológicas particularmente favoráveis, pois o vento era moderado com rumo Norte, criando condições para a avaliação sem recurso a ventilação mecânica. Colocaram-se as tomadas de pressão exterior, interior, o dispositivo de oclusão da abertura e os anemómetros como indicados na Fig. 10 e, para intensificar o caudal de ar, abriu-se o portão norte (ver Fig. 2). Efectuou-se o registo temporal da diferença de pressão entre o interior do compartimento e o exterior, bem como o registo da velocidade do escoamento na secção da abertura com anemómetros a duas cotas distintas.

O coeficiente de vazão foi calculado de acordo com a equação (5) e a área, que de acordo com muitos autores é o factor mais difícil de se considerar, foi calculada de acordo com as recomendações dadas em [6] e toma o valor de $A=0.173 m^2$. Os resultados obtidos para as velocidades e pressões estão indicados na Fig. 11.

Verificou-se que os registos de pressão e velocidade, após conversão em pressão dinâmica, apresentavam um desfasamento temporal devido à compressibilidade do ar e ao enchimento/vazamento do compartimento. Para ser possível minimizar o erro na determinação do coeficiente de vazão foi necessário modelar adequadamente este fenómeno físico. Considerando que o sistema é de primeira ordem e tomando a resposta a um degrau é possível estimar, através da equação (6) [12], qual a constante de tempo associada a esse desfasamento (τ), sendo a mesma também designada por tempo de enchimento; Δt é o intervalo de tempo que, para o presente caso é de 1 segundo, os índices superiores designam o instante de tempo i e $i+1$. Para o cálculo foi efectuada uma regressão não linear, pelo método dos mínimos quadrados, que visou minimizar a diferença entre as pressões.

$$P_{din}^{i+1} = \xi \left(P_{janela}^{i+1} - P_{din}^i \right) \cdot 1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} + P_{din}^i \quad (6)$$



Fig. 10 Instrumentação da instalação experimental n.º 2

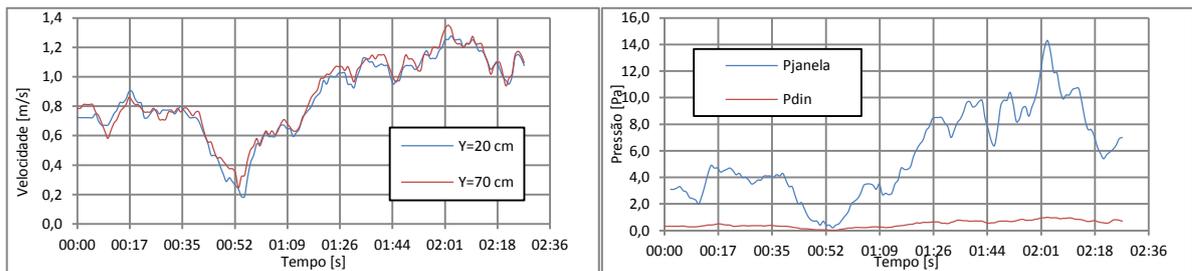


Fig. 11 Comparação de velocidades e pressões num período de ensaio

Os resultados obtidos para as pressões após o ajuste estão indicados na Fig. 12. Observa-se que a sobreposição dos valores é adequada e o valor da constante de tempo associada ao desfaseamento é $\tau \approx 1,0$ s com um erro médio entre pressões de 0,25 Pa.

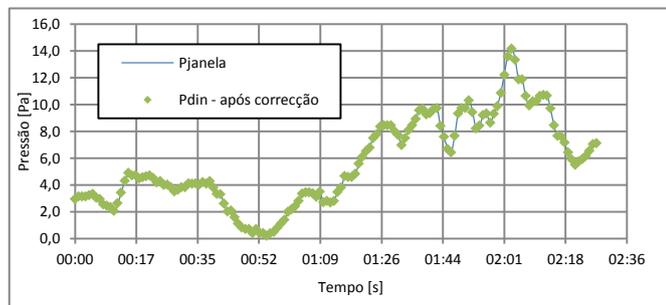


Fig. 12 Sobreposição dos valores de pressão após ajuste

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio com Ventilação Mecânica

Os resultados obtidos para os ensaios com ventilação mecânica, com as persianas exteriores completamente recolhidas, estão indicados no Quadro 2. Observa-se que o valor do coeficiente de vazão (C_d) varia consideravelmente em função da posição da abertura das folhas e, comparando a configuração a) e d), cuja secção de passagem é igual, verifica-se que na configuração d) o valor de C_d é superior, indicativo de uma menor perda na conversão da pressão dinâmica em energia cinética. De facto, nos resultados obtidos encontra-se reflectido que a forma como se faz o escoamento na secção de passagem é determinante para o valor de C_d . Um exemplo disso é a configuração c) em que, embora a secção de passagem seja superior às restantes configurações (determinada de acordo com [6]), o valor do C_d é reduzido devido à forma como se dá o escoamento nessa configuração. Estes resultados, embora determinados com recurso a um ventilador mecânico numa instalação à escala real, estão concordantes com as referências bibliográficas [3], [6] [7] e [8] cujos resultados foram obtidos em túnel de vento e em simulações numéricas.

Quadro 2. Resultados relativos à posição das folhas da janela

Configuração	ΔP [Pa]	$V_{abertura}$ [m/s]	A_{janela} [m ²]	C_d
a)	2.40	4.10	1.342	0.773
b)	9.33	3.95	0.671	0.753
c)	6.05	3.99	1.420	0.447
d)	2.07	4.00	1.342	0.810

Os resultados do estudo da influência das persianas exteriores enroláveis estão indicados no Quadro 3 e verificou-se que os mesmos estão coerentes entre si, isto é, com a imposição de uma secção de passagem constante, com o encerramento das persianas exteriores para as várias posições estudadas o valor de C_d também reduziu e, efetuando a análise de modo a se obter uma secção de passagem equivalente, mantendo constante o valor de C_d para a configuração a), verifica-se que a secção equivalente de passagem vai tomando valores menores.

Quadro 3. Resultados relativos à variação da posição das persianas exteriores enroláveis

	Configuração	ΔP [Pa]	$V_{abertura}$ [m/s]	A_{janela} [m ²]	C_d
Área constante	1/3	4.54	3.94	1.342	0.539
	2/3	6.14	3.90	1.342	0.459
	3/3	7.40	3.84	1.342	0.416
C_d constante	1/3	4.54	3.94	0.922 (69%)	0.773
	2/3	6.14	3.90	0.792 (59%)	0.773
	3/3	7.40	3.84	0.721 (54%)	0.773

3.2 Ensaio com Ação do Vento

Nos ensaios para a determinação do coeficiente de vazão quando sujeito à ação do vento, indicado na secção 2.4, verifica-se que as velocidades medidas a diferentes cotas na secção de passagem do dispositivo de oclusão são similares, coerentes com um perfil de velocidades uniforme. Deste modo, e após o referido ajuste temporal das pressões, determinou-se um valor médio do coeficiente de vazão de $C_d = 0.81$ com um desvio padrão de 0,088. Nas referências bibliográficas é possível estabelecer um paralelo com o trabalho de Heiselberg [6] e, embora o trabalho deste tenha sido desenvolvido em túnel de vento, observa-se que os resultados obtidos “in situ” são semelhantes.

4 CONCLUSÕES

No presente estudo desenvolveram-se metodologias, por meios passivos (usando a ação do vento) e por meios ativos (usando um ventilador), para a medição do coeficiente de vazão de janelas abertas “in situ”. Face aos

resultados obtidos, as metodologias sugeridas para a determinação dos coeficientes de vazão em medições “in situ” no âmbito dos trabalhos do projecto de investigação ENVIRH apresentam um grande potencial, desde que as considerações efetuadas sobre o regime do escoamento e o perfil de velocidades sejam asseguradas.

Este estudo será prosseguido através da consolidação da técnica de medição do coeficiente de vazão, exclusivamente com recurso à acção do vento, que será realizado através de ensaios comparativos na instalação n.º 1. Seguidamente proceder-se-á à sua aplicação para medição expedita dos coeficientes de vazão em creches, de forma a permitir uma simulação computacional mais exacta da ventilação destas edificações em períodos com as janelas abertas. Este desenvolvimento é particularmente importante, uma vez que se constatou, no âmbito do projecto ENVIRH, que numa parte significativa do tempo a ventilação é assegurada através da abertura das janelas.

5 AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

1. R. Aynsley, Estimating summer wind driven natural ventilation potential for indoor thermal comfort, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 83 515-525, 1999.
2. C. R. Chu, A laboratory experiment of shear-induced natural ventilation, *Journal of Energy and Buildings* 43 2631–2637, 2011.
3. C. R. Chu, An experimental study of wind-driven cross ventilation in partitioned buildings, *Energy and Buildings* 42 667–673, 2010.
4. F. M. Silva, Ventilação natural em edifícios – Turbulência atmosférica, Dissertação para *Doutoramento em Engenharia Mecânica*, Lisboa, 2003.
5. R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
6. P. Heiselberg, Characteristics of airflow from open windows, *Building and Environment* 36 859–869, 2001.
7. H. Kotani, Inflow Direction at Large Opening of Cross Ventilated Apartment Building, *Proc. RoomVent2004 - Book of Abstracts - RoomVent2004*, pp. 301-302, Coimbra, 5-8 de September de 2004.
8. Y. H. Chiu, External flow effects on the discharge coefficients of two types of ventilation opening, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95 225–252, 2007.
9. J. Seifert, The effect of wall porosity on the flow rate in a building ventilated by cross wind, *Proc. RoomVent2004 - Book of Abstracts - RoomVent2004*, pp. 321-322, Coimbra, 5-8 de September de 2004.
10. ASHRAE Fundamentals 2005
11. F. M. White, *Fluid Mechanics – 4th edition*, McGraw-Hill, 2001
12. J. C. Viegas, Segurança contra incêndio em edifícios – Modelação matemática de incêndios e validação experimental, Dissertação para *Doutoramento em Engenharia Mecânica*, Lisboa, 1999.