

Sistemas de Ventilação Natural em Edifícios de Habitação.

Requisitos para a sua Modelização

Manuel Pinto

*Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
mpinto@estv.ipv.pt*

João Viegas

*Laboratório Nacional de Engenharia Civil
jviegas@lnec.pt*

F. Marques da Silva

*Laboratório Nacional de Engenharia Civil
fms@lnec.pt*

Vasco P. de Freitas

*Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
vpfreita@fe.up.pt*

Área Científica - CT 7 Construção

Resumo

A ventilação constitui uma parcela significativa das perdas térmicas, no período de inverno, o que conduz a uma necessidade de minimizar os caudais. No entanto, é absolutamente necessária para garantir a qualidade do ar interior, a segurança dos utilizadores e o controlo dos riscos de condensações. Em Portugal, tem-se evoluído no sentido de reduzir a permeabilidade ao ar das caixilharias e da instalação de dispositivos de extração de ar nas cozinhas e instalações sanitárias que, muitas vezes não sendo acompanhados das necessárias admissões de ar novo, não podem garantir o número mínimo de renovações de ar necessárias. Recentemente realizaram-se, entre outros, ensaios de caracterização da permeabilidade ar dos componentes do sistema de ventilação e obtenção dos coeficientes de pressão de um edifício multifamiliar. Estes dados são necessários para, nomeadamente, conceber tendências de melhoria da envolvente (ex.: janelas e caixas de estores) e realizar simulações com dados fiáveis. Esta comunicação apresenta os resultados dos ensaios realizados.

Palavras-chave: habitações, permeabilidade ao ar, sistemas de ventilação, RPH_{50} , coeficientes de pressão modelização.

1. Introdução

Os sistemas de ventilação assumem uma grande importância na definição das condições higrotérmicas e na qualidade do ar interior dos edifícios. São absolutamente necessários para a remoção dos poluentes e da humidade produzida pela utilização dos edifícios, bem como para garantir os níveis de oxigénio necessários ao metabolismo humano e aos aparelhos de combustão.

Excluindo os sistemas de ventilação mecânica de caudal variável que permitem mais facilmente otimizar a qualidade do ar interior e a conservação de energia, considera-se que os sistemas de ventilação natural/mistos, baseados no princípio da ventilação geral e permanente, podem constituir soluções de grande interesse, devido à sua grande simplicidade.

Com o objetivo de caracterizar experimentalmente o funcionamento destes sistemas o Laboratório de Física das Construções - LFC, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, em colaboração com a Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, desenvolveram um estudo experimental sobre edifícios de habitação desocupados e ocupados, localizados no grande Porto, de modo a ser possível definir regras de conceção e dispor de metodologias de quantificação do desempenho destes sistemas.

A metodologia adotada envolveu o ensaio em laboratório para a caracterização formal dos componentes (dos edifícios e da instalação de ventilação), ensaio em obra de componentes individuais para apreciar o seu desempenho em condições reais, a medição da permeabilidade ao ar global de apartamentos e a caracterização experimental (em laboratório) da ação do vento sobre os edifícios (determinação de coeficientes de pressão em túnel de vento). Realizaram-se ensaios de permeabilidade em cinco apartamentos, pertencentes a um mesmo edifício, com características construtivas idênticas. Estes dados são necessários para, nomeadamente, conceber tendências de melhoria da envolvente (ex.: janelas e caixas de estore) e realizar simulações com dados fiáveis.

2. Descrição do edifício e do sistema de ventilação

Selecionou-se um conjunto de edifícios multifamiliares de 4 pisos [1], localizados em Areias - Gondomar, incluídos no programa de habitações a custos controlados (PER). O conjunto habitacional apresenta as seguintes características (Fig. 1 e Fig. 3):

- edifícios com 4 pisos e 94 apartamentos, no total;
- apartamentos do tipo T1, T2 e T3 (maioritariamente do tipo T2) com pé-direito aproximado de 2,5 m;
- apartamentos com diferentes orientações (entradas orientadas a SE, NW e NE);
- sistema de ventilação natural (solução base).



Figura 1 - Vista parcial do empreendimento selecionado.

O sistema de ventilação proposto pelo projetista apresentava as seguintes características:

- admissão de ar por grelhas autorreguláveis sob a caixa de estore a uma altura aproximada de 2 m; uma grelha por quarto e duas grelhas na sala de “módulo” 30 - caudal de referência (m^3/h) sob a diferença de pressão de 20 Pa. Não respeita o especificado na NP 1037-1: 2002 [2], esta refere que o caudal de referência é obtido para uma diferença de pressão de 10 Pa;
- admissão de ar por grelha fixa na porta exterior da cozinha (confinante com varanda) instalada na zona inferior da porta com dimensões de $55 \times 16,5 \text{ cm}^2$;
- extração da instalação sanitária com grelha fixa “corrente” plástica posicionada a aproximadamente 2,1 m do pavimento (área bruta de $15 \times 15 \text{ cm}^2$ e área útil aproximada de 26 cm^2); conduta de PVC de $\phi 110$ nos T2 e $\phi 125$ nos T3, com saída de evacuação de ar a aproximadamente 1,0 m acima do nível da cobertura em terraço (lajetas de cobertura em betão);
- extração do fogão por conduta individual metálica ($\phi 150$) situada a 1,95 m do pavimento com saco metálico ($62 \times 60 \times 72 \text{ cm}^3$) e saída de evacuação de ar a aproximadamente 1,0 m acima do nível da cobertura (lajetas de cobertura em betão);
- extração do esquentador ($\approx 19,1 \text{ kW}$), situado junto à janela da cozinha, por conduta metálica situada a 2,25 m do pavimento e saída de evacuação de ar a aproximadamente 1,0 m acima do nível da cobertura (lajetas de cobertura em betão); conduta coletiva, sem ramais individuais, de $\phi 175$ para os três primeiros pisos e individual de $\phi 125$ para o último piso.

Na fase de realização dos ensaios, complementou-se o projeto com a instalação, em alguns apartamentos, de ventiladores estáticos e grelhas de passagem de ar nas portas das cozinhas e instalações sanitárias (área útil de 247,5 cm²).

A Fig. 2 mostra alguns dos dispositivos implementados nos apartamentos.



a) Ventilador estático na conduta da instalação sanitária.



b) Grelha autorregulável instalada nos quartos e sala.



c) Grelha instalada na porta exterior da cozinha.



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

Figura 2- Dispositivos implementados.

Os elementos que não fazendo parte diretamente do sistema de ventilação, mas que, no entanto, o influenciam, apresentavam as seguintes características:

- portas dos quartos em aglomerado de madeira com vedantes de borracha nas folgas laterais e superior e folgas inferiores com altura média de 0,4 cm quando fechadas (sob a porta posicionava-se o bite de transição entre o pavimento cerâmico e o pavimento flutuante em madeira dos quartos);
- portas da cozinha e instalação sanitária em aglomerado de madeira com vedantes de borracha nas folgas laterais e superior e folgas inferiores com altura média de 0,8 cm (sem bite);
- porta principal em madeira maciça com vedantes de borracha nas folgas laterais e superior e soleira rebaixada 1 cm para o interior;
- caixa de estore em poliestireno expandido (EPS) com tampa horizontal em aglomerado de madeira nos quartos e sala;
- janelas de correr (vidro simples) com 2 folhas e permeabilidade ao ar ensaiada no LNEC pertencendo à antiga classe A3 (melhor classe de permeabilidade ao ar segundo o sistema de classificação das Directivas UEAtc para Homologação de Janelas [3], em uso em Portugal à data do início deste estudo).

Comparando os requisitos da NP-1037-1: 2002 [2], com o sistema de ventilação projetado e implementado, poderá concluir-se, nomeadamente, o seguinte:

- a admissão de ar está ligeiramente subdimensionada;
- a conduta da instalação sanitária é de secção reduzida;

- a grelha de extração da instalação sanitária tem uma área útil inferior em cerca de 80% em relação à área recomendada;
- as folgas das portas, quando fechadas, são de secção bastante reduzida;
- a conduta coletiva de exaustão do esquentador, sem ramais individuais, não é uma solução prevista/recomendável, nem a secção da conduta para três pisos é suficiente;
- a entrada de ar suplementar na cozinha, através da porta exterior, não é necessária em função do sistema de ventilação conjunta implementado.

Em face das incorreções encontradas correntemente em projetos de ventilação natural é premente aquilatar as consequências das mesmas no desempenho dos sistemas. Sendo assim, levou-se a efeito uma campanha experimental que teve como objetivo caracterizar o desempenho dos componentes que mais influem no desempenho dos sistemas [4].

3. Ensaios realizados

A campanha experimental realizada teve como objetivo caracterizar os dispositivos instalados, tanto em laboratório (LNEC), como *in situ*.

Os ensaios *in situ* foram executados recorrendo a uma porta ventiladora (modelo Minneapolis Blower Door). A obtenção da permeabilidade de componentes recorreu ao método indireto e consistiu essencialmente em obter a diferença de caudal entre duas situações distintas.

Os elementos e dispositivos de construção ensaiados foram os seguintes:

- grelha autorregulável de admissão de ar;
- janela padrão (dos quartos);
- grelha de extração de ar das instalações sanitárias;
- ventilador estático;
- caixa de estore;
- portas interiores e exteriores.

Complementarmente, e na sequência dos ensaios anteriores, determinou-se a permeabilidade global de alguns apartamentos, para uma diferença de pressão de 50 Pa - RPH_{50} . A planta do empreendimento e os apartamentos ensaiados constam da Fig. 3. De modo a caracterizar a ação do vento, também se determinaram os coeficientes de pressão do edifício em estudo.

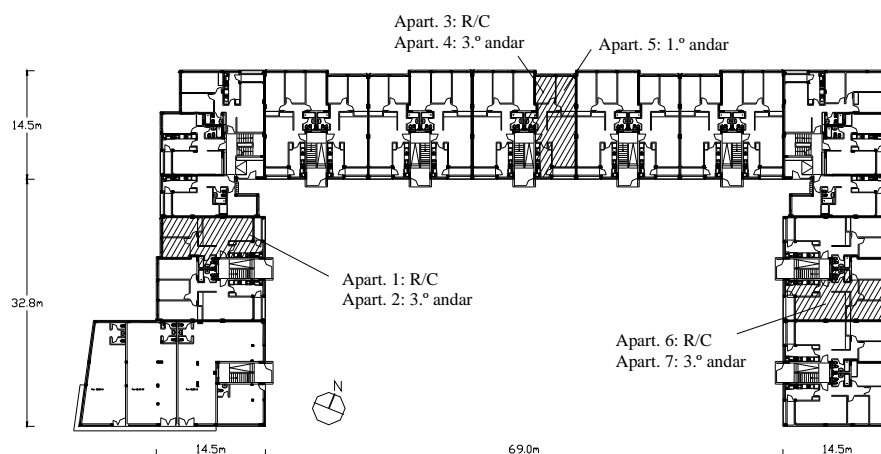


Figura 3 - Localização dos sete apartamentos ensaiados no empreendimento.

4. Resultados dos ensaios - Permeabilidade global dos apartamentos

A obtenção da permeabilidade global dos apartamentos procurou, sempre que possível, seguir a norma EN 13829: 2000 [5], sobre determinação da permeabilidade ao ar de edifícios pelo que, nos ensaios apresentados, as condições meteorológicas não influenciaram significativamente os resultados.

O ensaio de permeabilidade global dos apartamentos foi executado segundo o método B da EN 13829: 2000 [5] (efetuando a oclusão das grelhas da cozinha, instalação sanitária, porta exterior da cozinha e autorreguláveis), equivalente ao método B da ISO 9972: 2006. O resultado deste ensaio encontra-se apresentado na Fig. 4.

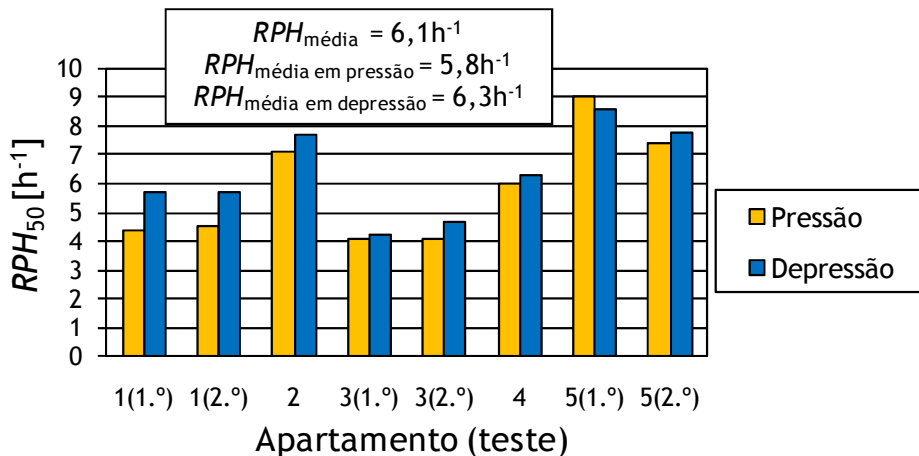


Figura 4 - Permeabilidade global dos apartamentos.

Da observação da Fig. 4 pode concluir-se que o valor da permeabilidade global (RPH_{50}), em cada apartamento estudado, é semelhante para o ensaio de pressão e depressão. Constata-se também que os apartamentos 1 e 3 situados no nível mais baixo apresentam uma permeabilidade mais baixa relativamente aos apartamentos 2 e 5, estes situados a um nível mais elevado (4.º piso).

Apesar de se terem ensaiado apartamentos com as mesmas dimensões, com componentes iguais e processos construtivos iguais, a permeabilidade global apresenta uma grande variação. Regista-se uma variação de RPH_{50} entre $4,4 h^{-1}$ e $9,0 h^{-1}$ para uma média de $6,1 h^{-1}$. De acordo com a norma EN ISO 13790: 2004 [6], para edifícios multifamiliares os resultados obtidos situam-se na classe elevada de permeabilidade ao ar. Esta elevada permeabilidade pode dever-se à variação das dimensões das juntas periféricas das caixas de estores e das juntas inferiores das portas exteriores dos apartamentos.

Na Fig. 5 apresenta-se a distribuição da permeabilidade nos apartamentos 1 e 3, da qual se pode concluir que o componente com maior contribuição para a permeabilidade global ao ar é a caixa de estore, realçando a necessidade de incrementar a qualidade de projeto e execução deste componente.

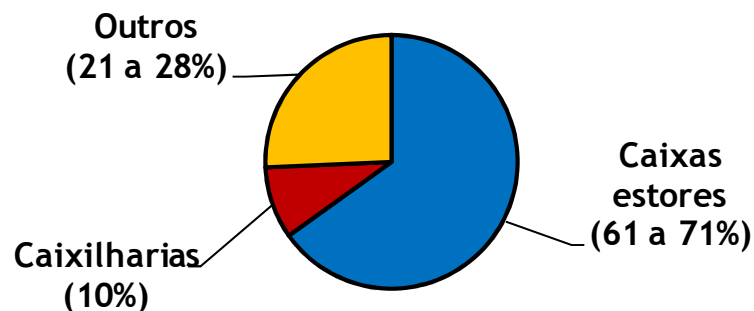


Figura 5 - Distribuição da permeabilidade nos apartamentos 1 e 3 (ensaio em pressão).

A obtenção da permeabilidade de componentes recorreu ao método indireto e consistiu essencialmente em obter a diferença de caudal entre duas situações distintas. Por exemplo, no caso da determinação da permeabilidade de uma janela, esta foi obtida pela diferença entre uma situação inicial, em que o compartimento foi pressurizado (as janelas e portas dos compartimentos adjacentes ficaram abertas), e uma segunda situação, em que a janela foi vedada (selagem de todas as juntas).

As outras vias de permeabilidade ao ar que se enquadram na classificação de “Outros” no gráfico da Fig 5, podem ser, por exemplo, e para este caso (construção típica portuguesa), os sistemas de água, esgotos e eletricidade.

5. Resultados dos ensaios - Permeabilidade dos componentes

Quanto à caracterização individual dos componentes, pode-se concluir, nomeadamente, o seguinte [4]:

- de um modo geral, verifica-se que há alguma discrepância entre os resultados com origens diferentes, nomeadamente, no caso da grelha autorregulável em que os resultados experimentais apresentados pelo fabricante e os determinados em laboratório no âmbito desta investigação divergem para as pressões mais elevadas (o que para o caso da ventilação natural não é muito gravoso, em face das diferenças de pressão serem correntemente baixas); esta discrepância de resultados deveu-se ao deficiente funcionamento da membrana autorregulável;
- o ensaio *in situ* da janela dos quartos, comparativamente aos ensaios realizados pelo fabricante dos perfis e constantes do boletim de ensaios do LNEC, revela que os ensaios realizados sobre o protótipo do fabricante/instalador (caixilheiro) apresentam um aumento significativo da permeabilidade ao ar, o que revela o desfasamento entre as práticas de montagem dos dois intervenientes; este aumento significativo na permeabilidade das janelas montadas em obra deve-se ao desrespeito das instruções técnicas elaboradas pelo fabricante dos perfis;
- a elevada permeabilidade ao ar das portas exteriores, da cozinha e principal, confirmou o que era expectável por inspeção visual destas: a deficiente configuração da junta horizontal inferior conduziu a uma elevada permeabilidade ao ar; em face dos requisitos da NP 1037-1: 2002 [2], este é um dos componentes que deverá merecer mais atenção na fase de projeto e de execução; a baixa permeabilidade das portas interiores, vem realçar a potencial restrição aos fluxos existentes num sistema de ventilação, essencialmente devido às vedações laterais e superior; esta restrição poderá ser obviada com uma junta inferior de maior dimensão ou pela instalação de grelhas de passagem;
- a elevada perda de carga, obtida no desempenho da grelha “corrente” instalada na conduta de exaustão da instalação sanitária, demonstra a importância de uma boa seleção de componentes.

6. Resultados dos ensaios - Determinação em túnel de vento dos coeficientes de pressão nas fachadas e cobertura

O ensaio de determinação dos coeficientes de pressão, C_p , foi realizado num dos túneis aerodinâmicos do LNEC. Os ensaios foram executados sobre um modelo da urbanização, à escala de 1:200 (Fig. 6), incluindo as edificações da vizinhança próxima.

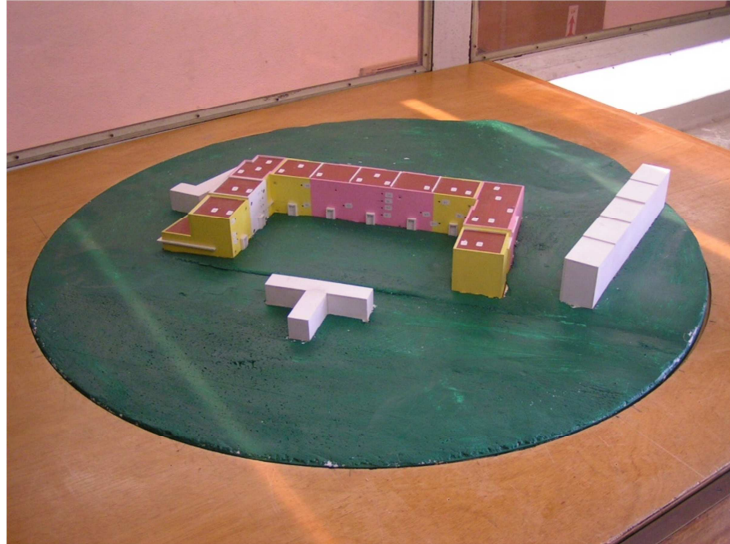


Figura 6 - Modelo da urbanização no túnel de vento.

O objetivo era avaliar a distribuição de pressão nas fachadas e coberturas, expressa pelos respetivos coeficientes de pressão, face a diferentes rumos do vento, pelo que se julga útil apresentar o regime de ventos local tomando por base os registos obtidos pelo Instituto de Meteorologia na Serra do Pilar ($\approx 4,4$ km do local), à cota de 10 m acima do nível do solo, no período que decorreu entre 1978 e 1992 (Fig. 7).

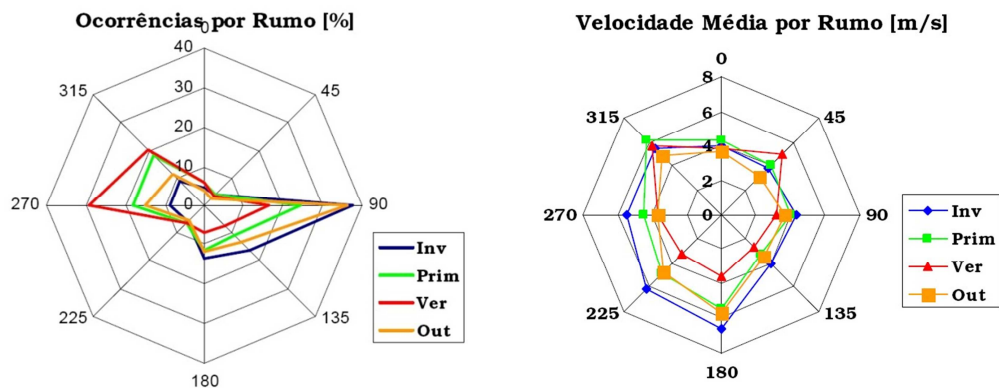


Figura 7 - Rosa-dos-ventos e distribuição da velocidade média do vento por rumo para a Serra do Pilar [7].

A forma de determinação dos coeficientes de pressão encontra-se descrita pormenorizadamente em [7].

Na Fig. 8 mostra-se, a título de exemplo, o resultado obtido para uma das incidências (este), sendo o conjunto da totalidade dos ensaios apresentado em [7]. As escalas dos eixos das representações das distribuições dos valores de C_p referem-se às percentagens dos comprimentos de fachada respetivos. A negro apresentam-se os valores pontuais dos coeficientes de pressão na fachada principal (fachada orientada a Sueste), bem como a estimativa de distribuição de C_p para toda a fachada. A amarelo apresentam-se os valores pontuais dos coeficientes de pressão na fachada posterior (assinalada na planta com a mesma cor). O indicador de rumo à direita da figura indica a incidência do vento sobre a fachada.

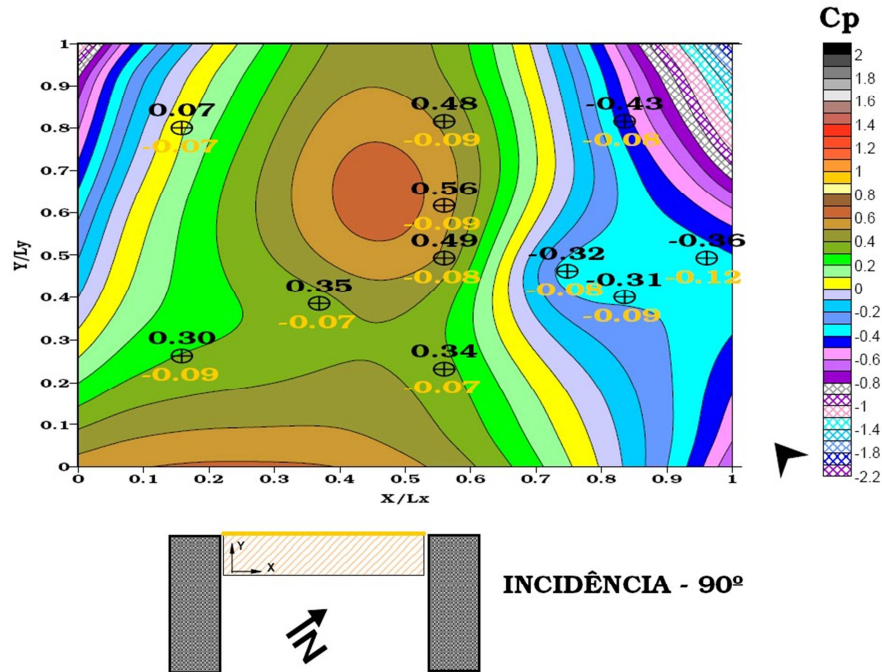


Figura 8 - Distribuição pontual de C_p (a preto) e contínua na fachada principal (a cores); distribuição pontual de C_p na fachada posterior (a amarelo). Edifício central, assinalado na figura inferior, para a incidência de 90° [7].

A principal razão que justifica a necessidade do conhecimento da distribuição de pressões na envolvente do conjunto de edifícios em estudo prende-se com a ventilação. Neste contexto, a posição da boca de saída das condutas de exaustão de produtos da combustão e da ventilação das instalações sanitárias tem particular relevância. No caso presente, para além das pressões à cota da cobertura, avaliaram-se os coeficientes de pressão para as seguintes cotas acima da cobertura, Fig. 9: 0,0 m (a preto); 0,5 m (a vermelho); 2,0 m (a azul) e 5,0 m (a verde).

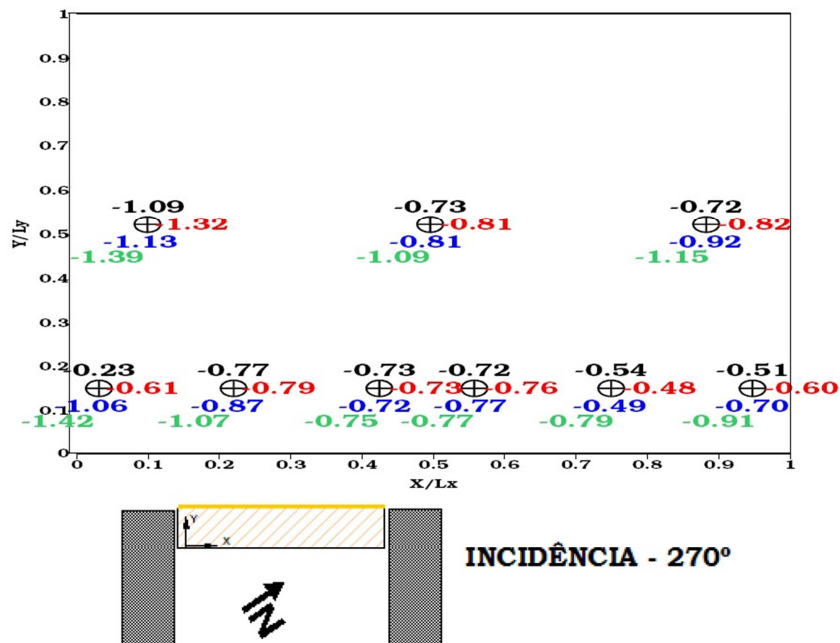


Fig. 9 - Distribuição pontual de C_p na cobertura para o edifício central, assinalado na planta inferior, para a incidência de 270° [6].

A NP 1037-1: 2002 [2] define uma zona de recirculação¹, onde se deve evitar posicionar a boca de saída das condutas de exaustão. No caso em estudo, o posicionamento das bocas de saída não respeita a norma referida (para os apartamentos 3 a 5 situam-se a meio da cobertura representada na Fig. 9); com exceção das situações particulares, uma altura da saída das condutas a 2,0 m é compatível com um posicionamento fora das zonas de recirculação [7].

A distribuição da ocorrência do vento por rumos revela que a maior parte das incidências se situa em rumos opostos, este no inverno e oeste no verão (Fig. 7), o que, para o edifício em estudo, origina incidências oblíquas relativamente ao edifício central. Os resultados dos coeficientes de pressão para estas duas incidências revelam que [7]:

- para o rumo este (incidência de 90°), a fachada voltada para o pátio central (exposta ao vento) tem, simplifadamente, uma distribuição simétrica: à esquerda, pressões, e à direita, sucções; a fachada oposta (posterior) tem sucções (ver Fig. 8);
- para o rumo oeste (incidência de 270°), a fachada voltada para o pátio central tem sucções; a fachada oposta tem pressões positivas, à exceção da fachada do edifício mais à direita.

Em face do exposto, o vento tem papéis opostos, consoante a época do ano ou a fachada em estudo, obtendo-se, genericamente, pressões, quando a fachada está exposta ao vento e sucções, no caso contrário. Os resultados obtidos estão consentâneos com a investigação portuguesa sobre a determinação de coeficientes de pressão em edifícios em “U” [8].

Relativamente ao posicionamento da saída das condutas, verifica-se que a altura é insuficiente. Com exceção das situações particulares, uma altura da saída das condutas a 2,0 m é compatível com o posicionamento definido na NP 1037-1: 2002 [2].

7. Variáveis meteorológicas

Para efeitos de estudos de sistemas de ventilação natural, é necessário ter alguns cuidados com a obtenção de dados relativos à temperatura ambiente, nomeadamente quando se utilizam dados provenientes de estações meteorológicas situadas em zonas rurais ou semirurais. Estas podem registar temperaturas mais baixas que as urbanas, devido ao fenómeno designado por “ilha de calor”, observável em ambiente urbano. Também devido ao mesmo fenómeno, e em condições de vento fraco, pode haver um aumento da velocidade do vento em meio urbano [9].

Na ausência de melhor informação, assume-se, normalmente, que a direção do vento é a mesma que a da estação meteorológica (hipótese mais verosímil para terreno plano), sendo esta considerada horizontal para velocidades superiores a 3-4 m/s (sem influência térmica) [10].

Na adoção de valores de referência devem seguir-se alguns critérios:

- a distribuição de ocorrências por rumos vem associada à distribuição de velocidades (Fig. 7); a consulta desta informação deve ser conjunta, porque um valor significativo de ocorrência pode estar associado uma condição de calma, que retira significado ao rumo [2];
- a escolha da velocidade de referência deverá ser feita de acordo com a variação sazonal própria da zona e, se possível, tendo em conta a probabilidade de ocorrência, obtida a partir de uma análise estatística dos valores registados [11]; para efeitos de ventilação natural, pode considerar-se a velocidade média do vento que é excedida em 50% do tempo [12, 13], obtida em registos com durações compreendidas entre 10 minutos a uma hora [8];
- para a temperatura de referência, pode ser adotado um valor médio mensal [13].

¹ Zona com baixas velocidades e, normalmente, sem direção definida do vento. No interior destas zonas o poder de sucção das chaminés é diminuído.

8. Conclusões

A investigação realizada em Portugal tem efetuado modelação de sistemas de ventilação natural, mecânica, mistos ou híbridos, expondo as potencialidades, vantagens e desvantagens de cada um. Por contraponto, a experimentação *in situ* tem sido bastante reduzida. No entanto, somente com a caracterização experimental dos componentes a implementar se pode atingir uma base sólida de apoio à modelização.

As principais conclusões retiradas dos ensaios são as seguintes:

- os apartamentos apresentam uma elevada permeabilidade ao ar. O componente com maior contribuição para a permeabilidade global ao ar é a caixa de estore;
- a grelha autorregulável pode apresentar um deficiente funcionamento da membrana autorregulável;
- o aumento significativo na permeabilidade das janelas montadas em obra, comparativamente aos ensaios realizados pelo fabricante dos perfis, deve-se ao desrespeito das instruções técnicas elaboradas pelo fabricante dos perfis;
- a deficiente configuração da junta horizontal inferior das portas exteriores, conduziu a uma elevada permeabilidade ao ar;
- a baixa permeabilidade das portas interiores, poderá ser obviada com uma junta inferior de maior dimensão ou pela instalação de grelhas de passagem;
- a grelha “corrente” frequentemente instalada nas condutas de exaustão das instalações sanitárias tem uma elevada perda de carga.
- no caso em estudo, o posicionamento das bocas de saída das condutas na cobertura não respeita o especificado na NP 1037 - 1: 2002.

Com o presente artigo, pretendeu-se dar mais um passo para a implementação do projeto de ventilação, que ainda não faz parte da prática corrente de projeto. Este projeto é indispensável para uma melhoria da qualidade da construção e do conforto higrotérmico no interior dos edifícios de habitação.

Referências

- (1) Pinto, M., Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação. Tese de Doutoramento Submetida à FEUP, 2009.
- (2) 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, Monte da Caparica, 2002.
- (3) Directivas UEAtc para a homologação de janelas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, tradução nº 641, Lisboa, 1976.
- (4) Pinto, M.; Viegas, J.; Freitas, V.: “Air Permeability Measurements of Dwellings and Building Components in Portugal“ Building and Environment (aceite para publicação).
- (5) CEN, Thermal Performance of Buildings. Determination of Air Permeability of Buildings. Fan Pressurization Method. EN 13829, European Committee for Standardization, Brussels, 2000.
- (6) CEN, Energy performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling. EN ISO 13790, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- (7) Silva, F., Caracterização da Distribuição de Pressões na Envoltiva de um Conjunto de Edifícios Situados em Gondomar. Nota Técnica 1/2007-NOE-A, LNEC, 2007.
- (8) Gomes, M., Acção do Vento em Edifícios. Determinação de Coeficientes de Pressão em Edifícios em L e U. Tese de Mestrado Submetida ao IST, 2003.
- (9) Orme, M.; Leksmono, N., Ventilation Modelling Data Guide. AIVC Guide 5, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 2002.
- (10) Saraiva, J.: ” Boundary Layer Above Urban Areas” Contribuição para o Projecto Pascool (EU), LNEC, 1994.
- (11) Silva, F., Ventilação Natural de Edifícios. Turbulência Atmosférica. Tese de Doutoramento Submetida ao IST, 2003.
- (12) Awbi, H., Ventilation of Buildings. 2nd Edition, E & FN Spon, 2003.
- (13) BSI, Code of Practice for Design of Buildings. Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation. BS 5925, British Standards Institution, London, 1991.