

# UTILIZAÇÃO DE CORTINAS DE AR EM ESPAÇOS COMERCIAIS CLIMATIZADOS

Luís P. C. Neto

ADAI, Departamento de Engenharia Industrial da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Avenida do Empresário, 6000-767 Castelo Branco, Portugal ([luisneto@est.ipcb.pt](mailto:luisneto@est.ipcb.pt))

M. C. Gameiro da Silva

ADAI, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra – Pólo II, 3030-290 Coimbra, Portugal

**Abstract:** *This article give details about the techniques and methodologies used to study the influence of some geometric and dynamic parameters on Air Curtain effectiveness. Some results of technical inspections conducted in commercial establishments that use this kind of fence are presented and the energy and finance savings for open public acclimatized spaces is estimated.*

## 1. Introdução

Ao longo dos últimos anos tem-se assistido a um incremento significativo da utilização de aparelhos de cortina de ar como forma de vedar termicamente espaços comerciais climatizados em relação a um meio ambiente exterior. As vantagens decorrentes da aplicação e uso deste tipo de solução são bem conhecidas: limitar, tanto quanto possível, as inevitáveis perdas de energia térmica através de uma porta que se pretende manter sempre aberta e desimpedida, retirando daí todos os benefícios que lhe são subsequentes e que não são aqui contabilizáveis – a estética, a facilidade de acesso e o conforto térmico existente no interior do estabelecimento comercial, encorajam a circulação de clientes e potenciam o aumento das receitas.

A proliferação de cortinas de ar não foi, a nosso ver, acompanhada de um adequado cuidado na sua selecção, instalação e operação, encontrando-se frequentemente instalações que não satisfazem os requisitos exigidos para um bom desempenho. Esta constatação surge na sequência de medições efectuadas numa instalação experimental (as quais permitiram apurar a influência de alguns parâmetros geométricos e dinâmicos sobre a eficácia da vedação conseguida) e de uma campanha de vistorias realizadas a estabelecimentos comerciais que utilizam este tipo de solução.

## 2. Instalação e metodologia experimental

A caracterização da vedação aerodinâmica promovida pelo aparelho de cortina de ar foi

realizada numa instalação experimental à escala real composta por duas salas contíguas e de igual dimensão, ligadas através de uma abertura com a largura típica de uma porta mas de altura variável ( $2.10 < H_p [m] < 2.65$ ). Por cima desta porta foi instalado um aparelho de cortina de ar que gera um jacto de ar plano, descendente e não-recirculado, através de um bocal com 1.20m de largura e 0.04m de espessura.

Durante a fase preparatória de cada ensaio o espaço da porta sob a cortina de ar foi selado por uma película de plástico. Enquanto uma das salas foi mantida à temperatura  $T_F = 20^\circ\text{C}$ , a outra sala foi aquecida até a uma temperatura superior ( $25 < T_Q [^\circ\text{C}] < 35$ ). Os ensaios efectuados para cada ajuste da velocidade inicial ( $0 < U_0 [m/s] < 8$ ) e ângulo de descarga ( $-20 < \alpha_0 [^\circ] < +15$ ) do jacto, iniciam-se no momento em que fica a cargo da cortina de ar a vedação térmica daquela porta.

Para a realização deste trabalho foram utilizadas algumas técnicas experimentais diferentes, mas complementares entre si, que a seguir sucintamente se descrevem. Uma descrição mais detalhada sobre as mesmas pode ser encontrada em Neto (2006).

A medição dos valores de velocidade e de temperatura do ar em zonas considerados de interesse para a percepção dos fenómenos em causa foi efectuada através de uma técnica de “point measuring”. Para o efeito, duas unidades de anemometria térmica de baixa velocidade, num total de dezasseis sondas, foram usadas para fazer um levantamento da distribuição de velocidade e de temperatura do ar ao longo de um plano vertical perpendicular

ao da porta, segundo a malha de medida representada na figura 1.

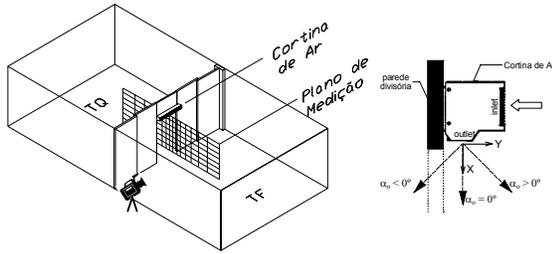


Figura 1 – Malha de medida utilizada para o levantamento dos campos de velocidade e temperatura do ar (esq.); Convenção usada para eixos/ângulos (dir.).

Para todas as situações estudadas foram efectuados varrimentos transversais à porta com o intuito de determinar com exactidão a localização ( $d$ ) do ponto de impacto do jacto no solo. Para o efeito registou-se, com o auxílio de um termo-anemómetro posicionado a 10 mm de distância do chão, a velocidade do ar numa zona de medida que se estendeu até 750 mm para além do plano vertical médio da cortina de ar.

De forma a registar as temperaturas e a visualizar o campo do escoamento na vizinhança do jacto gerado pelo aparelho de cortina de ar foi usada uma técnica de medida do tipo “whole-field” em que o campo de temperaturas do ar é medido indirectamente através de um ecrã de baixa massa térmica que serve de alvo a uma câmara termográfica de infra-vermelhos. Como ecrã de medida usou-se uma folha de papel cenário, mantida perfeitamente esticada na direcção perpendicular à porta sobre a qual estava colocado o aparelho de cortina de ar e paralela à direcção principal do escoamento. A câmara de IR, dotada de um microbolómetro refrigerado sensível à radiação de grande comprimento de onda e com uma sensibilidade térmica inferior a  $0.1^{\circ}\text{C}$ , foi configurada para a detecção de níveis de temperatura próximas do ambiente, quando operada na gama  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+250^{\circ}\text{C}$ . Para que os termogramas fossem registados com um mínimo de distorção, a câmara de IR foi posicionada a 4m de distância do alvo e, tanto quanto possível, na sua perpendicular. Os termogramas obtidos correspondem a um campo de visão de  $2.9\text{m} \times 2.2\text{m}$  com uma resolução espacial de  $9\text{mm} \times 7\text{mm}$ .

Como a avaliação do decaimento da concentração de um gás traçador fornece informações importantes acerca das trocas gasosas ocorridas entre dois compartimentos, um aparelho de espectroscopia foto-acústica de radiação infra-vermelha foi configurado para medir, de minuto a minuto, as concentrações de  $\text{N}_2\text{O}$  que tinha sido previamente libertado e uniformemente diluído na sala “fria”, obtendo-se, posteriormente, a taxa de renovação do ar nesse compartimento. Por definição, a taxa de renovação do ar,  $n$ , representa o número de vezes por unidade de tempo que o volume de ar contido num determinado compartimento fechado é substituído por ar vindo do seu exterior. Se designarmos por  $n_j$  a taxa de renovação do ar que ocorre para uma dada velocidade inicial do jacto ( $U_j$ ) e por  $n_0$  o valor correspondente numa situação em que a cortina de ar se encontra desligada ( $U_0 = 0$ ), pode-se definir o rendimento da vedação ( $\eta_v$ ) e a eficácia do processo de vedação ( $E_v$ ) através das equações:

$$\eta_v = \frac{n_0 - n_j}{n_0} \quad ; \quad E_v = \frac{1}{1 - \eta_v} \quad (1)$$

sendo que  $E_v = 1$  corresponde a um efeito de vedação nulo (porta aberta e cortina desligada), enquanto a vedação ideal (porta hermeticamente fechada) equivaleria a  $E_v \rightarrow \infty$ .

### 3. Resultados experimentais

Os seguintes parâmetros foram variados no presente estudo: a velocidade inicial do jacto ( $U_0$ ), a altura da porta ( $H_p$ ), a diferença de temperaturas entre os dois compartimentos ( $\Delta T$ ) e o ângulo inicial do jacto ( $\alpha_0$ ).

O campo de velocidade obtido ao longo de um plano vertical transversal à porta confirmou que o ar que é inicialmente arrastado da sala oposta é para ela novamente derramado junto ao chão. Por outro lado, os efeitos cumulativos de injeção (geração de uma diferença de pressão entre os dois compartimentos) e de aspiração (impressão de um maior momento angular no compartimento onde se dá a aspiração) fazem o jacto deflectir para o compartimento onde o aparelho se encontra instalado, ainda que o jacto de ar seja inicialmente descarregado na vertical

e/ou que ambas as salas estejam à mesma temperatura (figura 2), acentuando-se nitidamente com o aumento da diferença de temperaturas entre as salas.

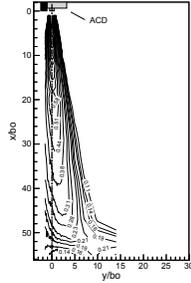


Figura 2 – Distribuições dos iso-contornos de velocidade do ar ao longo de um plano transversal à porta ( $H_p = 2.10m$ ,  $U_0 \approx 5m/s$ ,  $\alpha_0 = 0^\circ$ ).

Esta deflexão natural da cortina de ar deve ser contrariada inclinando o jacto  $15^\circ$  a  $30^\circ$  para o lado “exterior”, conferindo-se maior estabilidade e eficácia à cortina quando se adequa a velocidade inicial do jacto à diferença de temperatura e às dimensões da porta a vedar, conforme se demonstra na figuras 3 e 4.

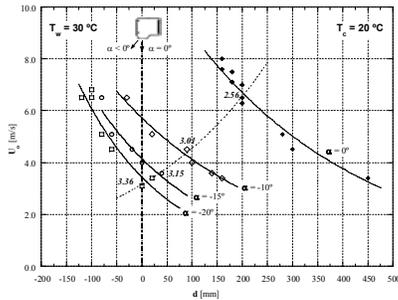


Figura 3 – Efeito do ângulo e da velocidade inicial do jacto sobre a localização dos pontos de impacto da cortina no solo e no valor máximo de eficácia de vedação conseguida ( $H_p = 2.25m$ ,  $\Delta T = 10^\circ C$ ).

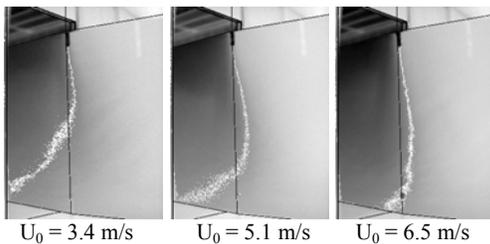


Figura 4 – Sequência de termogramas obtidos para valores crescentes da velocidade inicial do jacto, 300 segundos após o início de cada um dos ensaios efectuados ( $H_p = 2.65 m$ ,  $\Delta T = 10^\circ C$ ,  $\alpha_0 = 0^\circ$ ).

#### 4. Utilização de cortinas de ar em estabelecimentos comerciais climatizados

Uma forma de avaliar o “benefício” resultante das diferentes condições de funcionamento de um aparelho de cortina de ar consiste em estimar a quantidade de energia térmica que é transferida através da porta assim protegida, comparando-a com a energia que seria transferida no caso de a porta permanecer desprotegida (situação de referência). Esta razão de “custos energéticos” é expressa através da equação (2), a qual tem em consideração a potência eléctrica necessária ao funcionamento do motor da cortina de ar:

$$\left(\dot{Q}_j + \dot{Q}_{\text{motor cortina}}\right) / \dot{Q}_0 \times 100 \quad (2)$$

Para a maioria das condições em que são utilizados estes aparelhos, as perdas de energia associadas a estas “fugas” de ar pela porta podem ser razoavelmente estimadas através da componente de calor sensível. No caso de portas desprotegidas,  $\dot{Q}_0$  pode ser calculado através de uma equação proposta por Gosney e Olama (1975), a qual tem em conta não só as características da porta mas também as propriedades térmicas do ar existente de ambos os lados. Nos casos em que a porta se encontra protegida por uma cortina de ar, a “fuga” de calor sensível ( $\dot{Q}_j$ ) pode ser contabilizada através dos valores obtidos nos testes efectuados com gases traçadores:

$$E_v = \frac{n_0}{n_j} = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_j} \rightarrow \dot{Q}_j = \frac{\dot{Q}_0}{E_v} \quad (3)$$

Na tabela seguinte estão compilados os resultados obtidos para os ensaios efectuados com uma porta de 2.65m de altura e para  $10^\circ C$  de diferença de temperatura entre as duas salas.

	$U_0$ [m/s] ( $E_v$ )				
	0.0 (1.0)	3.4 (1.5)	4.5 (3.5)	5.1 (3.1)	6.5 (3.0)
$\dot{Q}$ [W]	7280	4853	2080	2333	2435
$\dot{Q}_{\text{cortina}}$ [W]	–	120	120	120	120
$\dot{Q}_{\text{Total}}$ [W]	7280	4973	2200	2453	2555
[%]	100%	68%	30%	34%	35%

Na configuração de referência, a potência térmica em “fuga” é de quase 7.3kW, mas a entrada em funcionamento da cortina de ar consegue reduzir significativamente a energia térmica em fuga (mesmo não estando devi-

damente regulada) e as poupanças energéticas são ainda mais expressivas quando a velocidade inicial do jacto se aproxima do valor óptimo.

Se o preço da energia eléctrica e o coeficiente de eficiência (COP) da unidade de ar condicionado utilizada para a climatização do espaço interior forem conhecidos, a redução nos custos energéticos pode ser avaliada por:

$$\frac{\dot{Q}_0 - \dot{Q}_j}{\text{COP}} \times \text{€}/\text{kWh} \quad (4)$$

Considerando 0.1€/kWh para o preço da electricidade e um COP de 2.9, cada hora de funcionamento representa uma poupança de cerca de 0.18€ em relação à situação em que a porta se encontra aberta e desprotegida. Como a este valor há a acrescentar um custo de 0.012€/hora devido aos 120W do motor da cortina, a factura horária aparecerá diminuída em cerca de 0.167€, o que, num estabelecimento comercial que funcione de porta aberta, 8 horas por dia e 22 dias por mês, se traduz na amortização do investimento inicial da aquisição/montagem do aparelho de cortina de ar em cerca de 5 meses!

Para se apurar das reais condições de instalação e de funcionamento dos aparelhos de cortina de ar Centeio *et al.* (2005) efectuaram uma série de vistorias a estabelecimentos comerciais que aplicam este tipo de solução. Os dados recolhidos em 36 visitas efectuadas deram uma visão não muito animadora das verdadeiras condições em que estes aparelhos funcionam uma vez que apenas 4 desses estabelecimentos puderam ser classificados como possuindo uma “boa instalação”. Nos restantes 32 foram detectadas deficiências e/ou insuficiências de vária ordem que a seguir resumidamente se explicitam.

**Deficiência 1:** Má selecção do aparelho de cortina de ar. Exemplo: aparelho com bocal de descarga de comprimento manifestamente insuficiente face à largura da porta que se pretende vedar. Consequência: escape de importantes massas de ar através de um ou de ambos os lados do jacto de ar.

**Deficiência 2:** Instalação incorrecta do aparelho de cortina de ar devido a impedimentos físicos e/ou a razões estéticas. Exemplo: bocal de descarga demasiado afastado em relação à

ombreira da porta que se pretende vedar. Consequência: escape e/ou entrada de importantes massas de ar por detrás do próprio jacto.

**Deficiência 3:** Inadequada selecção da velocidade inicial do jacto face às recomendações dos fabricantes das cortinas de ar e/ou por comparação com os resultados obtidos em laboratório para condições análogas. Consequência: a cortina de ar não consegue evitar o escape de importantes massas de ar por debaixo de um jacto “quebrado” (insuficiência); além do consumo excessivo de energia eléctrica, é o próprio aparelho de cortina de ar que fomenta o arrastamento e a mistura das diferentes massas de ar, incrementando ele próprio a energia térmica transferida através da porta que se pretendia inicialmente vedar (excesso).

**Deficiência 4:** Inexistência da possibilidade de se alterar o ângulo de descarga do jacto (maior percentagem), ou havendo essa possibilidade (4 casos), esse ajuste não ter sido efectuado. Consequência: impossibilidade de se contrariar a deflexão natural do jacto, obtendo-se jactos “quebrados” ou com ponto de impacto situado demasiado distante da ombreira da porta a vedar, levando em ambos os casos à anulação do efeito de vedação na parte inferior da porta.

**Deficiência 5:** Existência de “obstáculos” muito próximos ou mesmo no interior da porta a vedar. Consequência: impossibilidade de se desenvolver um jacto de ar plano e contínuo até ao solo com a consequente anulação do efeito de vedação pretendido.

**Deficiência 6:** Ausência de limpeza periódica das grelhas e demais constituintes do aparelho de cortina de ar e/ou degradação das características do grupo motor-ventilador (velocidade inicial do jacto de ar muito inferior aos valores especificados no catálogo do fabricante). Consequência: impossibilidade da cortina de ar atingir o solo e a ter lá uma zona de impacto.

## 5. Conclusão

Neste estudo ficou demonstrado que a eficiência de vedação pode ser maximizada se houver uma criteriosa selecção da velocidade

e do ângulo de descarga da cortina em função da altura da porta a vedar e da diferença de temperatura existente. Embora esse ajuste possa levar a significativas poupanças energéticas e financeiras, a realidade revelou que a maior parte das vezes esses factores não são tidos em conta na selecção, instalação e funcionamento.

## **6. Referências**

- Neto, L. 2006. Estudo de Sistemas de Vedação Aerodinâmica do tipo Cortina de Ar. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- Centeio, A., Sequeira, S. e Neto, L. 2005. Levantamento das condições de instalação e de operação dos aparelhos de cortina de ar como meio de vedação térmica de espaços comerciais em Castelo Branco. Projecto final de curso em Engenharia Industrial, EST Castelo Branco.
- Gosney, W. B. e Olama, H. A. L. 1975. Heat and enthalpy gains through cold room doorways, Institute of Refrigeration (University of London).