



DESEMPENHO DE SISTEMAS DE VENTILADORES DE IMPULSO PARA CONTROLO DE FUMO EM PARQUES DE ESTACIONAMENTO SUBTERRÂNEOS

PERFORMANCE OF IMPULSE VENTILATION SYSTEMS USED FOR SMOKE CONTROL IN UNDERGROUND CAR PARKS

Viegas, João Carlos, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, jviegas@lnec.pt*

Cruz, Hildebrando, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, htcruz@lnec.pt*

Pedroso, Vitor, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, vpedroso@lnec.pt*

Virgílio, Abel, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, avirgilio@lnec.pt*

RESUMO

O sistema de controlo de fumo baseado em ventilação de impulso constitui uma nova solução, que tem sido aplicada a parques de estacionamento subterrâneos, que pretende limitar o escoamento do fumo proveniente de um foco de incêndio sem que seja necessário recorrer à implementação de compartimentação. Nesta comunicação pretende-se dar a conhecer as exigências específicas relativas à concepção e dimensionamento deste tipo de sistemas.

ABSTRACT

Impulse ventilation systems are used to carry out the smoke control inside underground car parks. This new smoke control system is developed on the purpose to restrict the smoke flow released by a fire source without any fire resisting walls. In this paper the design requirements of such system are presented.

1. RESUMO

O recurso a grandes parques de estacionamento subterrâneos é cada vez mais frequente em cidades, encontrando-se muitas vezes associados a grandes centros comerciais onde do bem-estar do cliente depende em grande parte o êxito desses empreendimentos. A constituição de espaços amplos sem barreiras visuais constitui assim uma vantagem, uma vez que reduz a sensação de isolamento e de insegurança que os utilizadores podem sentir em espaços muito compartimentados. Esta solução arquitectónica contraria os métodos correntes de controlo de fumo em caso de incêndio, que se baseiam precisamente na compartimentação dos parques de estacionamento cobertos como forma de impedir o escoamento do fumo para outras zonas que não a de origem do incêndio.

Em meados dos anos 90 do século passado surgiu uma solução tecnológica, baseada no conceito da ventilação longitudinal de túneis, na qual o confinamento do fumo é estabelecido pela activação de um conjunto de ventiladores de impulso (suspensos no tecto), sendo o fumo obrigado a escoar para ventiladores de exaustão normalmente posicionados na periferia do parque de estacionamento coberto. Dado que esta solução construtiva não está prevista na actual regulamentação nacional (Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios, Portaria 1532/2008), a Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) estabeleceu com o

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um protocolo no qual se prevê que o LNEC proceda à avaliação do desempenho deste tipo de sistemas de controlo de fumo.

Tendo em conta a prática limitada de qualificação deste tipo de sistemas e a inexistência de métodos analíticos simples para o seu dimensionamento, o LNEC promoveu um conjunto de acções tendo em vista colmatar essas necessidades. Nesse sentido, o LNEC estabeleceu um procedimento de avaliação do desempenho, contendo uma parte de avaliação de projecto e uma parte de avaliação experimental em obra, que tem vindo a aplicar. Para além disso, estabeleceu um programa de investigação, que está em curso, no qual se está a proceder à caracterização dos jactos desenvolvidos pelos ventiladores de impulso (em situação isotérmica e com fonte de calor), à sua modelação computacional (tendo em vista o estudo sistemático da interacção dos jactos entre si, com o parque e com as fontes de poluição e de calor) e à dedução de modelos analíticos simplificados que permitam apoiar o dimensionamento preliminar de sistemas tão complexos.

Dado que a complexidade destes sistemas de controlo de fumo impõe exigências específicas em termos da arquitectura e engenharia destes espaços, nesta comunicação pretende-se dar a conhecer essas exigências, o processo de avaliação do desempenho implementado e os resultados mais importantes obtidos no âmbito dos trabalhos de investigação em curso. Os aspectos abordados nesta comunicação, que tem um carácter essencialmente de divulgação, foram aprofundados em Viegas (2008), Viegas (2009) e Viegas (2010).

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS

Devido à diferença da massa volúmica do fumo relativamente ao ar novo, gera-se uma estratificação estável no qual o fumo, a temperatura mais elevada, escoia na parte superior dos espaços confinados, enquanto o ar novo se mantém sob este escoamento, sendo a mistura entre o fumo e o ar novo relativamente limitada. Na proximidade da fonte de calor, sobre a qual o fumo escoia na vertical em pluma térmica, o fumo escoia em jacto de tecto radial a partir do ponto em que a pluma atinge o tecto.

De acordo com Alpert (1972), a temperatura e a velocidade máximas no jacto de tecto axissimétrico não-confinado e antes de ocorrer acumulação de fumo junto ao tecto podem ser dadas pelas seguintes fórmulas simplificadas:

$$\Delta T = T - T_{\infty} = \frac{5,38(\dot{Q}/r)^{2/3}}{H} \quad \text{para } r/H > 0,18 \quad [1]$$

$$u_{cj} = \frac{0,195\dot{Q}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \quad \text{para } r/H > 0,15 \quad [2]$$

Nestas expressões T é a temperatura do jacto de tecto, T_{∞} é a temperatura ambiente, \dot{Q} é a potência calorífica libertada (incluindo a fracção radiada e em kW), H é a altura da pluma, r é a distância à origem do jacto e u é a velocidade do jacto de tecto. Os campos de velocidade longitudinais impostos pelos ventiladores de impulso podem ser previstos através da aplicação de expressões do tipo da [3]:

$$u_{impulso}^2(x, r, \theta) = u_{\infty}^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{k_{0i} u_{0i} 2r_{0i}}{x - x_i} \right)^2 e^{-\left(\frac{r_i}{k_i(x-x_i)} \right)^2} \quad [3]$$

sendo x, r, θ as coordenadas cilíndricas, $u_{impulso}$ o componente do vector velocidade segundo x , u_{∞} a velocidade não-perturbada pelo jacto, u_{0i} a velocidade do escoamento na origem do jacto i , r_{0i} o raio do bocal do jacto i , x_i a coordenada de origem do jacto i e r_i a coordenada r para o jacto i . As superfícies sólidas paralelas ao eixo dos jactos podem ser simuladas através de escoamentos simétricos, quando não é relevante o conhecimento do campo de velocidade junto da superfície sólida. A dedução desta expressão encontra-se detalhada em Viegas (1981).

Pretende-se com a aplicação de sistemas com ventiladores de impulso proceder à limitação do escoamento do fumo, em jacto de tecto [1 e 2], devido à restrição imposta pelo campo de velocidade gerado pelos ventiladores de impulso de acordo com a expressão [3]. Neste sentido, basta comparar estas velocidades num plano adjacente ao tecto, mas onde o jacto de tecto escoe fora da camada limite. Da combinação destes campos de velocidade deduzem-se expressões a partir das quais é possível estimar, de uma forma simplificada, o limite da zona enfumada. As componentes do vector velocidade segundo as direcções ortogonais x e y são então dadas por:

$$r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} \quad [4]$$

$$u_f^2 = \left(u_{cj} \frac{x}{r} At_v \right) \left| u_{cj} \frac{x}{r} At_v \right| + u_{\infty}^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{k_{0i} u_{0i} 2r_{0i}}{x - x_i} \right)^2 e^{-\left(\frac{r_i}{k_i(x-x_i)} \right)^2} \quad [5]$$

$$u(x, r) = \begin{cases} \sqrt{u_f^2} & \text{if } u_f \geq 0 \\ -\sqrt{-u_f^2} & \text{if } u_f < 0 \end{cases} \quad [6]$$

$$v(y, r) = \frac{0,195Q^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \frac{y}{r} At_v \quad [7]$$

$$At_v = \frac{0,195Q^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \sqrt{\frac{0,195Q^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} + D \sqrt{u_{\infty}^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{k_{0i} u_{0i} 2r_{0i}}{x - x_i} \right)^2 e^{-\left(\frac{r_i}{k_i(x-x_i)} \right)^2}}} \quad [8]$$

sendo D um parâmetro que se convencionou aqui designar por “parâmetro de diluição”.

A velocidade u_{∞} corresponde ao valor médio que é necessário adicionar para ser cumprida a condição de conservação de massa. Neste modelo a velocidade foi ajustada de acordo com a seguinte expressão:

$$u_{\infty} = u_0 + \begin{cases} \frac{\dot{V}}{A} & \text{se } x \leq x_A \\ \frac{\dot{V}}{A} \left(\frac{x_B - x}{x_B - x_A} \right) & \text{se } x_A < x \leq x_B \\ 0 & \text{se } x_B < x \end{cases} \quad [9]$$

sendo u_0 uma velocidade constante sobreposta ao escoamento, que no presente caso é nula, \dot{V} o caudal total arrastado pelos ventiladores de impulso, A a área da secção transversal representativa do escoamento, x_A a abcissa da primeira linha de ventiladores e x_B a abcissa da segunda linha de ventiladores.

A linha de corrente, com origem na fonte de calor, que inscreve a maior área em torno da fonte de calor corresponde à condição limite do escoamento do fumo. Deve ser investigada a posição da linha de corrente como forma de determinar a extensão da área enfumada. Esta linha será seguidamente designada como “linha de corrente extrema”.

Os resultados experimentais que têm sido obtidos em ensaios realizados no LNEC, ao abrigo de um projecto de investigação apoiado pela FCT, mostram que os campos de velocidade obtidos têm velocidades significativas, sendo do nível esperado para se limitar o escoamento do fumo. Na figura 1 apresentam-se os resultados de medições do campo de velocidade resultante dos jactos de dois ventiladores de impulso de 50 N colocados paralelamente com um afastamento de 8 metros entre si. Os jactos destes ventiladores de impulso estão confinados pelo tecto (estando este à cota de 3 m) e pelo chão. Os ventiladores estão posicionados encostados ao tecto. As curvas mostram as velocidades obtidas a 12 m de distância dos ventiladores de impulso, representando cada curva uma cota diferente (sendo a origem o nível do pavimento). Verifica-se não só que o campo de velocidade imposto pelos ventiladores de impulso atinge valores significativos, como também que no espaço entre os ventiladores de impulso existe um escoamento correspondente ao arrastamento de ar novo, que é integrado nos jactos. A existência deste arrastamento assegura que as velocidades entre os ventiladores de impulso são não-nulas.

Na figura 2 apresenta-se um outro conjunto de resultados que têm sido obtidos nos ensaios em curso. Apresentam-se os valores da intensidade turbulenta do jacto livre de um ventilador de impulso à distância de 16 m do bucal. São apresentadas curvas a diferentes cotas relativamente ao piso. O eixo do ventilador de impulso situa-se a 2,7 m do piso. Verifica-se que a intensidade turbulenta é máxima, como seria de esperar, nas zonas onde os gradientes de velocidade são mais elevados nas camadas de corte laterais. Na proximidade do eixo do jacto existe uma cava no gráfico uma vez que os gradientes de velocidade são menos acentuados. Nas curvas a 0,10 m e a 3,00 m de altura, onde foram utilizados anemómetros de maior sensibilidade, mostra-se o decaimento da intensidade turbulenta com o afastamento do eixo do jacto para além das camadas de corte, numa zona onde as velocidades tendem já para zero.

3. CONCEPÇÃO GERAL DO SISTEMA DE CONTROLO DE FUMO

A concepção dos sistemas de controlo de fumo com ventiladores de impulso em parques de estacionamento cobertos deve obedecer aos seguintes princípios gerais:

- Os ventiladores de impulso são orientados de forma a assegurar o varrimento de todo o espaço do piso do parque de estacionamento, existindo admissões de ar a montante e exaustões do fumo a jusante.
- Os ventiladores de impulso são dispostos numa malha que restringe o escoamento do fumo.
- Os ventiladores de impulso são dispostos de forma a que o seu desempenho não seja significativamente afectado pelas paredes e pelas obstruções internas.
- O caudal exaurido deve ser compatível com o funcionamento dos ventiladores de impulso e com o cenário de incêndio previsível, assegurando a exaustão do fumo gerado no interior do piso do parque de estacionamento coberto.
- Não deve haver escoamento do fumo para outros pisos do parque de estacionamento coberto ou para outros locais do edifício.

Estas exigências de concepção são concretizadas através de um processo específico de dimensionamento dos sistemas de ventilação de impulso que seguidamente se descreve.

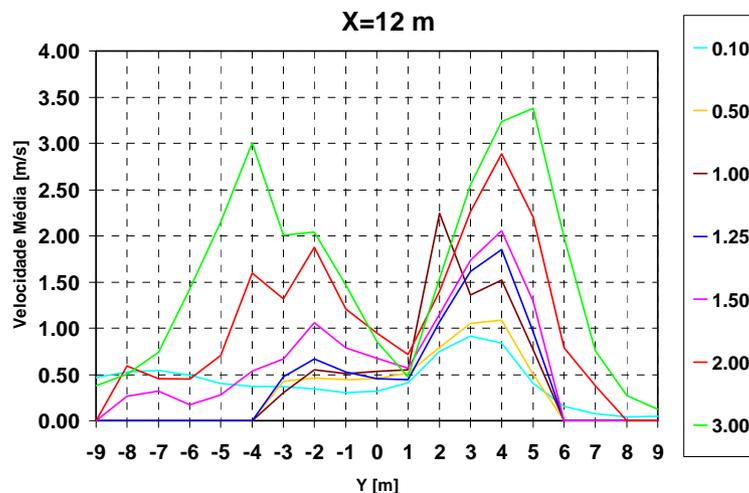


Figura 1 – Campo de velocidade de jacto duplo confinado

4. CONDIÇÕES DE DIMENSIONAMENTO BÁSICO

4.1. Estabelecimento do cenário de incêndio

Considera-se que o cenário de incêndio é constituído pela potência calorífica máxima libertada no decurso de um incêndio por uma viatura estacionada no parque. O sistema de controlo de fumo deve ser capaz de limitar o escoamento decorrente deste cenário de incêndio em regime estacionário. As características a considerar para a fonte de calor devem ser as seguintes:

- A fonte de calor pode ser descrita de uma forma simplificada como uma potência constante de 6 MW durante 35 minutos (correspondendo portanto a cerca de 12,6 GJ), não se considerando assim os picos de potência de curta duração.
- Ocorrem condições para a propagação de incêndio para veículos adjacentes entre 8 e 12 minutos após o início de incêndio.
- Face aos resultados de ensaios com a combustão de dois veículos parece ser razoável considerar a potência de 8 MW, que corresponde também às recomendações do PIARC

(1999) e da norma BS 7346-7:2006. Neste caso sugere-se que o tempo de combustão a considerar seja de 50 minutos, correspondendo assim a uma energia total de 24 GJ.

- Pode admitir-se que 1/3 da potência calorífica libertada é transmitida por radiação para a envolvente.

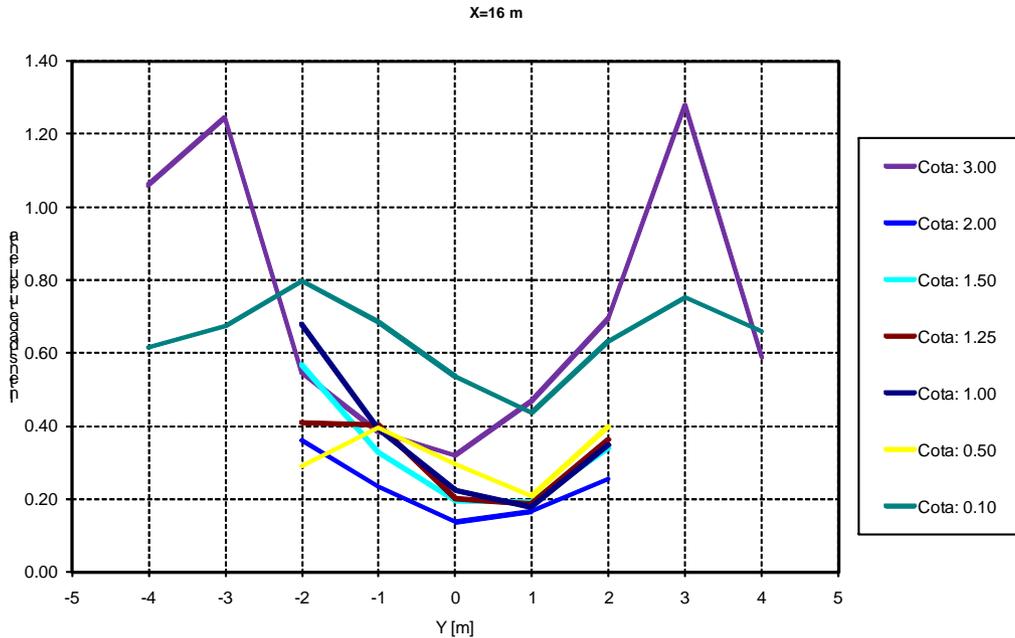


Figura 2 – Campo de intensidade turbulenta de jacto simples livre

Um cenário de incêndio deve ser caracterizado desta forma ou pela sua curva de potência calorífica libertada em função do tempo. Deste tipo de curva é possível extrair grandezas relevantes, nomeadamente (i) o pico da potência calorífica libertada, (ii) a carga de incêndio e (iii) o crescimento da potência calorífica libertada ao longo do tempo. Este último valor é relevante quando os sistemas de controlo de fumo não são dimensionados para a potência calorífica libertada de pico, mas antes para um valor mais baixo. Nesse caso, é necessário verificar se o tempo disponível (enquanto o desempenho do sistema de controlo de fumo é adequado à potência calorífica) é suficiente para permitir a evacuação dos ocupantes da edificação e para apoiar o início da intervenção dos bombeiros. A carga de incêndio, em conjunto com a variação da potência calorífica libertada, é relevante para a determinação da acção do fogo sobre a estrutura da edificação, através da determinação da curva de temperatura em função do tempo a que os elementos da construção estão expostos. O pico da potência calorífica libertada é relevante para o dimensionamento do sistema de controlo de fumo quando se pretende que este possa manter o seu adequado desempenho em qualquer momento ao longo do incêndio, ao qual corresponda esse cenário.

O caudal de fumo pode ser obtido também a partir de um modelo simples (NFPA 204:2007), nomeadamente o baseado na potência calorífica convectada \dot{Q}_c e na altura da pluma (h-e):

$$\dot{M} = 5,3 \times 10^{-4} \times \dot{Q}_c^{3/5} (h - e) \quad [10]$$

Este modelo é válido quando $\dot{Q}_{C\ ref} < \dot{Q}$ (considera-se fonte de grande dimensão), sendo

$$\dot{Q}_{C\ ref} = 2,3 \times 10^5 \times (h - e)^{5/2} \quad [11]$$

estando $\dot{Q}_{C\ ref}$ especificado em W, sendo h a altura entre a fonte e o tecto e e a espessura da camada quente, dentro da qual não existe obviamente arrastamento de ar novo. Nas restantes condições toma-se:

$$\dot{M} = 7,1 \times 10^{-3} \times \dot{Q}_c^{1/3} \left[(h - e)^{5/3} + 2,6 \times 10^{-4} \times \dot{Q}_c^{2/3} \right] \quad [12]$$

4.2. Distância de retenção do fumo

Considera-se como ponto de retenção do escoamento do fumo aquele para o qual se anula a soma vectorial das velocidades do jacto de tecto com origem na pluma térmica e a velocidade média do escoamento imposto pelos ventiladores de impulso, conjugado com o caudal extraído pelos ventiladores de exaustão. A linha de corrente extrema, ao longo da qual se encontram os pontos de retenção do fumo, pode ser estimada através do modelo expresso pelas equações [4 a 9], quando se considera um parâmetro de diluição $D = 0,001$, tendo em conta todas as fontes de impulso: A distância de retenção do fumo, aqui considerada como a distância entre a fonte de calor e o ponto de retenção do escoamento do fumo, deve ser justificada pelo projectista; recomenda-se que não seja superior a 25 m.

Para se garantir que existem sempre ventiladores de impulso a montante da fonte de calor, devem existir duas linhas, de desenvolvimento transversal, de ventiladores de impulso antes da fonte de calor, quando esta se encontra suficientemente afastada da parede de montante.

Para efeito da contabilização da área do parque de estacionamento enfumada, deve considerar-se a possibilidade de ocorrência de recirculações locais entre a saída e a admissão dos ventiladores de impulso, para montante da linha de corrente extrema, admitindo que a sua extensão máxima pode corresponder à distância longitudinal entre ventiladores de impulso do mesmo tipo e a sua largura à distância transversal entre ventiladores de impulso do mesmo tipo.

4.3. Dispersão lateral do fumo

Na ausência de outros métodos mais precisos, pode considerar-se que o escoamento transversal do fumo é limitado pela linha de corrente extrema que se obtém pela aplicação das expressões [4 a 9], quando se considera um parâmetro de diluição $D = 0,001$, tendo em conta todas as fontes de impulso (incluindo as devidas aos ventiladores de insuflação).

4.4. Área de retenção do fumo

A área de retenção de fumo corresponde à área enfumada do parque de estacionamento coberto limitada pela linha de corrente extrema. Quando se recorre a sistemas de ventiladores de impulso, esse sistema de controlo de fumo deve assegurar que a área enfumada que constitua uma zona de risco para os ocupantes e para a intervenção dos bombeiros não seja superior a 6000 m² e a sua maior dimensão (comprimento ou largura) não exceder 120 m. Nos pisos de parques de estacionamento de área superior a 12000 m² e para os quais a zona enfumada não seja limitada por paredes em mais do que dois lados, admite-se que a área dessa zona possa ser incrementada até 8000 m².

4.5. Determinação do caudal de exaustão

Para efeitos de redução da importância dos escoamentos locais de recirculação junto de cada fonte de impulso, o escoamento arrastado pelas fontes de impulso não deve exceder o dobro do caudal de exaustão do piso. O caudal arrastado pelas fontes de impulso deve ser calculado por integração do respectivo campo de velocidade, por exemplo, pela equação [3].

O caudal do jacto confinado pode também ser estimado, numa primeira aproximação, pelo caudal escoado pelo jacto axissimétrico livre e, a partir da abcissa para a qual passa a existir interferência com o piso e o tecto, por um jacto plano confinado equivalente. Esta condição de cálculo do caudal exprime-se por:

$$Q = \begin{cases} 0,16 \frac{x}{r_0} Q_0 & \text{se } x < a \\ 0,16 \sqrt{a x} \frac{Q_0}{r_0} & \text{se } x \geq a \end{cases} \quad \wedge \quad Q \leq b \quad [13]$$

sendo Q_0 o impulso do jacto na origem, a a abcissa a partir da qual o jacto altera o seu carácter de livre para confinado e b o caudal máximo do jacto. Os valores de a e b são determinados por ajustamento à curva de caudal do ventilador obtida por via experimental ou obtida por métodos de cálculo mais robustos. No caso dos ventiladores de impulso nominal de 50 N, limitados por duas superfícies planas paralelas distanciadas de 2,3 m, verifica-se que se podem tomar aproximadamente os seguintes valores $a = 8$ m e $b = 27$ m³/s.

4.6. Especificação do impulso dos ventiladores

O conhecimento adequado das fontes de impulso é essencial para ser possível estimar adequadamente o campo de velocidade imposto pelo sistema de controlo de fumo. Note-se que constituem fontes de impulso não só os ventiladores de impulso, propriamente ditos, mas também qualquer jacto que seja gerado no espaço confinado, nomeadamente o dos próprios ventiladores de insuflação.

O impulso dos ventiladores, na condição ambiente, constitui um dado enunciado pelos seus fabricantes e veiculado pelas entidades que os comercializam. Caso essa grandeza não seja conhecida, pode ser estimada pela expressão seguinte, que é simplificada admitindo, por aproximação, que na secção de saída do ventilador, A_0 , a velocidade é constante e igual à média, u_0 , e a massa volúmica do fluido ρ_0 também é constante.

$$J_0 = \int_A \rho_0 u_0^2 dA \cong \bar{\rho}_0 \bar{u}_0^2 A_0 \quad [14]$$

Numa condição de jacto livre há conservação da quantidade de movimento, pelo que o valor de J_0 , determinado para a secção de saída do ventilador constitui uma boa estimativa para todo o campo de velocidade. No caso do jacto confinado, uma parte significativa do impulso é dissipado no contacto com as paredes, pelo que é relevante a determinação do impulso na secção do escoamento em estudo através do seu campo de velocidade, não sendo nesse caso admissível a consideração de uma velocidade média devido à forte variação de velocidade que ocorre na secção recta do jacto.

O impulso gerado por um jacto J_{∞}^* mergulhado num escoamento uniforme pré-existente de velocidade u_{∞} e massa volúmica ρ^* sofre uma redução, relativamente ao impulso J_0 gerado pelo mesmo jacto num meio sem qualquer escoamento pré-existente e de massa volúmica ρ , podendo ser expresso por [15]:

$$J_{\infty}^* = J_0 \frac{\rho^*}{\rho} \left(1 - \frac{u_{\infty}}{u_0} \right) \quad [15]$$

Para a determinação do impulso de cada ventilador é necessário dispor-se de uma estimativa da temperatura local e da velocidade local do escoamento sem o efeito do ventilador de impulso em causa.

4.7. Estimativa do momento angular

Verifica-se que quando o impulso dos vários ventiladores está claramente descentrado relativamente ao centroide da massa de ar, o momento angular gerado pode originar um vórtice que envolva todo o piso (ou uma parte substancial dele). Na situação de incêndio tal efeito é absolutamente indesejável, uma vez que contraria o princípio de restrição do escoamento do fumo. Dado que este efeito é contrariado pelas forças de atrito, que estão associadas ao jacto de cada ventilador de impulso e reduzem o seu impulso, é óbvio que basta que exista um momento angular não nulo relativamente ao centro do vórtice para que este se desenvolva; todavia, não é imediato para a maioria dos casos qual será a posição do centro do vórtice e parece razoável admitir-se que os vórtices de muito baixa velocidade são dominados pelo efeito local dos ventiladores de impulso, não tendo consequências significativas no escoamento do fumo. Sem um conhecimento mais aprofundado destes fenómenos, não parece sensato impor restrições ao valor do momento angular; contudo, considera-se necessário que este seja avaliado para que o conhecimento do seu valor habilite o projectista a ponderar formas de melhorar a distribuição dos ventiladores de impulso. O centro do vórtice deverá ser estimado pelo projectista por inspecção e poderá corresponder aproximadamente ao centroide da área em que, pela sua forma geométrica, haja claramente condições para a existência desse vórtice. A determinação do momento angular requer o conhecimento do impulso gerado por todos os ventiladores (incluindo os de insuflação, quando relevante) e deve ser realizado pela expressão (4.171).

$$\vec{M} = \sum_i \vec{x}_i \times J_{0i} \quad [16]$$

4.8. Arquitectura do parque tendo em vista a obtenção dos caudais de controlo de fumo

As aberturas de admissão de ar novo e as insuflações mecânicas devem ser coordenadas com os ventiladores de impulso de forma a constituírem a zona de montante do escoamento. Não é admissível a realização de admissões de ar noutras zonas, a menos que seja evidenciado que, ainda assim, são cumpridas as restantes exigências deste documento.

4.9. Acção do vento

Para efeitos da quantificação da acção do vento sobre as aberturas que servem os parques de estacionamento cobertos, a velocidade do vento V deve ser a correspondente ao valor da sua

velocidade média que é ultrapassado apenas em 5% do tempo [valor frequente; este critério é idêntico ao indicado em CETU (2003) para a acção do vento em situação de incêndio em túneis rodoviários] e deve ser considerada de acordo com o critério de combinação de acções definido no RSA (Decreto-Lei nº 235/83). No que respeita ao rumo do vento, deve adoptar-se o critério do RSA (Decreto-Lei nº 235/83) que indica que se devem considerar os rumos equiprováveis, pelo que devem ser todos tomados em consideração e seleccionados os mais desfavoráveis. Assim, a acção do vento é quantificada como uma pressão relativa exterior P_e da seguinte forma:

$$P_e = C_{pe}(R_v) \frac{1}{2} \rho V^2 \quad [17]$$

4.10. Especificação do caudal de admissão e respectiva estratégia

Em geral a admissão de ar deve ser feita através dos espaços adjacentes ao sinistrado. Só é possível proceder-se à insuflação mecânica de ar novo no piso sinistrado quando existirem meios que impeçam o escoamento do fumo para espaços adjacentes. Quando for necessário proceder à insuflação mecânica no piso sinistrado, o caudal volúmico insuflado deve ser de 60% do caudal volúmico de exaustão mecânica. Nestas condições é o caudal de insuflação que deve ser compatibilizado com o funcionamento dos ventiladores de impulso.

Quando for necessário proceder a insuflação mecânica no piso sinistrado e existirem aberturas de compensação para a admissão de ar novo, é o caudal de exaustão que deve ser compatibilizado com o funcionamento dos ventiladores de impulso. Deve manter-se a relação de 60% entre os caudais volúnicos insuflado e de exaustão.

A utilização de uma relação entre os caudais volúnicos de insuflação e de exaustão mecânicas superior a 60% deve ser justificada através de um estudo específico, evidenciando a vantagem dessa opção e a restrição do escoamento do fumo para outros espaços adjacentes.

4.11. Restrição do escoamento de fumo entre pisos

Deve ser estabelecido um escoamento de ar novo entre os pisos adjacentes e o piso sinistrado. A sua velocidade deve ser capaz de impedir o escoamento do fumo. Para se restringir o escoamento do fumo através de uma abertura, a velocidade do escoamento e ar novo que se lhe opõe deve ser superior à velocidade máxima do escoamento do fumo.

4.12. Avaliação da admissibilidade de zonas de estagnação

Dada a geometria irregular que muitos parques de estacionamento têm, nem sempre é possível evitar a existência de zonas de estagnação ou esteiras. As zonas de estagnação, bem como as zonas de recirculação de esteiras, devem ter a sua menor dimensão em planta (largura) limitada à distância para a qual ainda é possível visualizar sinais emissores de luz.

4.13. Distância dos ventiladores à parede de montante

No sentido de evitar que a captação de ar dos ventiladores de impulso possa ser restringida pela proximidade de uma parede a montante, a captação dos ventiladores de impulso deve estar localizada a uma distância dessa parede tal que a velocidade no campo de admissão prevista para a localização da parede seja igual ou inferior a 1,0 m/s.

Quando o fumo puder atingir a parede de montante do parque, na ausência de outros meios de limitação do escoamento do fumo, os ventiladores de impulso devem ser posicionados de forma que as suas captções constituam um poço suficientemente intenso para evitar o escoamento do fumo ao longo da parede de fundo. Para esse efeito, o campo de velocidade previsto para a admissão deve ter valores, em sentido contrário, de valor absoluto igual ou superior aos do jacto de tecto com origem na pluma térmica. Em caso de incompatibilidade de exigências, esta prevalece sobre a exigência de não-limitação da captação dos ventiladores de impulso.

4.14. Distância dos ventiladores à parede de jusante

A proximidade dos ventiladores de impulso relativamente a obstáculos a jusante do escoamento não deve conduzir à geração de pressões que obriguem à deflexão de parte do escoamento para locais onde a captação do fumo não seja realizada de todo ou não seja realizada satisfatoriamente. Esta exigência de captação do fumo sobrepõem-se à exigência de distâncias máximas entre ventiladores para restrição do escoamento do fumo.

4.15. Estimativa da temperatura do escoamento

A temperatura média do escoamento de exaustão \bar{T}_f pode ser estimada de forma muito simplificada através da expressão seguinte, que exprime o balanço entre a potência convectiva libertada na combustão \dot{Q}_c e a potência convectada na exaustão:

$$\bar{T}_f = \frac{\dot{Q}_c}{\rho_\infty c_p \dot{V}} + T_\infty \quad [18]$$

sendo \dot{V} o caudal volúmico de ar novo correspondente à exaustão, ρ_∞ a massa volúmica do ar novo, T_∞ a temperatura do ar novo e c_p o calor específico a pressão constante entre a temperatura do ar novo e a temperatura média do escoamento.

5. COMANDO DAS INSTALAÇÕES, EVACUAÇÃO E COMBATE AO INCÊNDIO

5.1. Temporização de arranque

No sentido de evitar que os ocupantes em evacuação venham a ser envolvidos pelo escoamento do fumo forçado pelos ventiladores de impulso, após o alarme, os ventiladores de impulso devem ter um atraso no seu arranque não inferior a 2 minutos nem superior a 3 minutos. A decisão sobre o tempo de atraso a considerar é da responsabilidade do projectista de segurança e deve ser justificada.

No que respeita à sucessão do lançamento dos meios de controlo de fumo deve proceder-se ao arranque dos meios de controlo de fumo na seguinte ordem, a partir do alarme de incêndio:

1. Activação dos dispositivos de oclusão (total ou parcial) de aberturas (portões corta-fogo, cortinas resistentes ao fumo, etc.);
2. Activação dos dispositivos de abertura de vãos necessários ao controlo de fumo (esta acção pode ser simultânea com activação dos dispositivos de oclusão);
3. Após a conclusão da oclusão (total ou parcial) de aberturas, activação dos ventiladores de exaustão;
4. Após a conclusão do arranque dos ventiladores de exaustão e da activação dos dispositivos de abertura de vãos necessários ao controlo de fumo, activação dos ventiladores de insuflação;
5. Após a conclusão de todas as acções anteriores e uma vez cumprido o tempo de atraso especificado, activação dos ventiladores de impulso.

5.2. Utilização das saídas de emergência na evacuação

Deve existir um número significativo de saídas de evacuação fora da previsível zona enfumada (pelo menos duas). É desejável que pelo menos metade das saídas de evacuação do compartimento de incêndio esteja fora da zona enfumada. A evacuação dos ocupantes deve ser feita no sentido contrário ao do escoamento do fumo ou perpendicularmente a este (quando for esta a melhor condição para sair do seu fluxo) e sempre em direcção à saída de evacuação mais próxima (que não esteja envolvida pelo fumo).

5.3. Plano de emergência

O planeamento da intervenção dos bombeiros em função da localização do incêndio deverá constar do plano de resposta de emergência em função da localização do incêndio e deve estar estabelecida a informação que deve ser transmitida aos bombeiros antes da sua intervenção.

6. CONCLUSÕES

O adequado desempenho dos sistemas de controlo de fumo baseados em ventiladores de impulso depende da adequação das ferramentas teóricas para a previsão do escoamento gerado, depende da concepção e dimensionamento desses sistemas e depende da respectiva implementação em obra. Nesta comunicação apresentou-se uma súpula dos aspectos mais relevantes respeitantes a esses três factores procurando-se conferir-lhes uma estruturação que facilite a tarefa do projectista. Mostraram-se ainda alguns resultados experimentais que permitem exemplificar os campos de velocidade e de intensidade turbulenta que são expectáveis.

Verifica-se que, embora ainda sejam limitadas uma vez que se aguarda a sua comparação com resultados experimentais, existem ferramentas analíticas que permitem já apoiar o dimensionamento deste tipo de sistemas de controlo de fumo. Para além disso, a experiência ganha com a análise da implementação deste tipo de sistemas tem permitido consolidar as regras de concepção geral que aqui foram apresentadas. Assim, conclui-se que a informação disponível já possibilita o desenvolvimento desta concepção e dimensionamento de modo substancialmente apoiado num conjunto formal de recomendações.

AGRADECIMENTOS

Este projecto de investigação tem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/68064/2006).

REFERÊNCIAS

- Alpert, R. L.. (1972). *Fire Technology*, 8 (181).
- BS 7346-7. (2006). Components for smoke and heat control systems – Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks. Londres: British Standards Institute.
- CETU. (2003). Les dossiers pilotes du CETU: Ventilation. Lyon: Centre d'Études des Tunnels.
- NFPA 204. (2007). Smoke and Heat Venting. Quincy: National Fire Protection Association.
- PIARC. (1999). Fire and smoke control in road tunnels.
- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA). Decreto-Lei nº 235/83, Diário da República, I Série (1983/05/31).
- Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios, Portaria 1532/2008, Diário da República, I Série (2008/12/29).
- Viegas, J. C.. (2008). Utilização de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Série Teses e Programas de Investigação, nº 55.
- Viegas, J. C.. (2009). The use of impulse ventilation to control pollution in underground car parks. *The International Journal of Ventilation*. Volume 8 Número 1. Coventry: VEETECH, Ltd.
- Viegas, J. C.. (2010). The use of impulse ventilation for smoke control in underground car parks. *Tunnelling and Underground Space Technology* 25: 42–53.
- Xavier Viegas, D.. (1981). Uma técnica de erosão aplicada ao estudo da interacção de jactos turbulentos com uma superfície plana. Coimbra. Dissertação para Doutoramento em Ciências de Engenharia (Aerodinâmica).