

CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO



Hildebrando Cruz^{*}
Bolsheiro de Dout.
LNEC - Lisboa



João C. Viegas
Investigador
LNEC - Lisboa

RESUMO

No sentido de caracterizar o escoamento gerado pelos ventiladores de impulso foram ajustadas expressões analíticas que descrevem o campo de velocidade, em regime isotérmico. Nesta comunicação apresentam-se os resultados experimentais isotérmicos que caracterizam o jato produzido por um conjunto de ventiladores de impulso, disponíveis no mercado, nas configurações de jato livre axissimétrico e jato parietal. Para os ventiladores de impulso de 50 N do fabricante A, também foram caracterizados os campos de velocidades nas configuração de jato confinado entre duas superfícies paralelas. Conclui-se que o campo de velocidades gerado pelos ventiladores, quando analisados com uma nova abordagem, são diferentes entre si, e apresentam uma diferença significativa dos parâmetros que normalmente descrevem o seu campo de velocidades, e que são apresentados na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Ventilação de impulso, parques de estacionamento, jatos.

1. INTRODUÇÃO

Para a conceção e dimensionamento preliminar de sistemas de ventilação baseados em ventiladores de impulso é necessário conhecer as características do jato desenvolvido por estes ventiladores, bem como a forma como este é alterado na presença de superfícies. O escoamento gerado pelos ventiladores de impulso constitui um jato, com características particulares em função da sua localização e interação com o espaço. Neste estudo foram

^{*} Autor correspondente – Dep. de Edifícios, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. A. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa.

Telef.: +351 218 443 533, Fax: +351 218 443 024, E-mail: htacruz@lnec.pt

ensaiados diversos ventiladores deste tipo em situação de jato livre e em situação de jato confinado pela proximidade de superfícies, como ocorre em parques de estacionamento cobertos.

Um jato corresponde a uma fonte de quantidade de movimento num meio constituído por um fluido onde, na análise destes, podem ser efetuadas as seguintes simplificações sugeridas por Blevins [1]: (i) o fluido é homogéneo e Newtoniano, podendo transportar calor ou substâncias químicas; (ii) assume-se que o escoamento é incompressível uma vez que o número de Mach do escoamento é muito inferior a 1; (iii) as variações da pressão estática são pequenas, assumindo-se que são uniformes.

Existe uma grande quantidade de estudos com formulações analíticas que descrevem o campo de velocidades de um jato turbulento, obtidas através da teoria indutiva da turbulência, para a condição de jato livre e para a condição de proximidade com superfícies sólidas [1 a 6]. O resultado destes estudos indicam que, para o jato livre, a variação da velocidade ao longo do eixo do jato e a variação da velocidade na direção radial ao eixo pode ser aproximada através das expressões seguintes

$$\frac{u_{m0}}{u_0} = k_0 \frac{d}{x} \quad (1)$$

$$\frac{u_m}{u_{m0}} = e^{-k \left(\frac{r}{b_{1/2}} \right)^2} \quad (2)$$

e, como a expressão para o decaimento da velocidade no eixo do jato é igual para o jato parietal, pode-se aproximar as variações de velocidade nas direções normais ao eixo do jato (y e z) às expressões:

$$\frac{u}{u_m} = e^{-k_y \left(\frac{y}{b_y} \right)^2} \quad (3)$$

$$\frac{u_m}{u_{m0}} = A \eta_z^{1/7} [1 - \text{erf}(k_z \eta_z)] \quad \text{com} \quad \eta_z = \frac{z}{b_z} \quad (4)$$

onde u_0 corresponde à velocidade à saída do difusor, u_{m0} à velocidade no eixo do jato, u_m à distribuição de velocidade no eixo z e u à velocidade no eixo do y , d o diâmetro do difusor do ventilador de impulso, x à distância à origem do jato, r à distância normal ao eixo do jato (jato livre), y e z são as distâncias normais ao eixo do jato parietal, $b_{1/2}$, b_y e b_z à distância para a qual a velocidade é metade da velocidade no eixo do jato e A é uma constante característica de cada ventilador de impulso na condição de jato parietal.

Viegas [7] na análise que fez aos resultados experimentais de um ventilador de impulso verificou que, a regressão analítica para determinação da constante característica do decaimento da velocidade no eixo do jato, origina um termo em potencia que colocava a equação (1) na forma $u_{m0}/u_0 \propto 1/x^n$, e que a expressão do campo de velocidades para satisfazer a condição da preservação da quantidade de movimento também era alterada. Para o jato parietal verificou que a expressão do decaimento da velocidade no eixo do jato

Caracterização dos jatos gerados por ventiladores de impulso

apresentava dois declives distintos que também originavam alterações à expressão do campo de velocidades (ambas as expressões com a mesma forma que a equação do jato livre).

Como para que os sistemas de ventilação e controlo de fumo baseados em ventilação de impulso possam ter uma adequada aplicação é necessário saber como concebê-los. Neste sentido, realizou-se o presente estudo onde se apresenta e se compara os resultados experimentais isotérmicos que caracterizam o jato produzido por um conjunto de ventiladores de impulso, disponíveis no mercado, nas configurações de utilização nos parques de estacionamento cobertos, quando tratados de acordo com a metodologia explorada por Viegas [7] e pelas formulações indicadas nos estudos antecedentes.

2. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Os ventiladores de impulso de 15 N e 50 N são produzidos e fornecidos por diferentes entidades e têm características marcadamente diferentes, tornando necessário a caracterização do seu jato de forma a ter meios para prever a forma como este é alterado em presença das superfícies paralelas ao eixo do jato.

Nesse sentido, foram realizados ensaios de caracterização dos campos de velocidade no interior de um pavilhão, suficientemente grande para reduzir a influência dos seus limites no desenvolvimento do jato. Os ensaios foram realizados nas condições: (i) Jato livre, onde o ventilador foi colocado a cerca de 2,5 m do pavimento de modo a que a interferência com o piso ocorra suficientemente longe da origem; (ii) Jato parietal (representa um ventilador de impulso suspenso junto ao teto, como ocorre no seu modo de aplicação corrente) onde o ventilador foi pousado sobre o piso; (iii) Jato confinado por duas superfícies longitudinais paralelas entre si e o eixo do jato, que representa um ventilador de impulso suspenso junto ao teto e, com o eixo do jato a 2,5 m do solo. As medições foram realizadas em regime estacionário, a coluna com os anemómetros foi colocada sucessivamente em diferentes posições no espaço de medição, como se indica na Figura 1, para se ter um maior número de medições e aumentar o seu refinamento.

Os ventiladores de impulso de 15 N têm um diâmetro de $d=0,29$ m e têm uma velocidade inicial de aproximadamente $u_0=15,5$ m/s; os ventiladores de impulso de 50 N têm um diâmetro de $d=0,38$ m e têm uma velocidade inicial de aproximadamente $u_0=23,7$ m/s. Para estas velocidades o escoamento é turbulento, e os correspondentes números de Reynolds são $Re_{15N}=3,0 \times 10^5$ e $Re_{50N}=6,0 \times 10^5$; a intensidade de turbulência à saída do difusor é cerca $I_{turb} = 2\%$.

A medição do campo de velocidade foi efetuada com recurso a anemómetros de turbina e de fio-quente, colocados numa coluna à cota de: 0,10 m, 0,25 m, 0,50 m, 0,75 m, 1,00 m, 1,25 m, 1,50 m, 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m. Na malha de medição o referencial ortonormado de medição tem as seguintes orientações: eixo do x é paralelo ao eixo do jato na origem; eixo y é transversal ao eixo do jato e paralelo ao piso; e o eixo z é normal ao piso. Foram utilizados anemómetros de carácter industrial devido ao ambiente agressivo em que estes ensaios decorrem. Os anemómetros de turbina são do tipo Airflow AV6 e os anemómetros de fio quente

são do tipo Airflow TA5 e TSI Modelo 8455. A sensibilidade deste tipo de instrumentação a variações de velocidade de alta frequência é baixa.

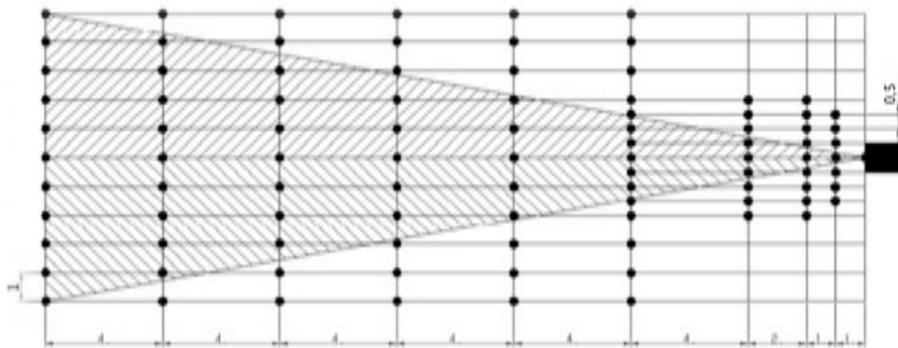


Figura 1: Localização das zonas de medição do campo de velocidades

Os anemómetros encontram-se ligados a um sistema de aquisição de dados, do tipo dataTaker DT800, que efetua 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]. Verificou-se que, devido à interação do jato com o pavilhão havia variações periódicas na velocidade do escoamento. Os tempos de aquisição foram ajustados de forma a coincidirem com um período de 6 minutos.

Os anemómetros foram previamente calibrados em túnel de vento e efetuou-se a estimativa da incerteza expandida para um intervalo de confiança de 95% da medição, sendo o seu valor na gama de velocidades medidas de 0,08 m/s para os anemómetros de turbina e de 0,03 m/s para os anemómetros de fio quente.

3. Resultados

3.1 Jato livre

Para a determinação das curvas características, e das constantes deste jato, iniciou-se por se efetuar o estudo do decaimento da velocidade no eixo, tendo-se seguidamente estudado a variação da velocidade nos planos normais ao eixo.

Para a primeira análise procedeu-se ao ajustamento dos resultados experimentais ao logaritmo da expressão (1) num gráfico não logarítmico e, através do método dos mínimos quadrados, determinou-se o valor das constantes. Na Figura 2 evidencia-se o resultado obtido para o ventilador de impulso C – 15 N, sendo que, para o conjunto de ventiladores de impulso ensaiados os valores das constantes, e das grandezas intrínsecas a cada ventilador (velocidade inicial e diâmetro do difusor) estão indicadas na Tabela 1.

Caracterização dos jatos gerados por ventiladores de impulso

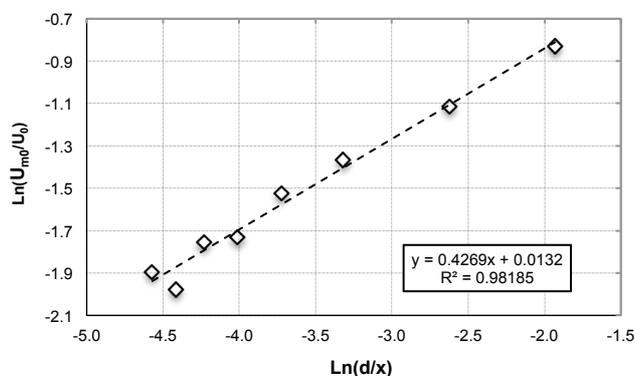


Figura 2: Logaritmo da função de decaimento da velocidade máxima para o ventilador C – 15 N

Tabela 1: Constantes obtidas através do método de análise [7] para o jato livre

Ventilador	U ₀ [m/s]	d [m]	K ₀	K'	α	β
B – 15 N	13,7	0,32	1,58	0,60	0,44	0,44
B – 50 N	25,0	0,38	0,78	0,40	0,35	0,60
C – 15 N	21,8	0,29	1,01	0,17	0,43	0,92
C – 50 N	16,8	0,38	5,36	0,15	1,03	0,98

Através deste procedimento de análise verifica-se que o decaimento da velocidade com a distância pode ser obtido a partir da expressão (5). De acordo com Awbi [8], como o coeficiente exponencial desta equação, α , para todos os ventiladores ensaiados está compreendido entre $0,33 < \alpha < 1$, indica que estamos na região do jato com decaimento característico, isto é, na região situada entre o cone potencial e a região do jato completamente desenvolvido.

$$\frac{u_{m0}}{u_0} = k_0 \left(\frac{d}{x}\right)^\alpha \quad (5)$$

Na Figura 3 mostra-se a comparação dos dados experimentais com os valores ajustados através dos resultados obtidos pelo método dos mínimos quadrados.

Com o resultado de $\alpha \neq 1$, no trabalho precedente [7], é efetuado o estudo para avaliação das condições necessárias para conservação (ou dissipação) da quantidade de movimento ao longo do jato. Para esta condição, a equação do campo de velocidades do jato passa a ser descrita através da expressão (6)

$$\frac{u_m}{u_0} = k_0 \left(\frac{d}{x}\right)^\alpha e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{k'x^\beta}\right)^2} \quad (6)$$

Para a determinação das constantes da expressão (6) aos dados experimentais, foram consideradas as velocidades medidas nos planos horizontal e vertical que passam pelo eixo do jato; o ajuste foi efetuado pelo método dos mínimos quadrados através do uso de uma

regressão não-linear multivariável. Na Figura 4 mostra-se a comparação dos dados experimentais com a curva obtida pelo método dos mínimos quadrados (para o mesmo ventilador de impulso), os coeficientes obtidos para os restantes ventiladores estão indicados na Tabela 1.

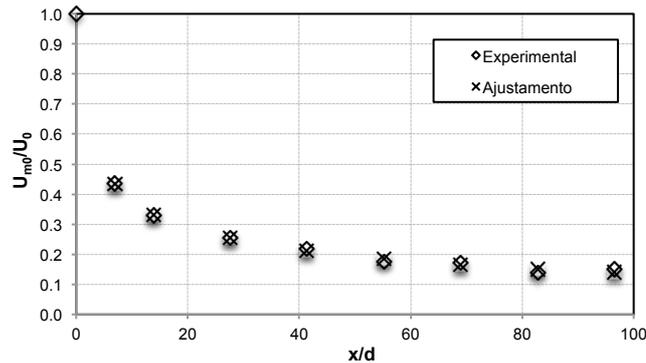


Figura 3: Ajustamento ao decaimento da velocidade no eixo do jato C – 15 N

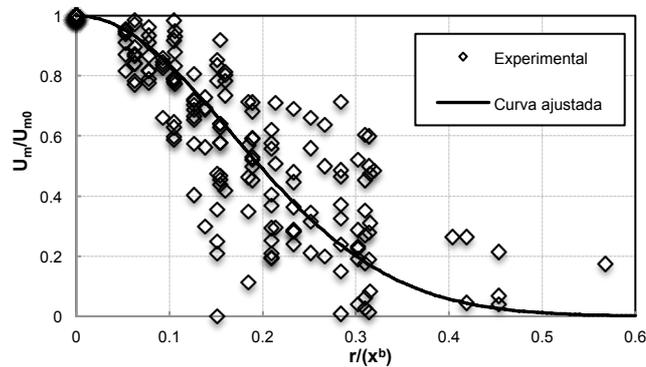


Figura 4: Ajustamento do campo de velocidades do ventilador C – 15 N

Embora os resultados obtidos por esta metodologia não sejam diretamente comparáveis com as expressões indicadas na literatura (1 a 5), efetuou-se também o estudo dos jatos através das mesmas. Todavia, nos trabalhos de Pani & Dash [9], Uddin & Pollard [10] e Pope [11], verifica-se que a distância x a ser considerada para o estudo do campo de velocidades dos jatos, no que concerne ao decaimento da velocidade na linha central, tem que ser incrementada através da inclusão da origem virtual do jato (x_0). Esta distância é diferente entre os vários ventiladores, e depende do desenvolvimento da camada limite no interior do difusor e das interações dos vórtices com o escoamento circundante. Deste modo, a equação (1) pode ser reescrita como:

Caracterização dos jatos gerados por ventiladores de impulso

$$\frac{u_{m0}}{u_0} = k_0 \left(\frac{d}{x - x_0} \right) \quad (7)$$

Ajustando a expressão (7) aos resultados experimentais, através do método dos mínimos quadrados obteve-se, para cada ventilador, os valores indicados na Tabela 2. Na Figura 5 mostra-se a comparação dos dados experimentais com a curva obtida pelo método dos mínimos quadrados para o mesmo ventilador de impulso (C – 15 N).

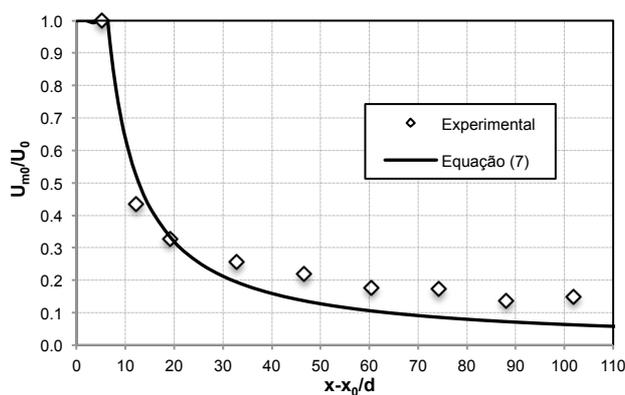


Figura 5: Ajuste da equação (7) aos resultados experimentais (C - 15 N)

Tabela 2: Constantes obtidas através das equações clássicas para o jato livre

Ventilador	X_0 [m]	K_0	K
B – 15 N	-10,75	25,08	0,646
B – 50 N	-1,74	6,25	0,649
C – 15 N	-1,53	6,38	0,654
C – 50 N	-0,59	6,39	0,641

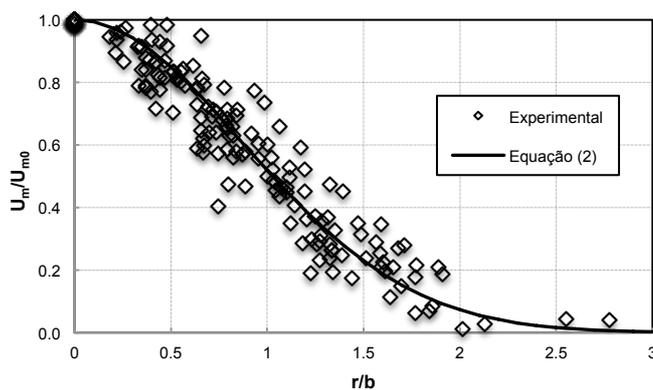


Figura 6: Ajuste da equação (2) aos resultados experimentais (C - 15 N)

Para a direção radial os resultados obtidos quando analisados através da curva expressa pela equação (2), através do método dos mínimos quadrados, obteve-se os valores indicados na Tabela 2 e na Figura 6.

3.2 Jato parietal

Para este ensaio os ventiladores de impulso foram colocados no solo, com o eixo do jato a uma distância $S=0,50$ m. À semelhança da primeira análise efetuada para o jato livre, o estudo iniciou-se pelo ajustamento dos resultados experimentais ao logaritmo da expressão (5) através do método dos mínimos quadrados num gráfico não logarítmico, e determinou-se o valor das constantes. Verificou-se que os resultados obtidos variavam linearmente e apresentam duas retas com declives marcadamente diferentes, como se mostra na Figura 7.

No trabalho de Pani & Dash [9], os autores também observaram o mesmo fenómeno e atribuíram este comportamento ao facto de a origem virtual não se localizar no plano de saída do difusor, mas sim, a montante do mesmo. Deste modo, incluindo a origem virtual nas equações, verifica-se que os dados experimentais variam linearmente com um só declive, ver Figura 7. Para o conjunto de ventiladores de impulso ensaiados os valores das constantes e das grandezas intrínsecas a cada ventilador estão indicadas na Tabela 3. Para o ventilador A – 15 N e para o ventilador A – 50 N, os valores de diâmetro e velocidade inicial são de: 0,29 m e 13,8 m/s; 0,38 m e 23,7 m/s, respetivamente.

Tabela 3: Constantes obtidas através do método de análise [7] para o jato parietal

Ventilador	X_0 [m]	K_0	K'	α	β	ε
A – 15 N	0,95	1,59	0,10	0,64	1,14	0,43
A – 50 N	-1,53	5,46	0,16	0,94	0,99	0
B – 15 N	-11,67	2,39	0,93	1,47	0,45	5,44
B – 50 N	-1,91	3,62	0,48	0,85	0,76	5,96
C – 15 N	-4,99	14,92	0,18	1,16	0,87	1,08
C – 50 N	-2,72	5,31	0,14	0,94	0,89	0,59
A – 50 N	-5,12	12,62	0,19 (y) 0,10 (z)	1,12	0,83 (y) 0,87 (z)	0

Relativamente à análise ao perfil de velocidade no plano paralelo à superfície, o mesmo pode ser aproximado à expressão (8) [7]. Efetuado o ajuste pelo método dos mínimos quadrados através do uso de uma regressão não-linear multivariável, obtêm-se a aproximação indicada na Figura 8; os coeficientes para todos os ventiladores estão indicados na Tabela 3; onde ε é um parâmetro característico do jato.

$$\frac{u_m}{u_{m0}} = k_0 \left(\frac{d}{x}\right)^\alpha e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{k'(x-\varepsilon S)^\beta}\right)^2} \quad (8)$$

Xavier Viegas [4] a partir do estudo da linha de mistura obteve uma forma particular da expressão (8), com $\beta = 1$, tendo definido o produto εS como sendo uma translação da origem, à semelhança da origem virtual indicada por outros autores.

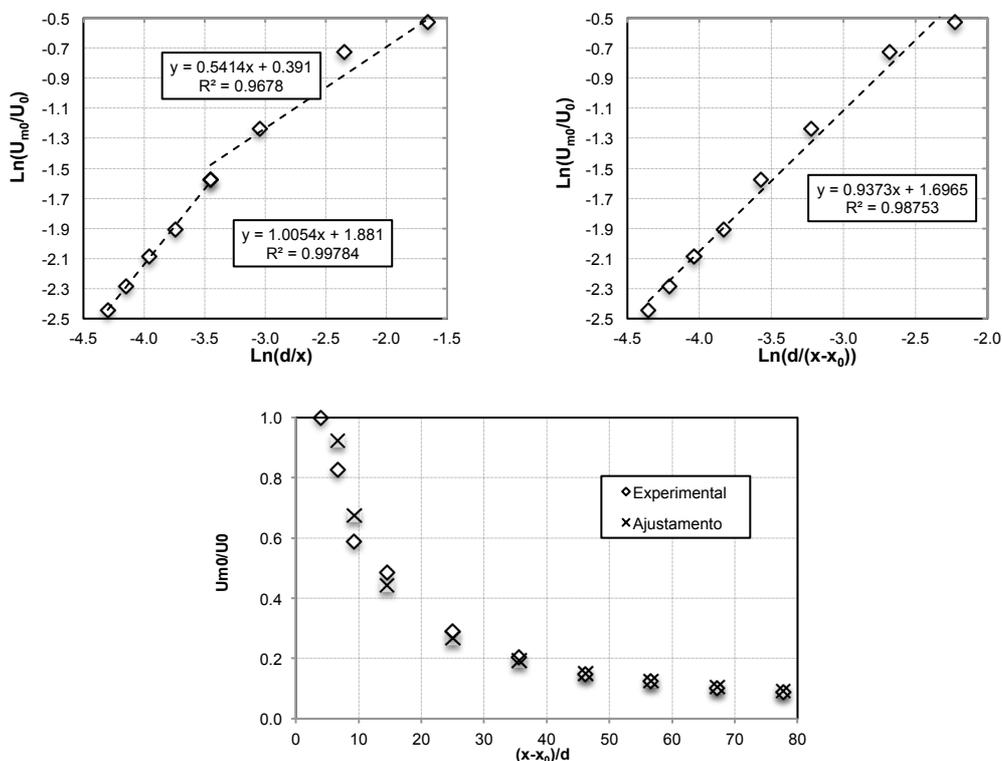


Figura 7: Logaritmo da função de decaimento da velocidade máxima para o ventilador A – 50 N e o respetivo ajustamento aos dados experimentais

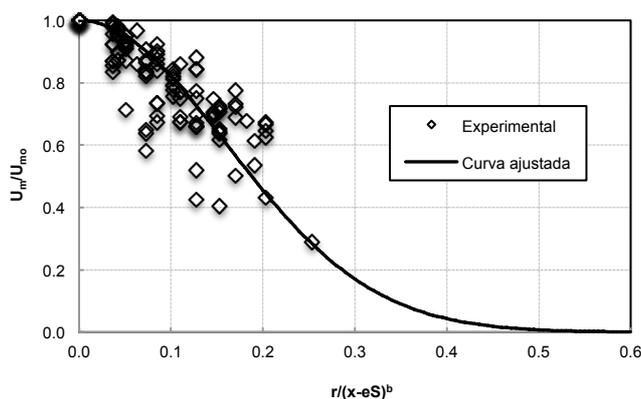


Figura 8: Ajuste da equação (8) aos resultados experimentais (A - 50 N)

Na direção z, para esta configuração, não foram determinados os valores característicos através da análise proposta em [7] mas, observou-se que a velocidade máxima do jato permanecia junto à superfície sólida devido ao efeito Coanda.

Fazendo uma análise com base nas equações (7), (3) e (4), ao mesmo conjunto de dados, obteve-se os resultados indicados na Tabela 4, e expressos nas Figuras 9 e 10.

Tabela 4: Constantes obtidas através das equações clássicas para o jato parietal

Ventilador	X_0 [m]	K_0	K_y	K_z	A
A – 15 N	0,95	4,17	0,70	0,74	1,50
A – 50 N	-1,53	5,80	0,69	0,68	1,48
B – 15 N	-11,67	4,70	0,64	0,70	1,49
B – 50 N	-1,91	5,66	0,67	0,72	1,49
C – 15 N	-4,99	9,14	0,90	0,81	1,52
C – 50 N	-2,72	6,78	0,67	0,70	1,49
A – 50 N	-5,12	9,96	0,71	0,66	1,48

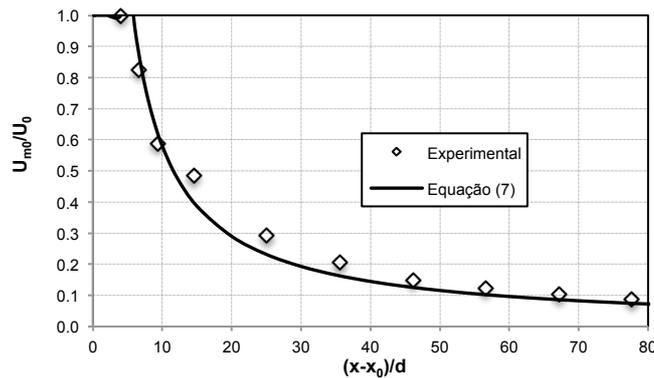


Figura 9: Ajuste da equação (7) aos resultados experimentais (A - 50 N)

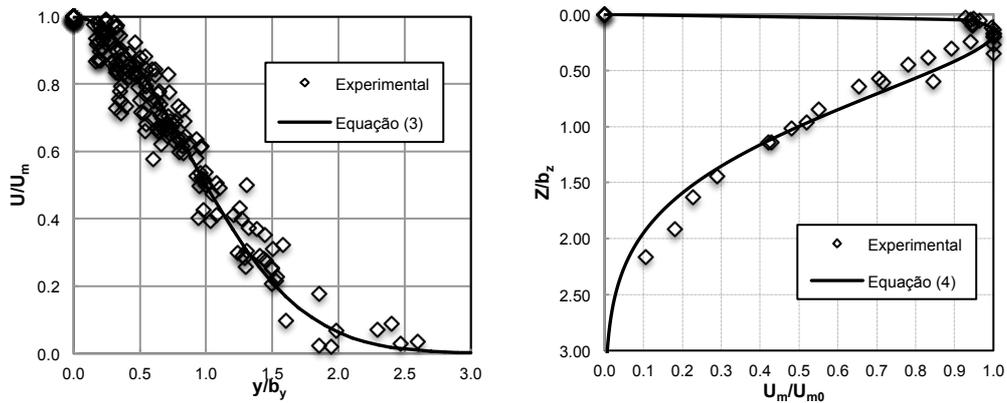


Figura 10: Variação do campo da velocidade em y e z, para o ventilador A – 50 N

3.3 Jato parietal confinado

Nesta configuração foram ensaiados dois ventiladores A – 50 N e, para a análise dos resultados, utilizou-se o procedimento indicado para o jato parietal. Os coeficientes determinados com base na abordagem [7] estão indicados na Tabela 3 (segunda entrada), e nas Figuras 11 e 12.

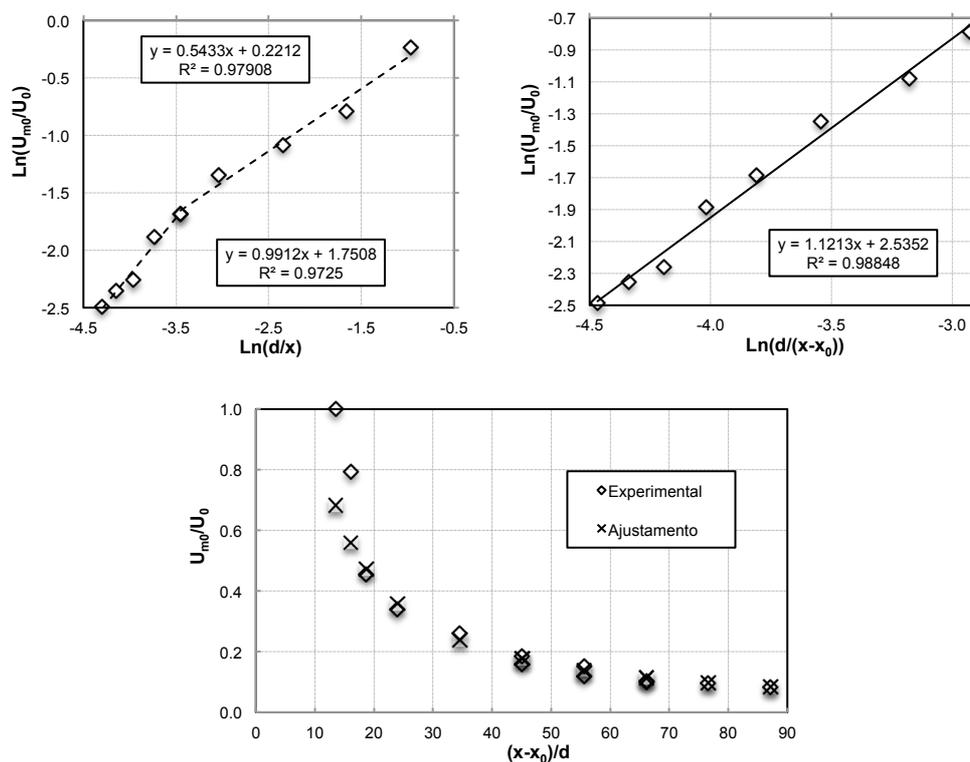


Figura 11: Logaritmo da função de decaimento da velocidade máxima para o ventilador A – 50 N e o respetivo ajustamento aos dados experimentais

Os resultados obtidos através do ajustamento das equações clássicas dos jatos parietais estão indicados na Tabela 4 nas Figuras 13 e 14.

4. Discussão

Analisando os resultados obtidos através da metodologia sugerida em [7], verifica-se que, para a determinação do decaimento da velocidade no eixo do jato a normalização sugerida permite efetuar um bom ajuste aos valores obtidos experimentalmente. Para o jato parietal e para o jato parietal confinado, apesar destes na primeira análise terem apresentado dois declives,

verificou-se que após a introdução do valor da origem virtual (determinada experimentalmente) a normalização utilizada permitiu também um bom ajuste aos valores obtidos experimentalmente. O mesmo foi observado aquando da análise pela curva clássica. Contudo, quando comparamos os valores da constante que descreve o decaimento da velocidade no eixo do jato verifica-se que os valores entre as duas metodologias é bastante diferente e que para a primeira metodologia os valores também são diferentes entre si.

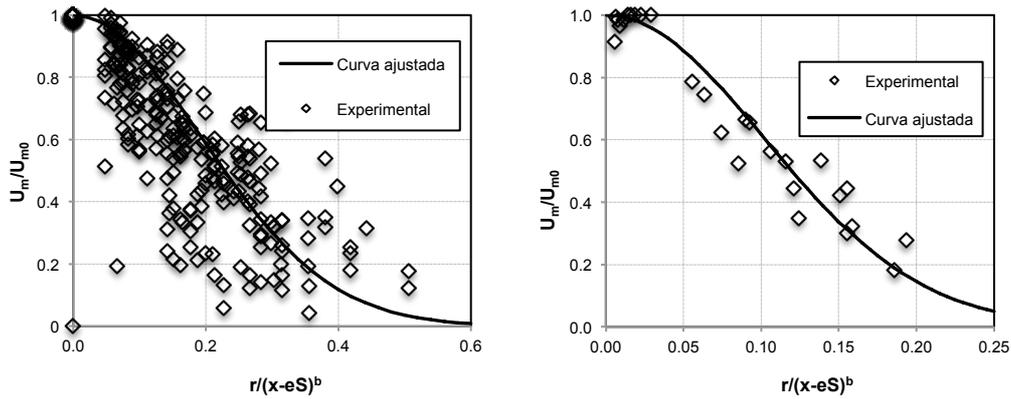


Figura 12: Variação do campo da velocidade em y e z, para o ventilador A – 50 N

A previsão do campo de velocidades no eixo y para as três configurações ensaiadas, através desta metodologia [7], apresenta uma dispersão significativa dos valores da velocidade adimensionalizada (pela velocidade máxima na secção do jato) em torno da curva que corresponde ao melhor ajustamento. Este comportamento parece indicar que o jato não possui características de autopreservação. Relativamente à análise ao campo de velocidades no eixo z, para a condição de jato parietal confinado, o ajustamento é bastante melhor que o verificado para o eixo y. O valor das constantes que descrevem o campo de velocidades, quando comparadas as duas metodologias, continuam a apresentar diferentes valores.

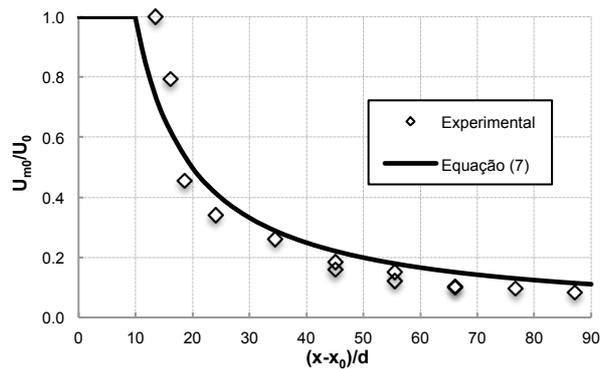


Figura 13: Ajuste da equação (7) aos resultados experimentais (A - 50 N)

Esta dispersão que se observa pode ser devida às difíceis condições de ensaio, que impuseram a utilização de instrumentação de caráter industrial, e ao confinamento do jato no interior de um pavilhão que, embora sendo de grandes dimensões, gera oscilações aproximadamente periódicas no escoamento.

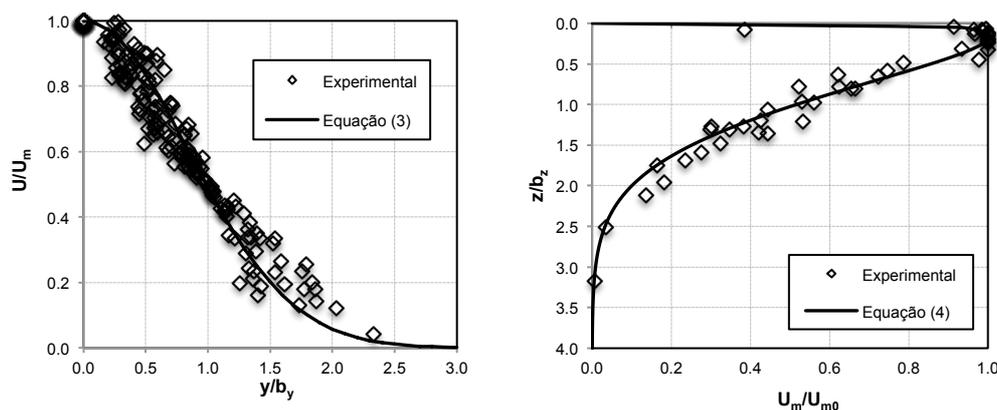


Figura 14: Variação do campo da velocidade em y e z, para o ventilador A – 50 N

Todavia, quando os resultados são ajustados pelas curvas clássicas para estas mesmas condições apresentam uma menor dispersão, evidenciando a característica de autopreservação do jato.

Comparando os valores das constantes que foram obtidas, verifica-se também esta tendência, ou seja, os resultados obtidos pela primeira metodologia têm valores mais dispersos, enquanto que os resultados obtidos pelo ajustamento às curvas clássicas são mais coerentes entre si. Todavia, o valor de k_0 e x_0 para o ventilador B-15 N na condição de jato livre, e para os ventiladores C – 15 N e A – 50 N (segunda entrada) na condição de jato parietal e parietal confinado, respetivamente, não são coerentes com os restantes, o que indicia que deverá ter ocorrido alguma variação/erro nos dados recolhidos que alteraram a tendência.

Da análise efetuada aos jato parietal confinado verifica-se que os resultados obtidos são idênticos aos obtidos para o jato parietal. Este comportamento poderá estar relacionado com o efeito Coanda e ao déficit de quantidade de movimento na direção normal ao escoamento que faz com que este seja defletido em direção à superfície mais próxima, e permanecendo assim pelo menos durante a extensão do ensaio ($x=28$ m). Nos trabalhos de Rajaratnam & Humphries [12] e Neide [13], também foi estudado o desenvolvimento de um jato na vizinhança de superfícies, tendo ambos reportado que a inclusão da segunda superfície não apresenta alterações significativas no desenvolvimento do jato, nem nas constantes das equações.

Observa-se que a inclusão da origem virtual tem uma grande influência no campo de velocidades dos jatos parietais; a sua não inclusão origina aproximações com duas retas que, estima-se que estejam relacionadas com a interação da superfície sólida ou com a descontinuidade que existe à saída do difusor do jato.

5. CONCLUSÕES

Nesta comunicação apresentaram-se os resultados das medições dos campos de velocidade para jatos gerados por ventiladores de impulso nas condições de jato livre, jato parietal e jatos parietal confinado por duas superfícies paralelas ao eixo. Efetuou-se o ajustamento de expressões analíticas aos campos de velocidade, com a determinação das constantes características dos jatos, através de duas adimensionalizações distintas. Para a primeira metodologia verifica-se que as constantes obtidas são bastante diferentes entre ventiladores, para a mesma configuração, indicando que se trata de uma característica própria de cada tipo de construção.

Todavia quando analisando os mesmos dados com a segunda metodologia verifica-se que esta tendência tende a desaparecer e os valores obtidos são muito semelhantes aos valores dados na literatura ($K_0=6$; $K_x=0,693$; $K_y=0,693$; $K_z=0,68$ e $A=1,48$).

Deste modo, evidencia-se que as características individuais dos jatos deverão ser tidas em conta no dimensionamento dos sistemas de ventilação de impulso nos parques de estacionamento cobertos mas que, se o projetista não estiver na posse destes elementos poderá sempre utilizar os valores mencionados na literatura que, em princípio, não obterá um resultado muito diferente. Contudo, deverá sempre ter em conta a dimensão do difusor do ventilador de impulso e a velocidade de saída do jato.

REFERÊNCIAS

- [1] Blevins, R. D. – *Applied Fluid Dynamics Handbook*. Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
- [2] Viegas, J. C. – *Utilização de Ventilação de Impulso em Parques de Estacionamento Cobertos*, Série Teses e Programas de Investigação do LNEC N.º 55, LNEC, 2008.
- [3] Schlichting, H. – *Boundary-Layer Theory*. McGraw-Hill Book Company, 1968.
- [4] Xavier Viegas, D. – *Uma Técnica de Erosão Aplicada ao Estudo da Interação de jatos Turbulentos com uma Superfície Plana*, Dissertação para Doutoramento em Ciências de Engenharia (Aerodinâmica), Coimbra, 1981.
- [5] Rajaratnam, N. – *Turbulent Jets*. Elsevier, 1976.
- [6] Tennekes, H.; Lumley, J. L. – *A First Course in Turbulence*. The MIT Press, 1972.
- [7] Viegas, J.; Cruz, H.; Virgílio, A.; Galhardas, H.; Neves, C. – *Caracterização de jatos isotérmicos gerados por ventiladores de impulso*, IV Conferência Nacional em Mecânica dos Flúidos, Termodinâmica e Energias, MEFTE 2012, Lisboa, 2012.
- [8] Awbi, H. – *Ventilation of buildings*. London, Spon Press, 2003.
- [9] Pani, B. S.; Dash, R. N. – *Diffusion of a Three-Dimensional Wall Jet in a Conveyance Channel of Limited Width*, Proceedings of Institution of Civil Engineers, vol. 82, no. 1, 1986
- [10] Uddin, M.; Pollard, A. – *Self-similarity of cofloing jets: The virtual origin*, Physics of Fluids, vol. 19, no. 068103-1, 2007.
- [11] Pope, S. B. – *Turbulent Flows*. Cambridge Press, 2000.
- [12] Rajaratnam, N.; Humphries, J. A. – *Turbulent Non-Buoyant Surface Jets*, *Journal of Hydraulic Research*, vol. 22, no. 2, 1984.

- [13] Veiga, N. G. - Simulação Computacional do Escoamento Induzido por um Incêndio num Parque de Estacionamento Coberto. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, IST, 2009.