



## **ANÁLISE EXPERIMENTAL DA DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS AÉREAS EM CABINE DE AERONAVE COM INSUFLAMENTO DE AR PELO PISO**

**Douglas Fabichak Junior (1); Evandro Souza da Silva (2); José Carlos Orsi Morel (3);  
Arlindo Tribess (4);**

(1) Engenheiro, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, [fabichak@usp.br](mailto:fabichak@usp.br)

(2) Engenheiro, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,  
[evandrosouzadasilva@yahoo.com.br](mailto:evandrosouzadasilva@yahoo.com.br)

(3) Físico, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, [metrofis@dialdata.com.br](mailto:metrofis@dialdata.com.br)

(4) Livre Docente, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica, [atribess@usp.br](mailto:atribess@usp.br)  
Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Conforto Térmico e  
Qualidade do Ar, São Paulo - SP, 05508-970

### **RESUMO**

Atualmente, o sistema de distribuição de ar comumente utilizado em cabines de aeronaves consiste no insuflamento de ar na parte superior e retorno na parte inferior, com mistura do ar na cabine. Devido à sua característica de mistura, este sistema pode espalhar doenças infecciosas pelo ar na cabine. A eclosão mundial do vírus SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*) em 2003 demonstrou que a disseminação de contaminantes aéreos ainda é um evento não controlável, uma vez que foi rapidamente difundido mundo afora, principalmente porque pessoas infectadas viajaram de avião para cidades distantes. Fatos como esses têm motivado governos, empresas e instituições de pesquisa a investirem fortemente em pesquisa e desenvolvimento. Novos sistemas de ventilação e de distribuição de ar em aeronaves, baseados em sistemas de ventilação por deslocamento e sistemas de ventilação pelo piso, estão começando a ser estudados. No presente trabalho foi realizada uma análise experimental de distribuição de partículas aéreas considerando insuflamento de ar pelo piso (UFAD), em mock-up de 12 lugares, utilizando gerador e contador de partículas. Verificou-se que a distribuição de partículas sofre grande influência da temperatura de insuflamento do ar na cabine, bem como da posição em que o passageiro se encontra na cabine. Por outro lado, tendo em vista as características do escoamento neste tipo de sistema de ventilação, o sistema UFAD apresenta grande potencial para a melhoria da qualidade do ar em cabines de aeronaves.

Palavras-chave: qualidade do ar, contaminação aérea, sistema de ventilação, aeronaves.

### **ABSTRACT**

Currently, the air distribution system commonly used in aircraft cabin consists of supplying air at the top and returning at the bottom, with mixing air into the cabin. Due to its mixing characteristic, this system can spread infectious diseases by the air in the cabin. The global outbreak of SARS virus (*Severe Acute Respiratory Syndrome*) in 2003 showed that the spread of airborne contaminants is still an uncontrollable event, since it was spread quickly around the world, mainly because infected people who have flown to distant cities. Facts like these have motivated governments, companies and research institutions to invest heavily in research and development. New aircraft ventilation and air distribution systems, based on displacement ventilation and underfloor air distribution systems, are beginning to be studied. In this paper we analyzed experimental distribution of airborne particles considering underfloor air distribution system (UFAD) in mock-up of 12 seats, using generator and particle counter. It was found that the particle distribution is greatly influenced by the temperature of the underfloor supplied air, as well as by the passenger place in the cabin. Moreover, given the characteristics of the flow in this type of ventilation system, the UFAD system has great potential for improving the air quality in aircraft cabins.

Keywords: air quality, airborne contamination, ventilation system, aircraft.

## 1. INTRODUÇÃO

São muitas as dificuldades encontradas quando se trata da qualidade do ar em cabines de aeronaves, sendo necessários grandes esforços para propiciar aos passageiros um ambiente saudável e confortável.

Em cabines de aeronaves comerciais a elevada densidade de ocupação resulta em taxas de ventilação por pessoa relativamente baixas, o que leva a uma redução na taxa de diluição de contaminantes patogênicos exalados pelas pessoas. Além disso, o espaço interno limitado com elevado número de ocupantes, faz com que os passageiros fiquem muito próximos uns aos outros.

Esta proximidade dos passageiros, aliada a baixas taxas de ventilação por pessoa e ao longo tempo de exposição, podem prover um ambiente favorável para a transmissão de doenças infecciosas por contato e por partículas aéreas (WAN *et al.*, 2009).

Mangili e Geandreau (2005) citam vários casos de disseminação de enfermidades em cabines de avião, dentre elas as do vírus influenza, malária e dengue, mostrando que as cabines de aeronaves são ambientes propícios para a infecção cruzada de doenças.

Embora o entendimento sobre a contaminação aérea em aeronaves e em outros tipos de ambientes tenha evoluído bastante, pouco ainda se conhece sobre a dinâmica das partículas e a influência de novos sistemas de ventilação na dispersão de agentes infecciosos para controlar e prevenir a sua disseminação (MORAWSKA, 2005; LI *et al.*, 2007; YANG, 2007; NIELSEN, 2007; NIELSEN, 2008).

### 1.1. Ventilação e distribuição de ar em cabines de aeronaves

O sistema de distribuição de ar mais utilizado em cabines de aeronaves consiste no insuflamento de ar na parte superior e retorno na parte inferior com mistura do ar na cabine, *Mixing Ventilation* – MV. O resultado é uma temperatura quase uniforme na cabine e a dispersão de contaminantes.

Embora, normalmente, o sistema MV proporcione um ambiente com baixa estratificação de temperatura, problemas de conforto térmico têm sido verificados. Além disso, devido à sua característica de mistura, pode espalhar mais facilmente doenças infecciosas pelo ar na cabine (GAO e NIU, 2007, ZHANG *et al.* 2007).

Para tentar resolver os problemas de conforto térmico e de qualidade do ar novos sistemas de ventilação e de distribuição de ar em aeronaves estão começando a ser estudados (ZHANG e CHEN, 2007) e testados (DLR, 2011), baseados em sistemas de ventilação por deslocamento, *Displacement Ventilation* - DV (CHEN e GLICKSMAN, 2003) e sistemas de ventilação pelo piso, *UnderFloor Air Distribution* - UFAD (BAUMAN e DAILY, 2003), já aplicados em edificações.

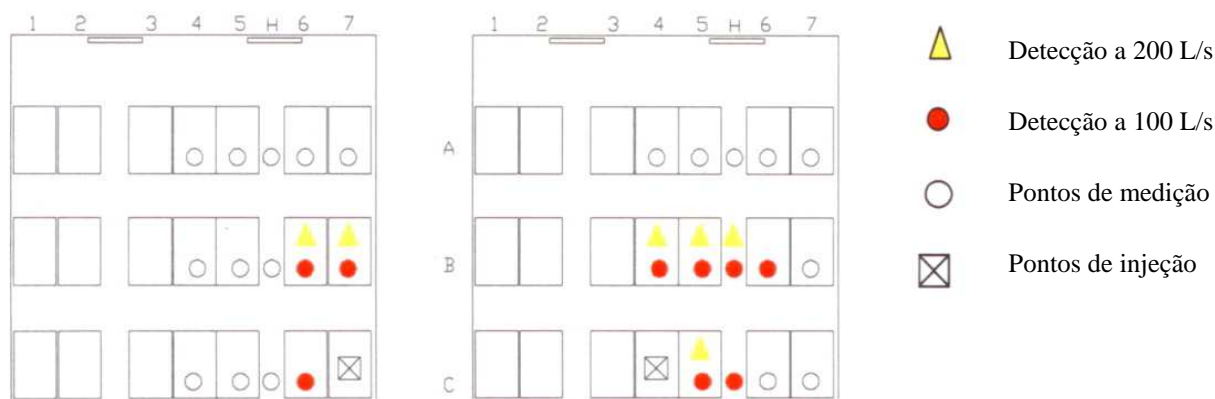
No sistema UFAD, ar fresco é insuflado no ambiente a partir do piso (Fig. 1-3), e de maneira semelhante ao sistema DV, o escoamento se soma à pluma térmica dos ocupantes levando os contaminantes até a exaustão pelo teto (LEITE e TRIBESS, 2006, PEREIRA *et al.*, 2009).

### 1.2 Estudos de ventilação e de contaminação aérea em cabines de aeronaves

Embora ainda em número bastante reduzido, nos últimos anos tem aumentado o número de trabalhos relativos a estudos de ventilação e de contaminação aérea em cabines de aeronaves.

Estudos experimentais têm sido realizados em *mock-ups* de aeronaves de uma seção da cabine ou em aeronaves paradas simulando condições de escoamento em voo. Isto ocorre porque estudos experimentais em condições reais de voo, quando conduzidos com razoável resolução espacial para obtenção de resultados confiáveis, são extremamente caros (ZHANG e CHEN, 2007).

Wan *et al.*, 2005, realizaram estudo experimental de dispersão de gotículas expiratórias em *mock-up* com 21 assentos (três fileiras de sete assentos). O *mock-up*, instalado no *International Center for Indoor Environment and Energy*, da Dinamarca, é dotado de sistema de ventilação convencional, sistema MV, com pessoas sendo simuladas com a utilização de manequins aquecidos. Foi utilizado gerador de partículas simulando pessoa tossindo, desenvolvido pelos próprios pesquisadores. A Figura 1 mostra os pontos de injeção e de medição para duas vazões de ar de cabine de 100 L/s e de 200 L/s, com medições realizadas a 1,10 m do piso (zona de respiração). Os resultados desta pesquisa mostraram que um menor número de partículas foi disperso para outros assentos quando a injeção das partículas foi feita simulando passageiro junto à fuselagem em comparação com passageiro sentado em poltrona no centro do *mock-up*. Segundo os autores, isso sugere que o fluxo de ar descendente junto à fuselagem tenha suprimido a dispersão de partículas, enquanto o fluxo ascendente no centro do *mock-up* tenha aumentado a dispersão.



**Figura 1.** Pontos de injeção e de detecção de gotículas para diferentes vazões de ar (WAN et al., 2005) .

Zhang et al., 2008, também estudaram a dispersão de biocontaminantes em *mock-up* de avião patrocinado pelo FAA - *Federal Aviation Authority* dos EUA- com manequins aquecidos e sistema de ventilação convencional – sistema MV, focando nos campos de velocidade, temperatura e concentração de contaminantes. O objetivo do trabalho foi a validação e avaliação de modelos numéricos. Nesse trabalho, contaminantes expiratórios foram simulados com gás traçador SF<sub>6</sub>, e partículas monodispersas de Di-etil-hexil-sebacato (DEHS) com tamanho médio de 0,7µm, produzidas com gerador de aerossol TSI modelo 3475. Tanto as partículas gasosas como as líquidas foram injetadas mediante tubos metálicos e monitoradas em 48 pontos distintos, distribuídos em dois planos de medição.

Yan et al., 2009, estudaram a transmissão de contaminantes gerados por atividades expiratórias em *mock-up* de Boeing 737-300, também dotado de sistema convencional de ventilação, sistema MV, empregando gás traçador (CO<sub>2</sub>), focando também nas partículas menores. Os pesquisadores injetaram 4,5L/min do gás nas proximidades da zona de respiração de um passageiro infectado durante 5 minutos, e a partir deste momento, monitoraram a concentração de CO<sub>2</sub> na zona de respiração dos outros passageiros mediante a utilização de 14 sensores de CO<sub>2</sub> por infravermelho não-dispersivo. Os autores também realizaram simulação utilizando dinâmica dos fluidos computacional - CFD (*Computational Fluid Dynamics*). De maneira geral, os autores concluíram que o sistema de ventilação influencia significativamente no mapa de concentração de partículas na cabine.

Na mesma linha de trabalho de Wan et al., 2005, e utilizando as mesmas instalações e equipamentos do *International Center for Indoor Environment and Energy*, da Dinamarca, Sze To et al., 2009, tiveram por objetivo caracterizar a dispersão e deposição de gotículas provenientes de atividades expiratórias em cabine de aeronaves, bem como identificar os efeitos do sistema global de ventilação, sistema MV, na diluição e remoção dessas partículas. Os resultados obtidos por estes autores mostraram que o aumento da vazão de ar de renovação (maior vazão) provoca redução na concentração de partículas nas proximidades do ponto de injeção, devido ao efeito de diluição. Porém, a dispersão de partículas aumentou, o que provocou uma elevação da concentração de contaminantes nos assentos mais distantes do ponto de injeção. Foi observado também que a dispersão das partículas depende do seu tamanho médio, tendo sido obtidos índices de deposição de partículas da ordem de 60 a 70%. Neste estudo também não foi investigada a influência de diferentes formas de ventilação na dispersão dos contaminantes na cabine.

Observa-se nos estudos apresentados que todos tratam da análise experimental da contaminação aérea em sistema de ventilação por mistura, sistema MV, que é o sistema convencional utilizado nas aeronaves comerciais atualmente. Não foram encontrados na literatura aberta estudos experimentais com outros sistemas de ventilação e de distribuição de ar. Foi encontrado somente um trabalho de simulação CFD, o trabalho de Zhang e Chen, 2007, que realizaram estudos da dispersão de CO<sub>2</sub> gerado pela respiração de passageiros em cabine de B767-300, com três formas de insuflamento de ar: ventilação por mistura – MV, ventilação pelo piso - UFAD, e ventilação pelo piso juntamente com ventilação personalizada. Dos resultados de simulação, os autores concluíram que o sistema convencional, sistema MV, proporciona temperatura mais homogênea do ar. Porém, esse sistema oferece um risco maior de espalhar a contaminação proveniente de um local para os demais. Nos sistemas com insuflamento pelo piso, sistema UFAD, o risco de contaminação diminui, pois as velocidades são baixas e o ar segue um fluxo ascendente, mais regular.

Recentemente, Conceição, 2012, desenvolveu trabalho de doutorado na análise experimental e numérica (CFD) de contaminação aérea cruzada em *mock-up* de aeronave de 20 lugares, resultando em um processo de avaliação de contaminação aérea em cabines climatizadas, que foi testado na análise da

influência de sistema de ventilação personalizado (válvula *gasper*) com sistema de ventilação convencional MV, e que foi utilizado como referência no desenvolvimento do presente trabalho.

## 2.OBJETIVO

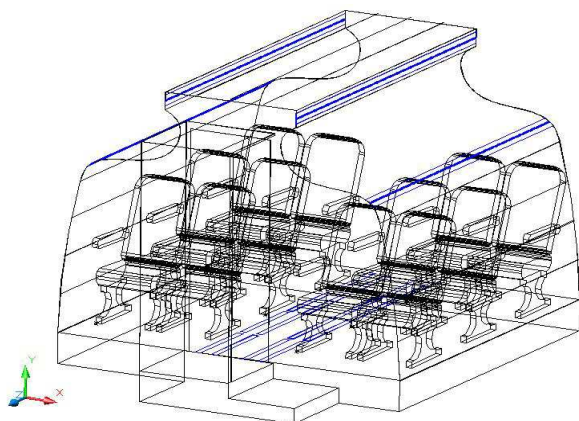
Este artigo tem como objetivo realizar análise experimental de distribuição de partículas considerando sistema de ventilação pelo piso (UFAD), em *mock-up* de cabine de avião de 12 lugares, utilizando gerador e contador de partículas.

## 3.MÉTODO

No desenvolvimento do presente trabalho foi utilizado processo desenvolvido por Conceição, 2012, de avaliação de contaminação aérea em cabines climatizadas, onde são definidos o método de geração e de detecção de partículas, apresentados a seguir.

### 3.1. *Mock-up*

Os ensaios foram realizados em *mock-up* de cabine de aeronave de 12 lugares e a presença das pessoas foi simulada com a utilização de manequins aquecidos (Fig.2).



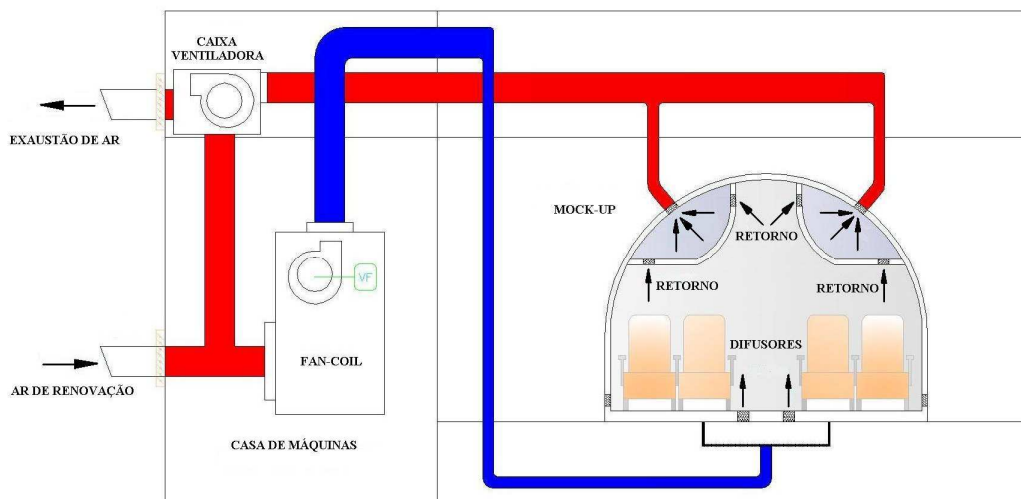
**Figura 2.** Vista do *mock-up* com manequins aquecidos simulando pessoas

### 3.2.Sistema de ventilação pelo piso (UFAD)

A Figura 3 apresenta representação esquemática do sistema de insuflamento de ar pelo piso (UFAD), com insuflamento pela parte inferior central da cabine (corredor) e exaustão pela parte lateral (60%) e superior dos bagageiros (40%), utilizado no desenvolvimento do presente trabalho.

### 3.3.Gerador e contadores de partículas

Com base nos requisitos estabelecidos por Conceição, 2012, foi escolhido o gerador de aerossol da TSI Modelo 3475 (Fig. 4), que permite variar o tamanho médio e a concentração das partículas geradas. Para gerar o aerossol foi utilizado DEHS (Di-Etil-Hexil-Sebacato), que é um líquido com baixa taxa de evaporação e massa específica próxima à da água ( $915 \text{ kg/m}^3$ ).



**Figura 3.** Sistema UFAD, com insuflamento pela parte inferior central e exaustão pela parte lateral e superior dos bagageiros.

A medição das partículas foi realizada com contador óptico da marca Met One (Fig. 3). O contador de partículas possui 6 canais para contagem de partículas na faixa de 0 a 10,0  $\mu\text{m}$  (1,0 a 2,0  $\mu\text{m}$ , de 2,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ , de 3 a 5  $\mu\text{m}$ , de 5 a 7  $\mu\text{m}$ , de 7 a 10  $\mu\text{m}$ , e maior do que 10  $\mu\text{m}$ ). O contador foi calibrado em meados de 2012.

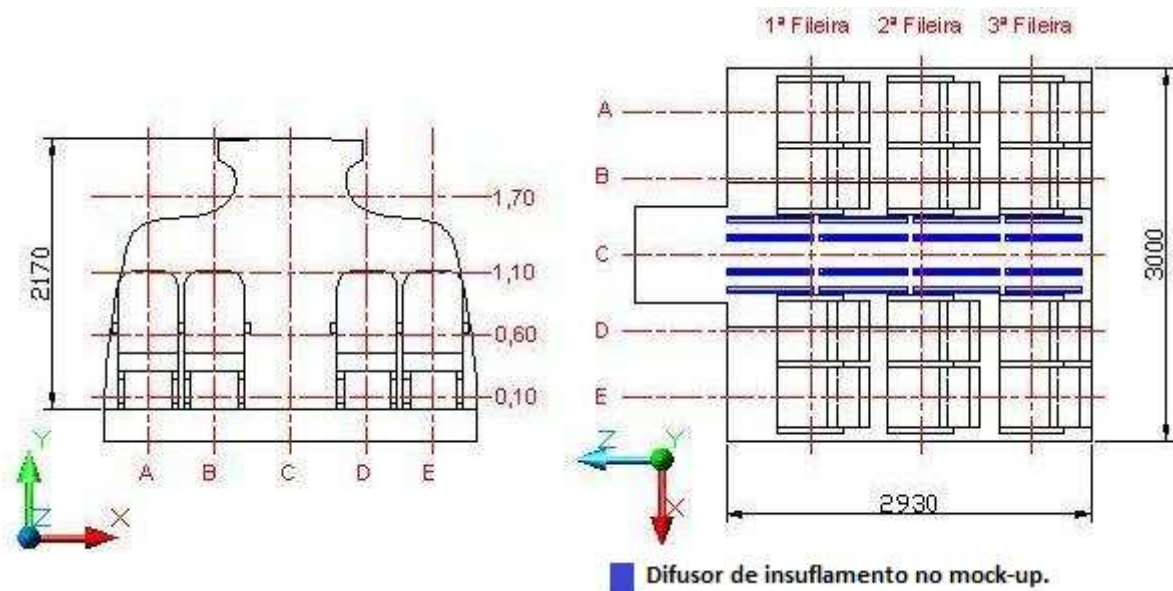


**Figura 4.** Gerador de aerossol TSI modelo 3475 e contador de partículas MetOne, modelo HHPC6.

### 3.4. Procedimento experimental

Os ensaios foram realizados para temperaturas de ar de insuflamento de 18 e 22  $^{\circ}\text{C}$  com vazão de ar de 9,5 l/s por pessoa, que corresponde a 34  $\text{m}^3/\text{h}$  (20 cfm) por pessoa, conforme recomendado pela norma ASHRAE 161 (2007), perfazendo vazão total de 408  $\text{m}^3/\text{h}$  (cabine com 12 pessoas). A vazão de ar foi determinada e monitorada a partir da medição da velocidade do ar nos dutos de retorno utilizando tubos de Pitot.

Para a verificação das condições do escoamento e de condições de ensaio em regime permanente, temperaturas e velocidades do ar no interior da cabine foram medidas com a utilização de termopares e anemômetros omnidirecionais, com incertezas de medição, respectivamente, de  $\pm 0,5$   $^{\circ}\text{C}$  e  $\pm (0,02 + 0,02 V)$  m/s, que atendem aos requisitos de precisão de equipamentos da norma ISO 7730 (1998). Os planos de medição das velocidades e temperaturas são apresentados na Figura 5.



**Figura 5.** Planos de medição de temperaturas e de velocidades do ar na cabine.

A umidade relativa do ar foi mantida em 50%. Em função de ter sido utilizado o DEHS, que é um líquido com baixa taxa de evaporação, na geração das partículas, a umidade relativa do ar da cabine não deve influenciar significativamente na concentração de partículas medidas ao longo do experimento (ZHANG et al., 2008, CONCEIÇÃO, 2012).

A exemplo do trabalho desenvolvido por Conceição, 2012, o gerador de aerossol foi configurado para gerar partículas com tamanho médio de  $4 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$  e concentração em torno de  $0,61 \cdot 10^6/\text{cm}^3$ . Esta concentração de partículas é da mesma ordem de grandeza da concentração de gotículas geradas em um espirro (DUGUID, 1946).

Tendo em vista os resultados obtidos por Wan et al., 2005, que mostraram que um menor número de partículas foi disperso para outros assentos quando a injeção das partículas foi feita simulando passageiro junto à fuselagem em comparação com passageiro sentado em poltrona no centro do mock-up, no presente trabalho também foram realizados ensaios considerando estas duas possibilidades. Os pontos de injeção de aerossol, juntamente com os pontos de medição das partículas são mostrados na Figura 6. As medições foram realizadas na altura de 1,10 m a partir do piso (região de respiração), com medições realizadas após se atingir condições de regime permanente. Para evitar retorno das partículas pelo sistema de climatização, os ensaios foram realizados com 100% de ar de renovação.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados, respectivamente, os perfis de temperaturas e velocidades do ar obtidas para temperaturas de insuflamento de 18 e 22 °C.

Verifica-se da análise da Figura 7 que o formato dos perfis de temperatura praticamente independe da temperatura do ar de insuflamento, sendo determinado pelo tipo de escoamento (insuflamento de ar pelo piso no corredor e exaustão pela parte lateral e superior dos bagageiros) e da transferência de calor dos manequins simulando pessoas, resultando em temperaturas maiores na região das pernas.

Por outro lado, verifica-se na Figura 8 que os perfis de velocidade sofrem alteração em função da temperatura do ar insuflado. Este fato está relacionado com flutuações do escoamento decorrente da transferência de calor (pluma térmica) e também devido a instabilidades do escoamento turbulento em baixas velocidades. Além disto, com velocidades tão baixas, as incertezas de medição também são significativas.

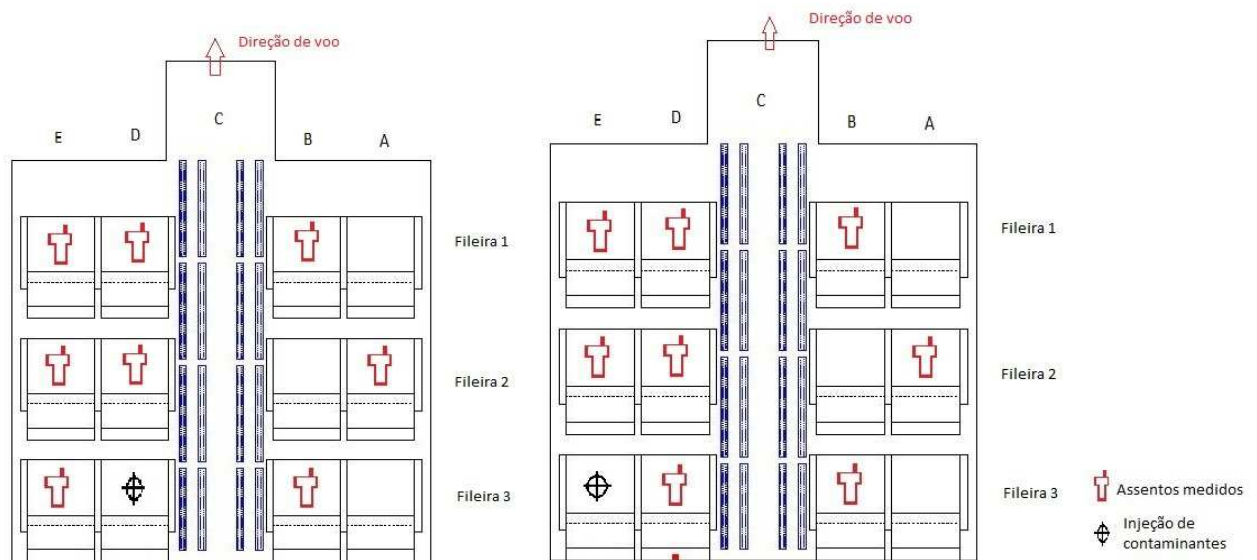


Figura 6. Pontos de injeção e medição de partículas no *mock-up*, mostrando o insuflamento de ar pelo piso no corredor.

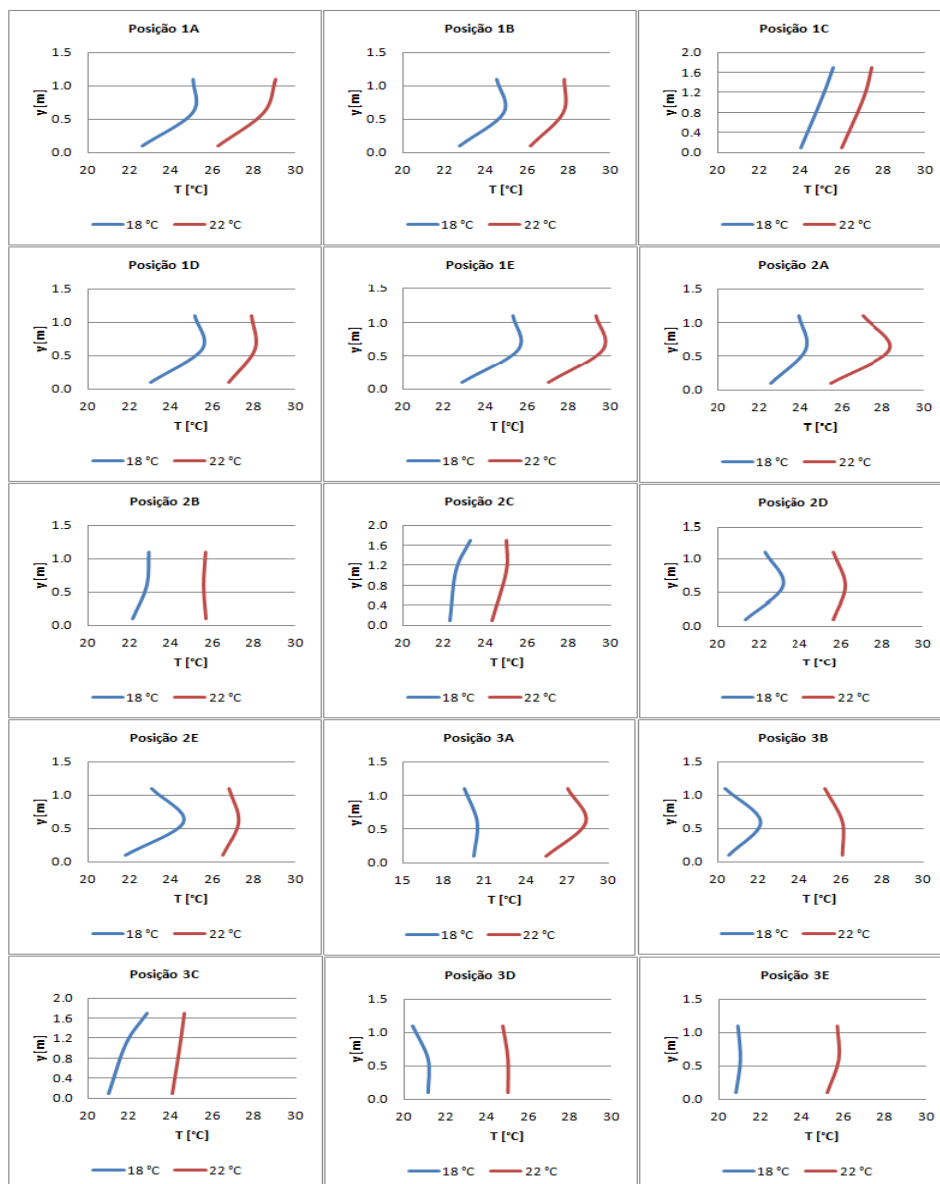
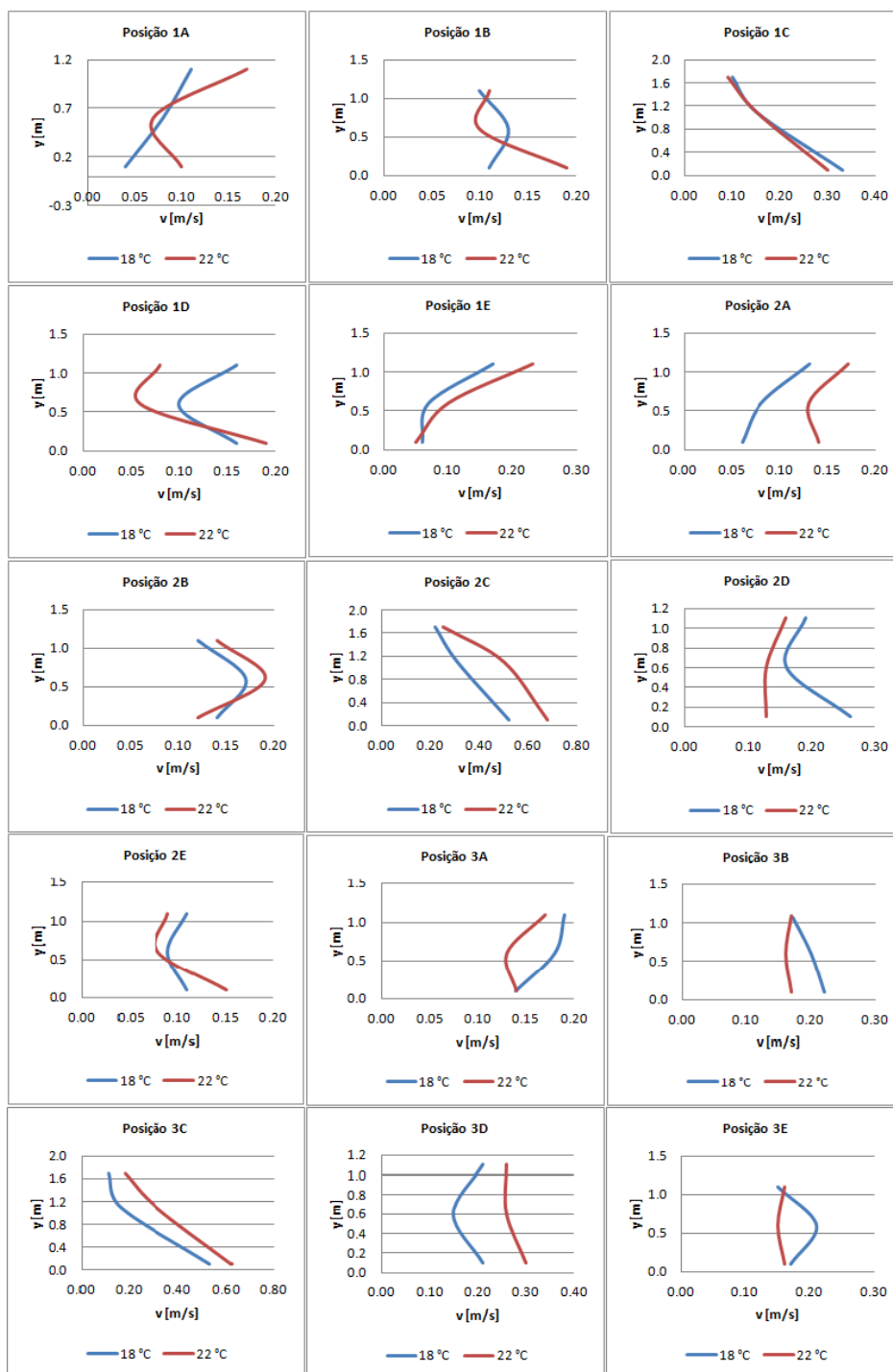


Figura 7. Perfis de temperatura do ar para temperaturas de insuflamento de 18 °C e 22 °C.



**Figura 8.** Perfis de velocidade do ar para temperaturas de insuflamento de 18°C e 22°C.

Na Figura 9 é apresentado um quadro comparativo da quantidade de partículas em função da posição de\* injeção das partículas na cabine, bem como da temperatura de insuflamento do ar na cabine. Da análise desta figura verifica-se que, de uma maneira geral, há um aumento na concentração de partículas na zona da respiração em condições de insuflamento do ar a 22 °C. Este fato deve estar relacionado com a formação de uma pluma térmica maior em condições de temperatura do ar de insuflamento a 18 °C, arrastando uma quantidade maior de partículas para a exaustão.

Nota-se que quando as partículas são injetadas pelo assento (3 E), promove-se um aumento da concentração de partículas na maioria dos assentos. Ou seja, quando há o insuflamento pelo lado da janela da aeronave, há uma predisposição maior de contaminação de passageiros nesse sistema de ventilação estudado. E também os assentos correspondentes ao lado oposto da injeção de partículas, assentos 1B, 2A e 3B, tem



uma menor concentração de partículas devido ao insuflamento no corredor funcionar como uma barreira separando as fileiras A e B das D e E.

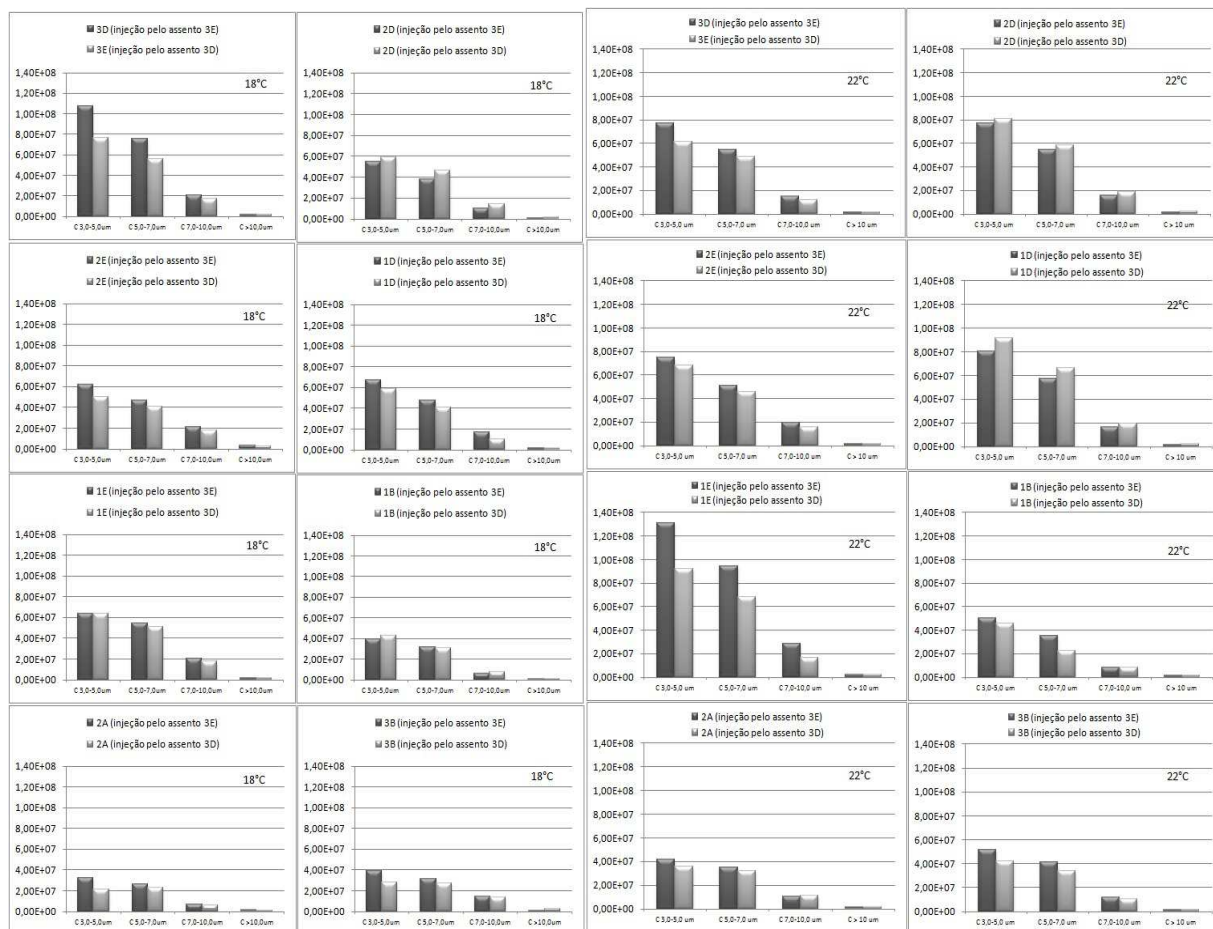


Figura 9. Quadro comparativo entre assentos com geração pelos dois lados a 18°C e 22°C

## 5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do presente trabalho verificou-se que a distribuição de partículas sofre grande influência da temperatura de insuflamento do ar na cabine, bem como da posição em que a pessoa se encontra na cabine. Por outro lado, tendo em vista as características do escoamento neste tipo de sistema de ventilação, o sistema UFAD apresenta grande potencial para a melhoria da qualidade do ar em cabines de aeronaves.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMAN F., DAILY A., (2003), Underfloor air distribution (UFAD) design guide. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- CHEN Q, GLICKSMAN L. (2003), System performance evaluation and design guidelines for displacement ventilation. Atlanta, GA: ASHRAE;
- CONCEIÇÃO, S. T., (2012). Contaminação aérea em cabines climatizadas: Processo de avaliação e análise da influência de sistema de ventilação personalizado. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 218p.
- DLR, (2011). DLR and Airbus flight-test new aircraft ventilation system. [http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10256/366\\_read-1664](http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10256/366_read-1664). acessado em 05.04.2013.
- DUGUID, J. P., (1946), The Size and the Duration of Air-Carriage of Respiratory Droplets and Droplet-Nuclei, J. Hyg. 44:471–479.

- GAO, N.P. NIU, J.L., PERINO, M. HEISELBERG,P. (2007), The airborne transmission of infection between flats in high-rise residential buildings: Tracer gas simulation, *Building and Environment* 43: 1805–1817.
- LEITE, B. C. C. , TRIBESS, A., (2006), Analysis of thermal comfort in an office environment with underfloor air supply in a tropical climate. *HVAC&R Research*. 12(2): 215-229.
- LI, Y., LEUNG, G.M., Tang, J.W., YANG, X., CHAO, C.Y.H., LI, J.Z., LU, J.W., NIELSEN, P.V., NIU, J., QIAN, H., SLEIGH, A.C., SU, J., SUNDELL, J., WONG, T.W., YUEN, P.L., (2007), Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air*, 17, pp. 2-18.
- MANGILI A., GENDREAU, M.A., (2005) Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *Lancet*; 365: 989–96
- MORAWSKA, L., (2005), “Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection?”, *Proceedings of Indoor Air 2005*, Beijing, China.
- NIELSEN, P.V, BARTHOLOMAEUSSEN, N.M., JAKUBOWSKA, E., JIANG, H., JONSSON, O.T., KRAWIECKA, K., MIERZEJEWSKI, A., THOMAS, S.J., TRAMPCZYNSKA, K., POLAK, M., SOENNICHSEN, M., (2007), Chair with integrated personalized ventilation for minimizing cross infection. *Proceedings of Roomvent*.
- PEREIRA, M. L., GRAUDENZ, G., TRIBESS, A., MORAWSKA, L., (2009), Determination of particle concentration in the breathing zone for four different types of office ventilation systems. *Building and Environment*. 44: 904–911.
- SZE TO, G.N., WAN, M. P., Chao, C. Y. H., Fang, L. Melikov, A.(2009) 'Experimental Study of Dispersion and Deposition of Expiratory Aerosols in Aircraft Cabins and Impact on Infectious Disease Transmission', *Aerosol Science and Technology*, 43: 5, 466 — 485.
- WAN, M.P., CHAO, C.Y.H., FANG, L., (2005), transmission characteristics of passenger-exhaled droplets in a simulated air-cabin environment. *Proceedings of Indoor Air*.
- WAN, M. P., SZE TO, G.N., CHAO, C. Y. H., FANG, L. MELIKOV, A., (2009). Modeling the Fate of Expiratory Aerosols and the Associated Infection Risk in an Aircraft Cabin Environment', *Aerosol Science and Technology*, 43: 4, 322—343.
- YAN, W., ZHANG, Y., SUN, Y., LI, D., (2009), Experimental and CFD study of unsteady airborne pollutant transport within an aircraft cabin mock-up. *Building and Environment* 44;34–43.
- ZHANG T, CHEN X, MAZUNDAR S, ZHANG, T. CHEN, Q., (2007), Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mock-up. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Air Distribution in Rooms – Roomvent 2007*. Helsinki.
- ZHANG T., CHEN Q., (2007), Novel air distribution systems for commercial aircraft cabins. *Building and Environment* (42):1675-1684.
- ZHANG Z., CHEN X., MAZUNDAR S., ZHANG, T. CHEN, Q., (2008), Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mock-up. *Building and Environment*, doi:10.1016/j.buildenv.2008.01.012.
- ZHANG, Z., CHEN, Q., (2006), Experimental measurements and numerical simulations of particle transport and distribution in ventilated rooms. *Atmospheric Environment*, 40(18), 3396-3408.
- ZHANG, Z., CHEN, Q., (2007), Comparison of the eulerian and lagrangian methods for predicting particle transport in enclosed spaces. *Atmospheric Environment* 41 (2007) 5236–5248.

## AGRADECIMENTOS

O autor Douglas Fabichak Júnior gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Mestrado concedida.