

**Sistemas de ventilação personalizados  
e a influência no conforto térmico  
e na qualidade do ar**

**Arlindo Tribess**  
**[atribess@usp.br](mailto:atribess@usp.br)**



**Contextualização**

**Correntes de ar**

**Contaminação aérea**

**Sistemas de ventilação**

**Sistemas de ventilação personalizados**

**Referências bibliográficas**



## **Conforto térmico** (ISO 7730:2005, ASHRAE 55: 2004, NBR 16401-2:2008)

Corpo como um todo: PMV/PPD, Cartas de Conforto, Faixas de conforto

Desconforto local: Assimetria de temperatura radiante

Diferença de temperatura entre os pés e a cabeça

Correntes de ar (*draught*)

## **Qualidade ao ar** (ASHRAE 62.1: 2007, NBR 16401-3:2008)

Aspectos físicos, químicos e biológicos

Renovação de ar, filtragem

Distribuição do ar: Contaminação aérea



## Sistemas de Ventilação Personalizados

### Objetivo

Melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar

### Cuidados

Risco de correntes de ar  
Contaminação aérea



(Leite e Tribess, 2006)



Resfriamento localizado e indesejado no corpo

*Partes do corpo descobertas*

- Cabeça, pescoço e ombros
- Pés, tornozelos e pernas

*Atividade leve ou sedentária*

$$PD = \left[ (34 - T_{ar}) \cdot (V_{ar} - 0,05)^{0,62} \right] (0,37 \cdot V_{ar} \cdot T_u + 3,14) \quad (\text{Fanger et al., 1988})$$

**PD: Percentage of Dissatisfied**

**$T_{ar}$ : temperatura do ar local (°C)**

**$V_{ar}$ : velocidade média do ar local (m/s)**

**$T_u$ : intensidade de turbulência (%)**

$$T_u = \frac{DP_v}{V_{ar}} \cdot 100$$

**$DP_v$ : desvio padrão (m/s)**

**$V_{ar}$ : velocidade média do ar (m/s)**



## Análise experimental

### Medição (ISO 7726:1998)

Temperatura do ar



Velocidade do ar

Anemômetro fio quente  
(aquisição de dados)



### Avaliação

Cálculo PD

Região da cabeça

Região dos pés

**Normas técnicas:  $PD < 15\%$**



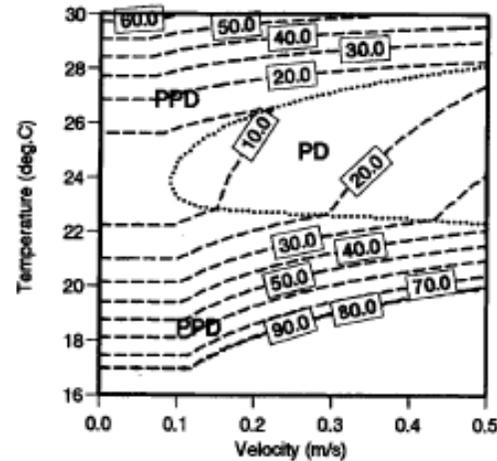
# Correntes de ar ( $DR = Draught Rate$ )

7

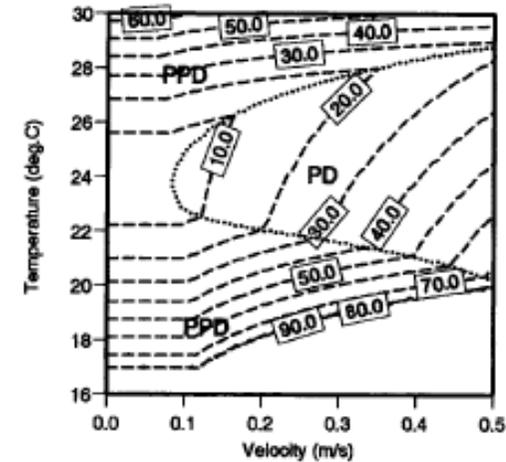
$$\Psi = \max [PPD, PD]$$

PPD – % Insatisfeitos  
corpo como todo

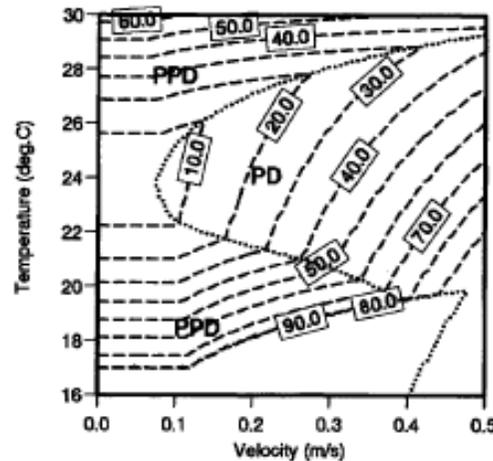
PD – % Insatisfeitos  
correntes de ar



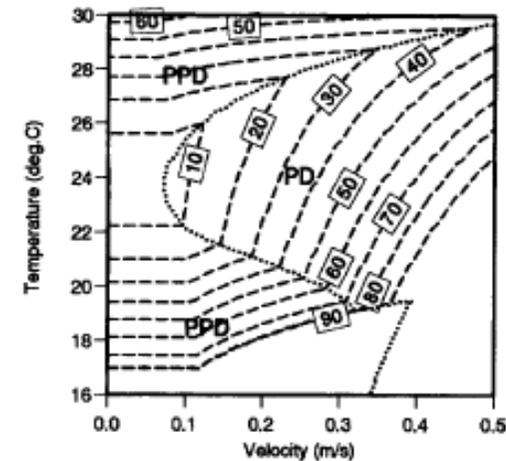
(a)  $Tu = 10\%$



(b)  $Tu = 30\%$



(c)  $Tu = 50\%$



(d)  $Tu = 70\%$

CLO = 0,6 (roupa de verão)

(Gan, 1994)



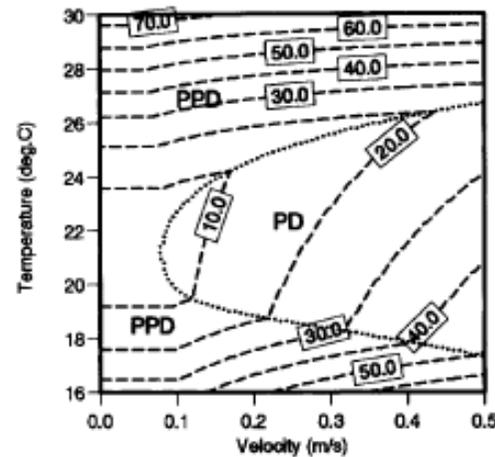
# Correntes de ar ( $DR = Draught Rate$ )

8

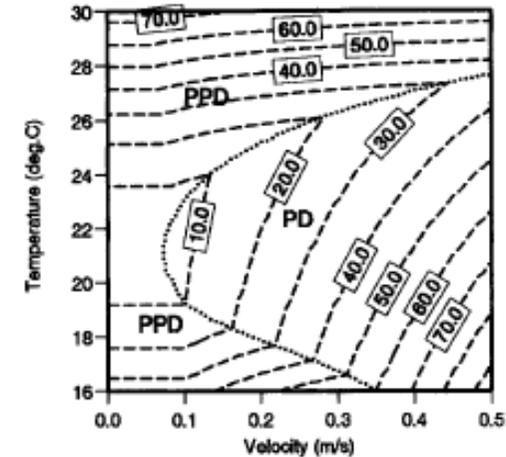
$$\Psi = \max [PPD, PD]$$

PPD – % Insatisfeitos  
corpo como todo

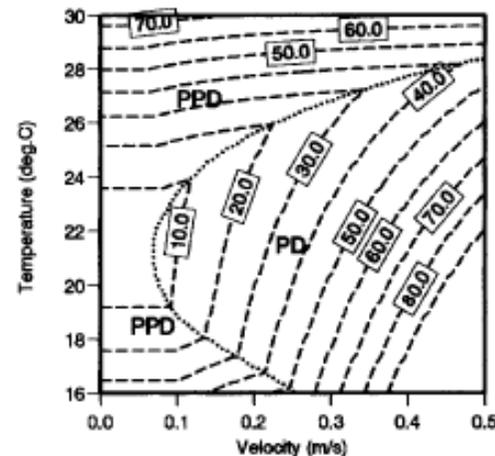
PD – % Insatisfeitos  
correntes de ar



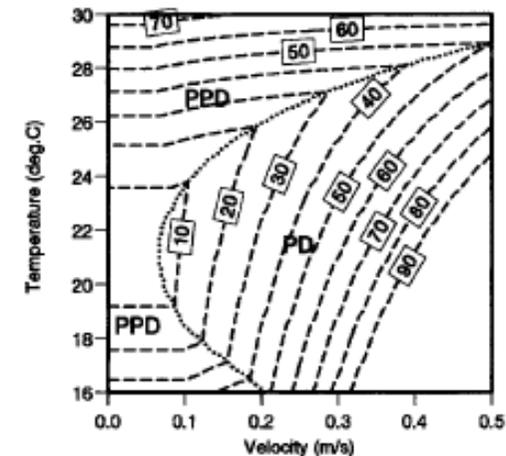
(a)  $Tu = 10\%$



(b)  $Tu = 30\%$



(c)  $Tu = 50\%$



(d)  $Tu = 70\%$

CLO = 1,0 (roupa de inverno)

(Gan, 1994)



## Fontes de partículas

*Sistema de ventilação*

*Ressuspensão*

*Infiltração*

*Equipamentos, superfícies*

*Escamação da pele*

*( $\approx 7,5 \mu\text{m}$ )*

**Partículas não viáveis e viáveis (com microorganismos)**

Tipo de microorganismo	Dimensão ( $\mu\text{m}$ )
Vírus	0,02 - 0,3
Bactérias	0,3 - 10
Esporos de fungos	0,5 - 30
Pólen	10 - 100

**Partículas com dimensão  $< 10 \mu\text{m}$**

***Suspensas no ar***

→ **Contaminação aérea (partículas viáveis)**



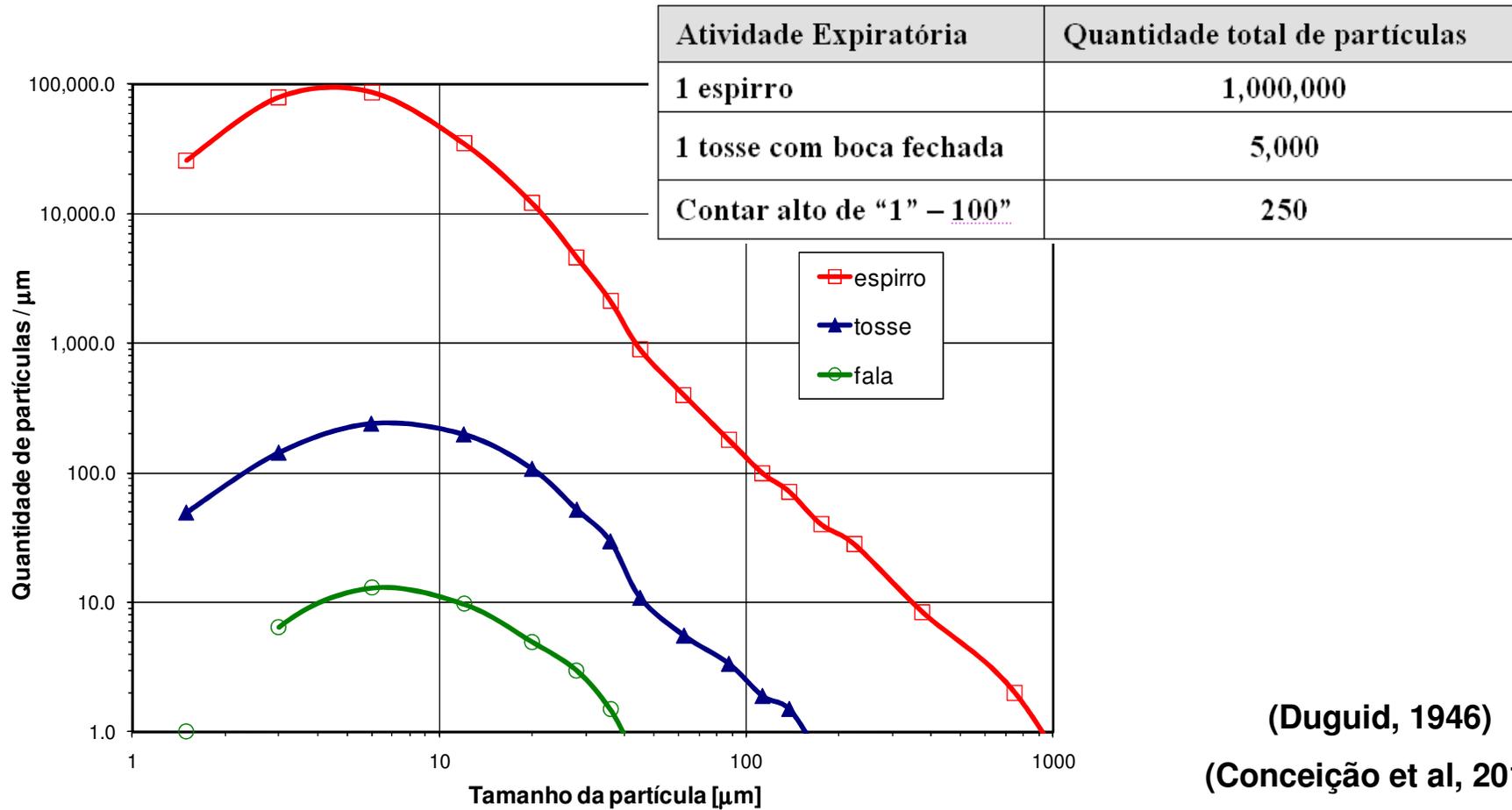
## Biocontaminantes



Espirro, tosse, fala



## Características dos biocontaminantes



## Geradores de partículas



Condensação TSI



Laskin Nozzle ATI



Bocal injetador,  
RRElektronik



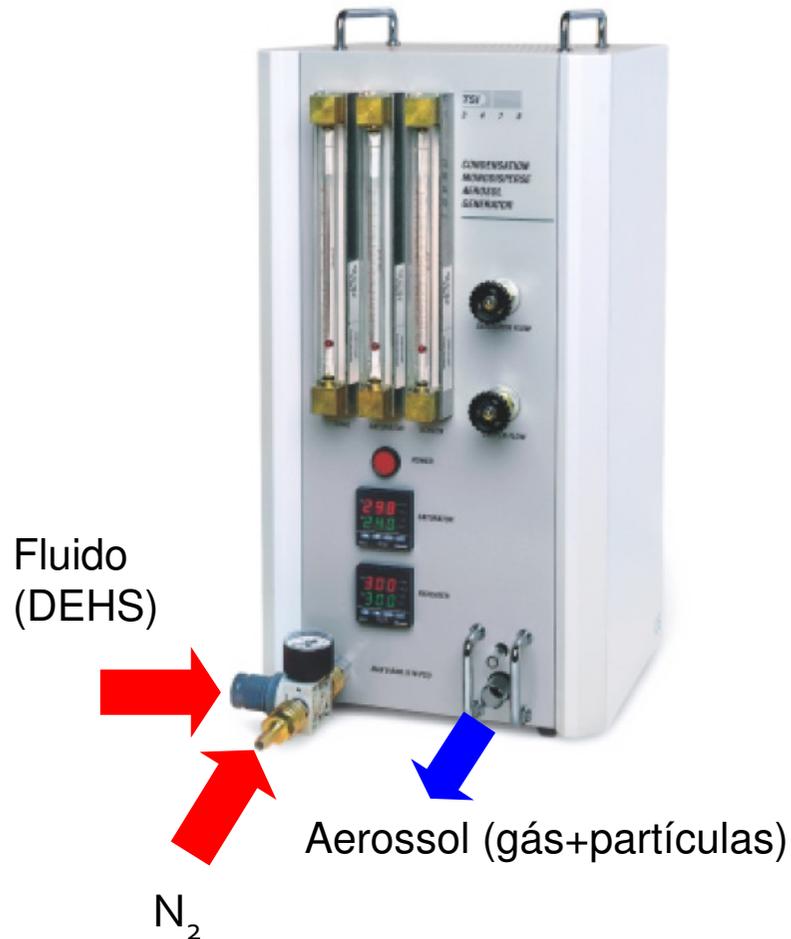
Ultrassonico,  
Pulmosonic



Bocal injetador, TSI



## Gerador TSI



### Specifications

#### Model 3475 Condensation Aerosol Generator

Mode of Operation Modified Sinclair-LaMer generator

Particle Type

Liquid

DES (nontoxic), DOP, or Emery 3004

Solid

Carnauba wax (nontoxic), paraffin, or stearic acid

Particle-Size Range for Selected Materials

DEHS, DOP 0.1 to 8  $\mu\text{m}$

Carnauba Wax 0.1 to 4  $\mu\text{m}$

Stearic Acid 0.1 to 9  $\mu\text{m}$

Aerosol Geometric Standard Deviation

<1.10 from 0.5 to 8  $\mu\text{m}$ ,

<1.25 from 0.1 to 0.5  $\mu\text{m}$

Concentration

>10<sup>6</sup> particles/cm<sup>3</sup>

Flow Rate

3.5 to 4.0 L/min

Compressed Gas Requirements

CP Nitrogen at approximately 6 bar or 116 psi

Radioactive or Fluorescent Labeling

Possible

Uniform Unipolar Charging

Possible

Power Requirements

110/220 VAC, 50/60 Hz

Dimensions (LWH)

250 mm  $\times$  300 mm  $\times$  550 mm

(10 in.  $\times$  12 in.  $\times$  22 in.)

Weight

17 kg (37 lb)



## Análise experimental

### Contadores de partículas



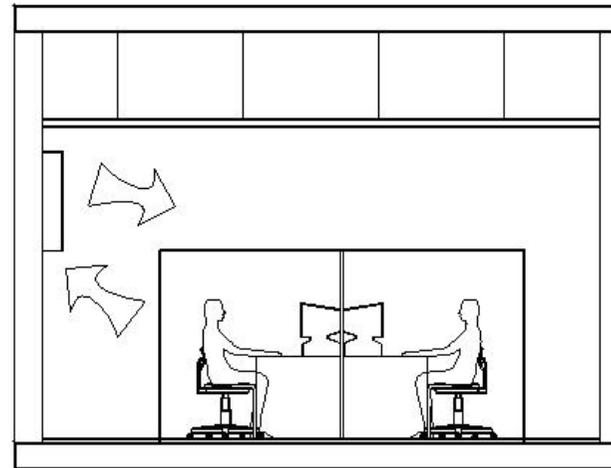
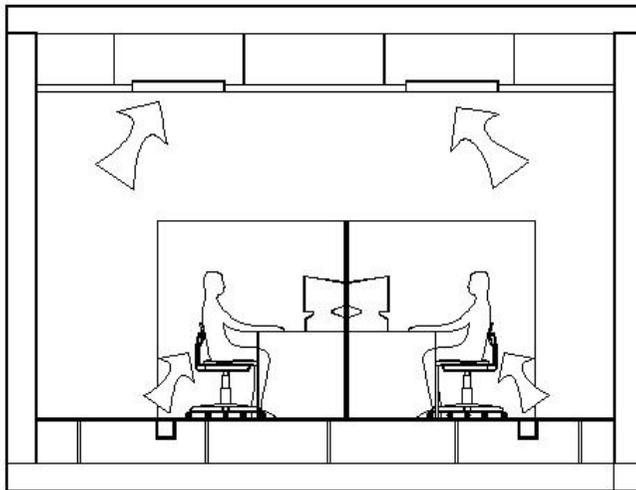
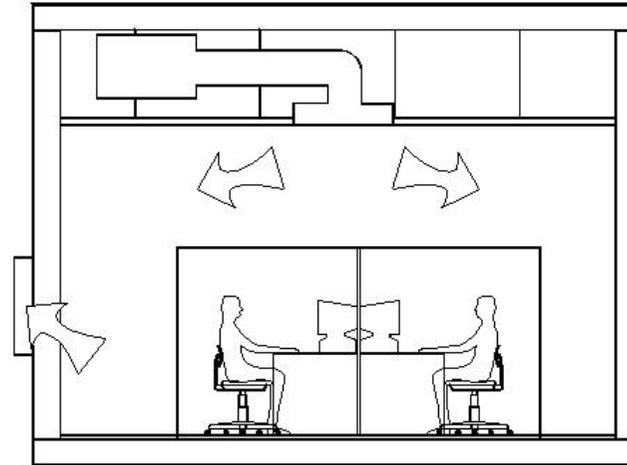
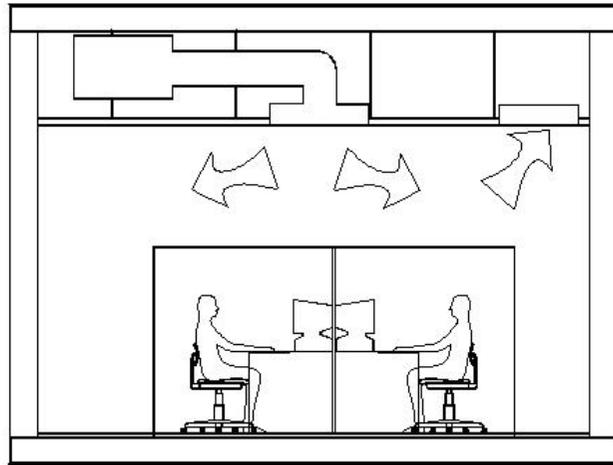
### Contador óptico

6 canais para contagem de partículas

Faixas de medição: de 0,3 a 10,0  $\mu\text{m}$



## Ambientes de escritórios



(Pereira et al., 2009)



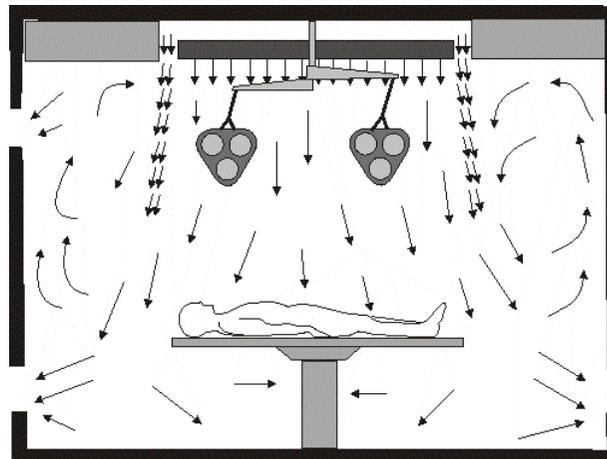
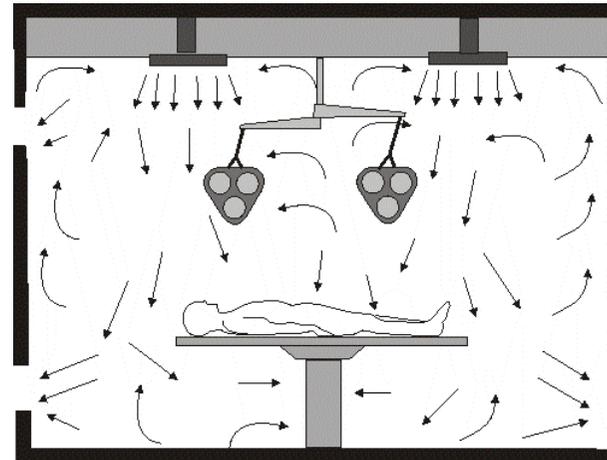
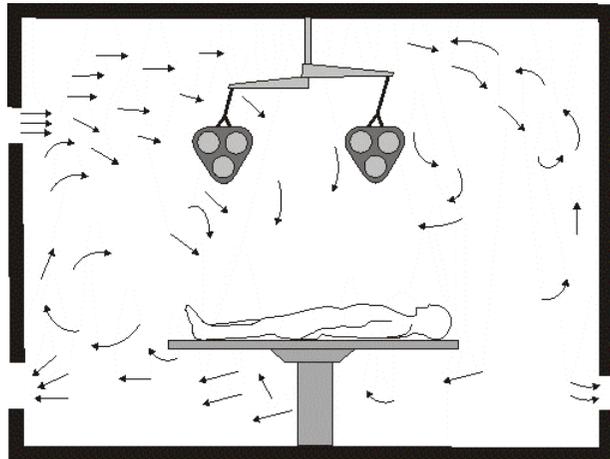
## Ambientes de escritórios



(Leite, 2003)



## Salas cirúrgicas



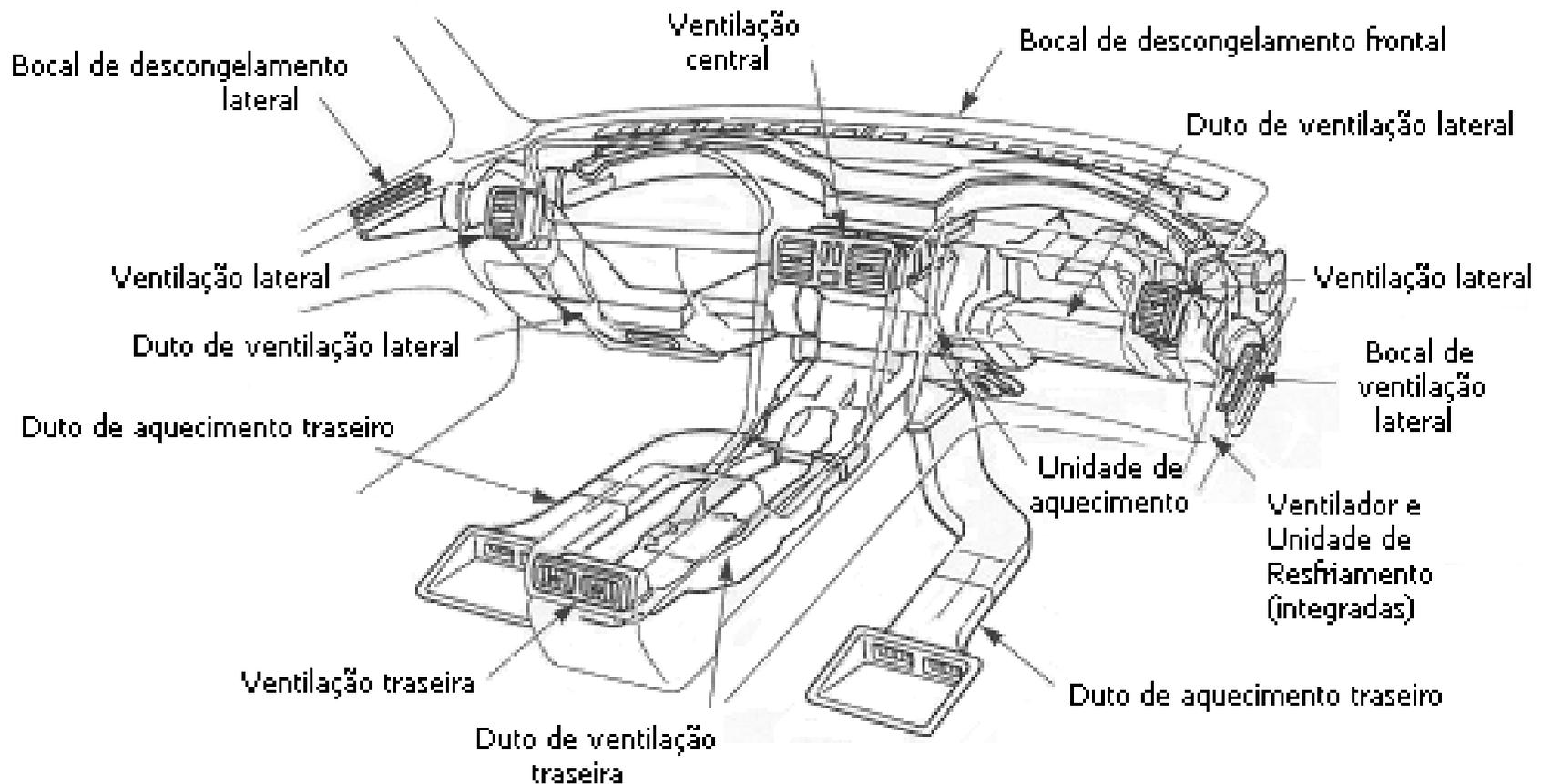
(Pereira, 2008)



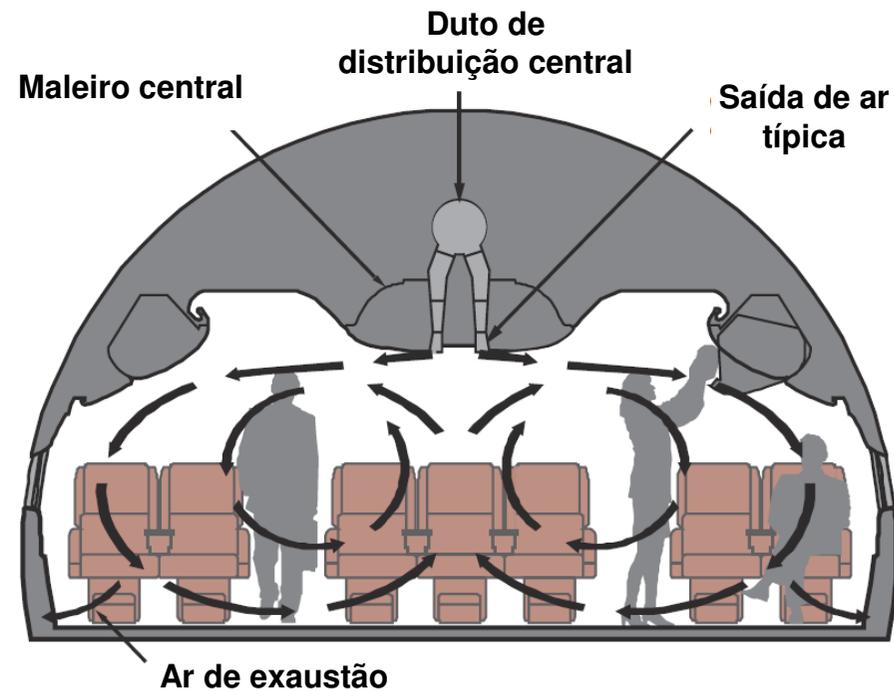
## Salas cirúrgicas



## Automóveis



## Aeronaves



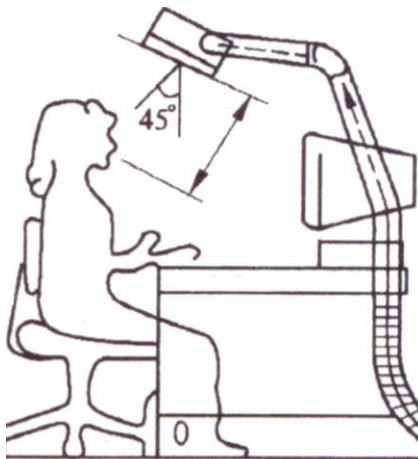
## Ambientes de escritórios



Kaczmarczyk et al., 2006)



## Ambientes de escritórios



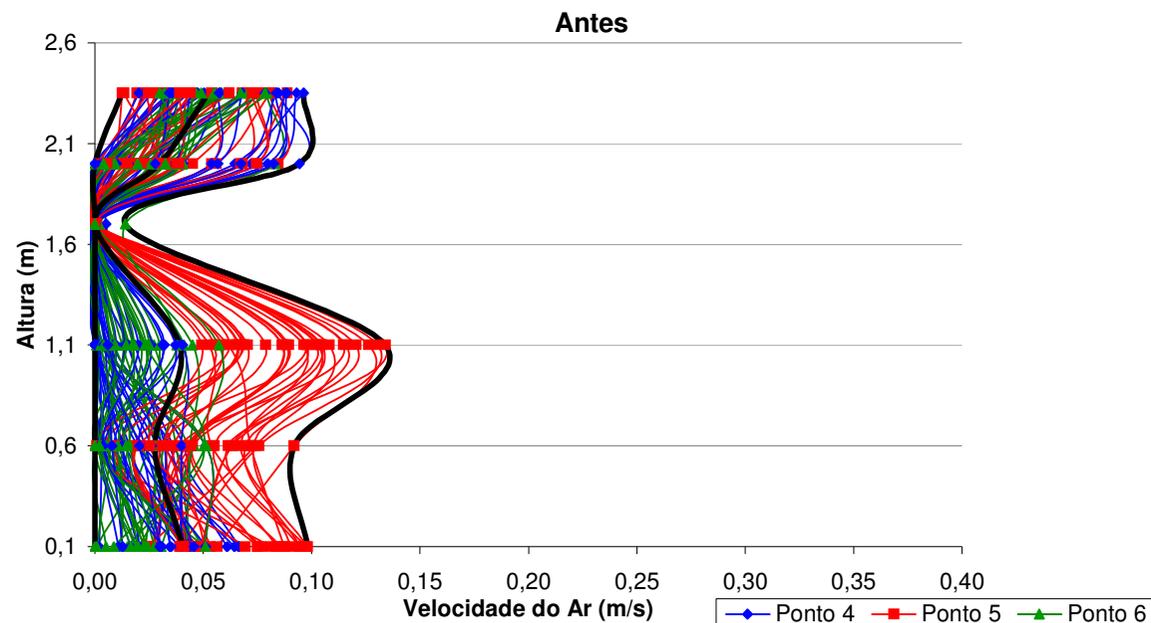
(Zeng e Zhao, 2005)



(Leite e Tribess, 2006)



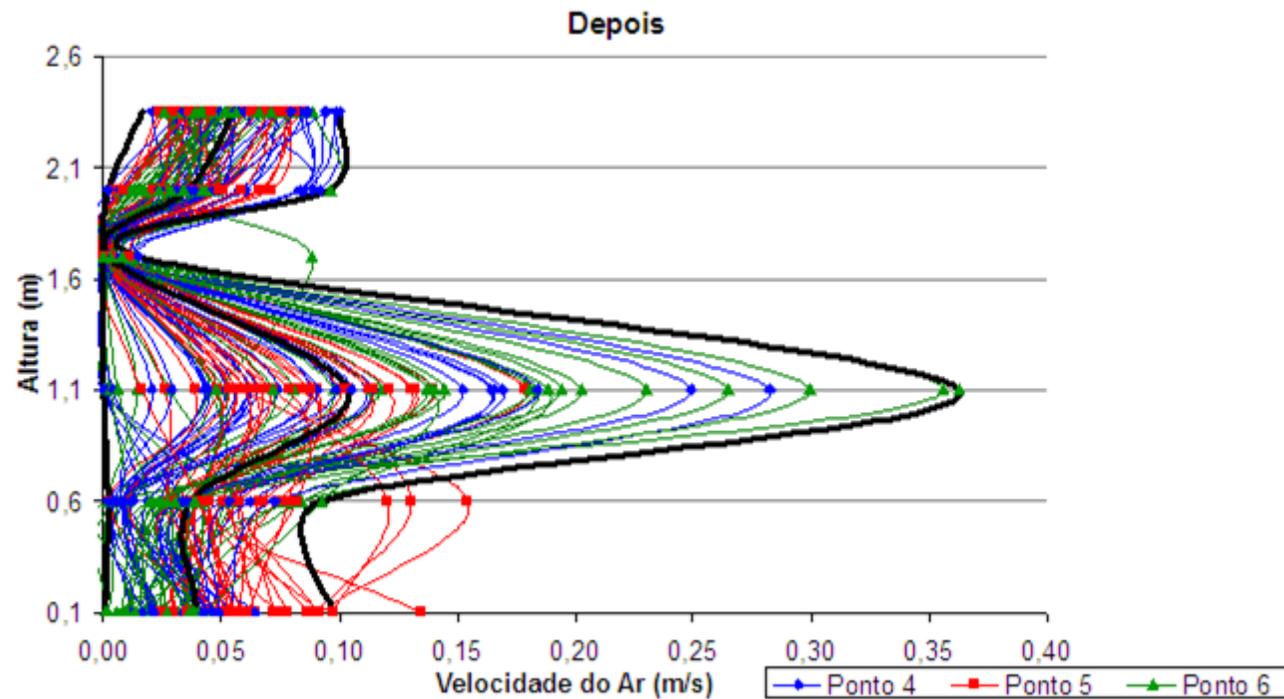
Ambientes de escritórios (sem sistema personalizado)



(Leite, 2003)



Ambientes de escritórios (com sistemas personalizados)



(Leite, 2003)



## Automóveis

MTM SEAT TECHNOLOGY TM

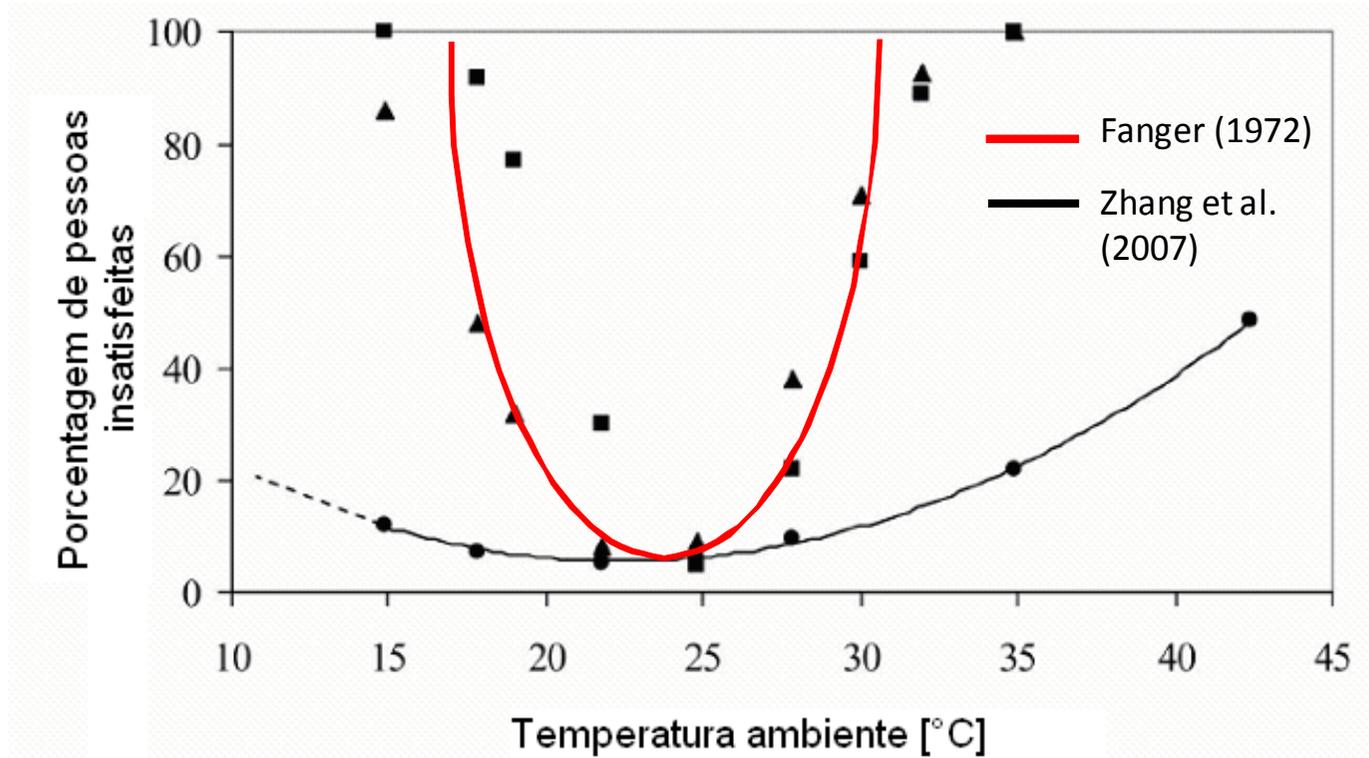
Módulo micro-térmico



Banco ventilado com resfriamento (ou aquecimento) por efeito Peltier



## Automóveis



Aceitabilidade do ambiente pelas pessoas quando utilizados bancos climatizados (Zhang et al, 2007)



## Automóveis

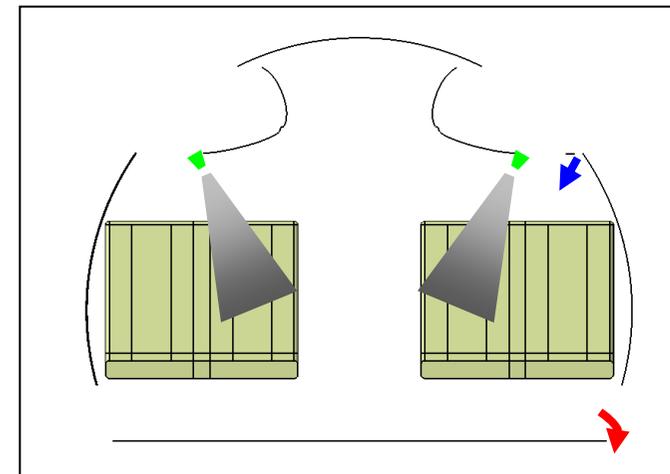
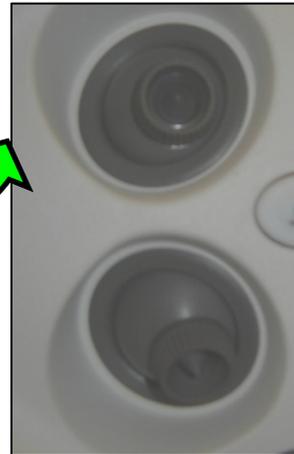


(Ferreira, 2008)

Banco ventilado com resfriamento (ou aquecimento) por efeito Peltier



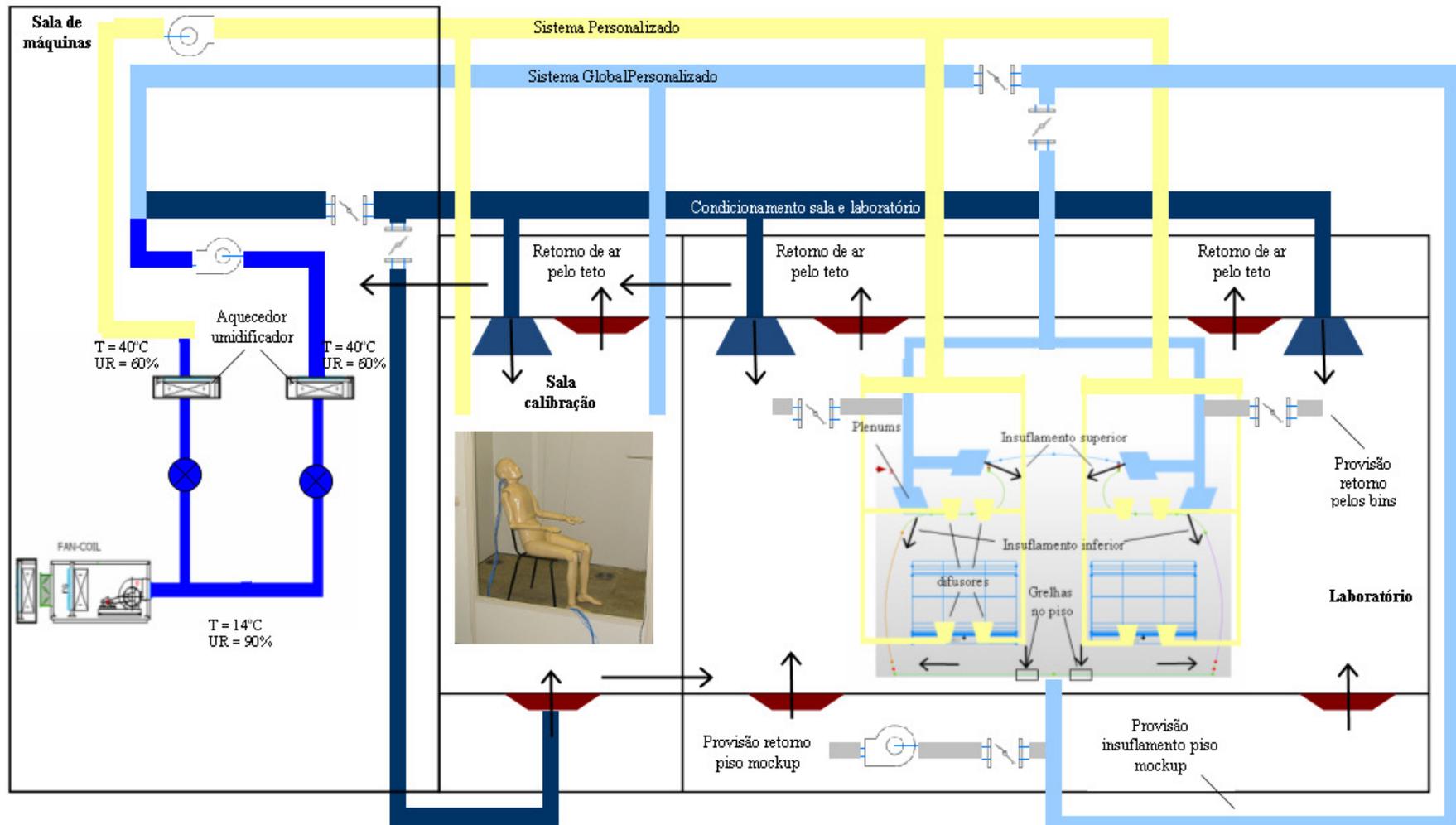
## Aeronaves



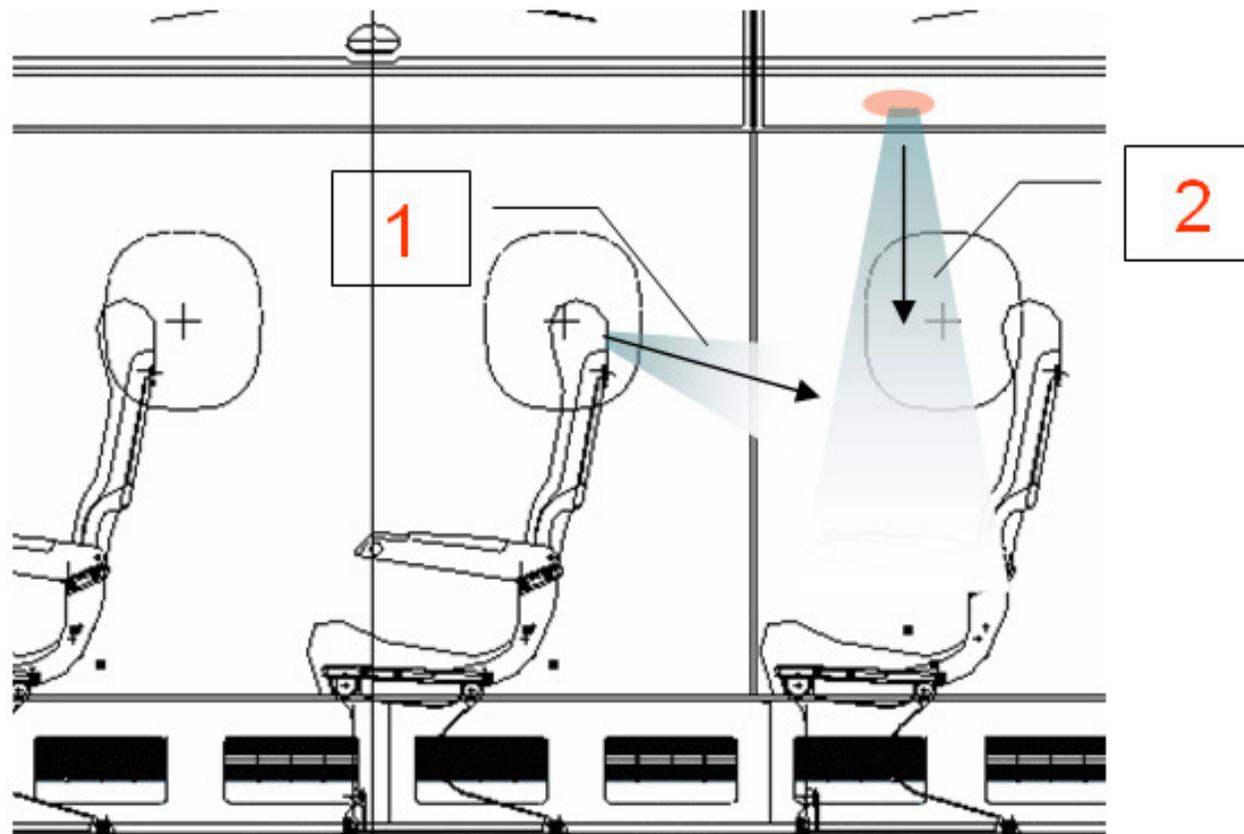
Válvula gásper



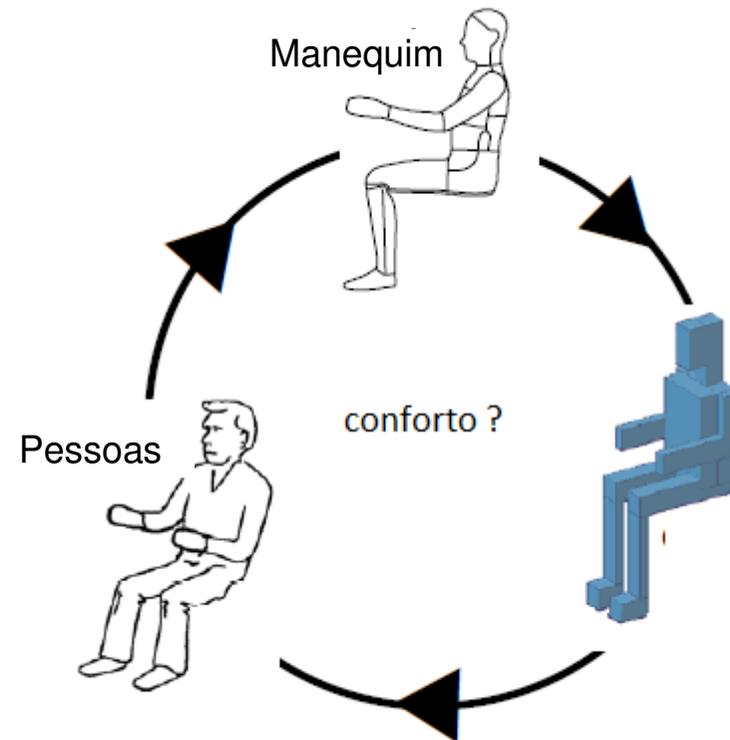
## Laboratório estudos microclima: Sistemas personalizados



Laboratório estudos microclima: Sistemas personalizados



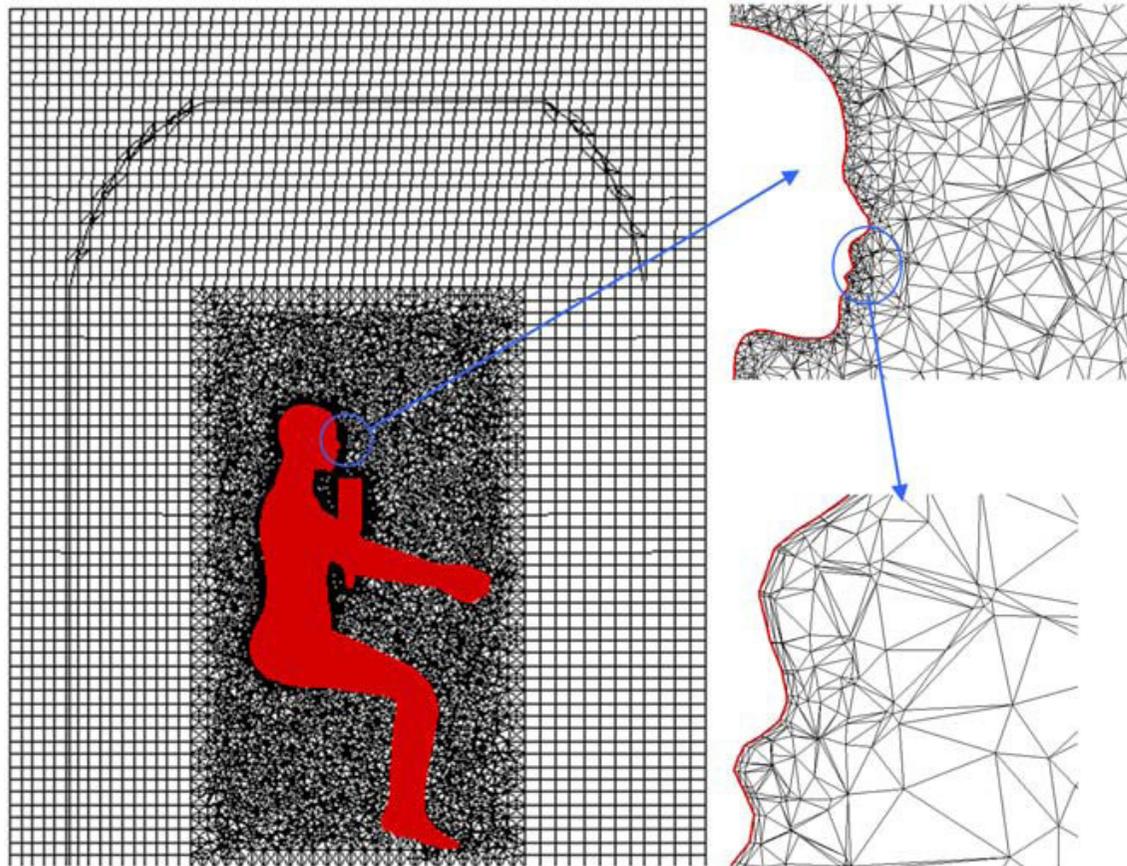
Avaliação utilizando dinâmica dos fluidos computacional (CFD)



(Nilsson, 2004)



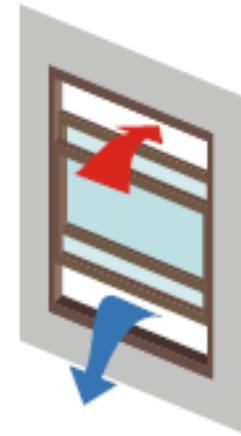
Avaliação utilizando dinâmica dos fluidos computacional (CFD)



(Gao e Niu, 2005)



## Ventilação natural



**Abrir janelas: Solução boa e de graça !**



ABNT NBR 16401-2. *Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários: Parâmetros de conforto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2008.

ABNT NBR 16401-3. *Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários: Qualidade do Ar*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2008.

ASHRAE 55. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2004.

ASHRAE 62.1. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2007.

Conceição, S T, Pereira, M, Tribess, A. A Review of Methods Applied to Study Airborne Biocontaminants inside Aircraft Cabins. *International Journal of Aerospace Engineering* (online), Article ID 824591, 15 pages, 2011.

Duguid, J P. The Size and the Duration of Air-Carriage of Respiratory Droplets and Droplet-Nuclei, *J. Hyg.* 44:471–479, 1946.

Fanger, PO; Melikov, A K; Hanzawa, H; Ring, J. Air turbulence and sensation of draught. *Energy and Buildings*, v 12, p. 21-39, 1988.



Ferreira, M. A. *O Usuário e a Percepção de Conforto Térmico em Assentos Automotivos Ventilados*. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da USP, 45 p., São Paulo, 2008  
<http://www.automotiva-poliusp.org.br/mest.htm>, Dissertações

Gan, G. 1994. Numerical Method for a Full Assessment of Indoor Thermal Comfort. *Indoor Air*, 4: 154-168, 1994.

Gao, N, Niu, J. Modeling the Performance of Personalized Ventilation under Different Conditions of Room Air and Personalized Air, *HVAC & R Research*, 11(4): 587-602, 2005

ISO 7726. *Thermal Environments – Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities*. International Organization for Standardization, Geneva, 1998.

ISO 7730. *Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Criteria*. International Organization for Standardization, Geneva, 2005.

Kaczmarczyk, J.; Melikov, A.; Bolashikov, Z.; Nikolaev, L. Fanger P O. Human Response to Five Designs of Personalized Ventilation. *HVAC&R Research*. 12(2): 367-384. 2006.

Leite B. C. C. *Sistema de Ar Condicionado com Insuflamento pelo Piso em Ambientes de Escritórios: Avaliação do Conforto Térmico e Condições de Operação*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 162 p. 2003.



Leite, B. C. C., Tribess, A. Analysis of Thermal Comfort in Office Environment with Underfloor Air Supply in Tropical Climate. *HVAC & R Research*, 12: 215-29, 2006.

Nilsson, H. O., *Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models*. Master Thesis, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Department of Technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden, 152 p., 2004.

Pereira, M L. *Medição, Predição e Análise de Partículas Aéreas em Salas Cirúrgicas*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 163 p., 2008.

Pereira, M L, Graudenz, G S, Tribess, A, Morawska, L. Determination of particle concentration in the breathing zone for four different types of office ventilation systems. *Building and Environment* 44:904–911, 2009.

Zeng Q, Zhao, R. Prediction of Perceived Air Quality for Personalized Ventilation Systems. *Tsinghua Science and Technology*, 10(3): 227-232, 2005

Zhang Y F, Wyon D P, Fang L, Melikov A K, The influence of heated or cooled seats on the acceptable ambient temperature range. *Ergonomics*, 50(4): 586-600, 2007.

