

# QUALIDADE TÉRMICA AMBIENTAL EM SALAS DE AULA

Celestino Rodrigues Ruivo

Armando Costa Inverno

António Hugo Lamarão

Área Eng. Mecânica

EST/UAlg

## Resumo

A qualidade ambiental nos espaços interiores dos edifícios de serviços é hoje em dia um factor determinante na qualidade do serviço prestado que é indispensável garantir. O conforto humano associado ao bem estar num determinado espaço interior é influenciado pela iluminação, decoração, espaço disponível por ocupante, nível de ruído, pureza do ar e pelos factores ambientais de conforto térmico tais como: a temperatura do ar, as temperaturas das superfícies envolventes, a humidade relativa e a distribuição do ar.

O presente trabalho consiste simplesmente na apresentação de alguns valores de medições experimentais dos factores associados ao conforto térmico em salas de aula e na averiguação da sensação térmica dos ocupantes em vários pontos da zona ocupada.

## 1. Introdução

A finalidade das instalações de AVAC para climatização de edifícios consiste fundamentalmente em criar nos ambientes interiores condições mais satisfatórias para a permanência humana.

Para se poder determinar a influência dos factores ambientais sobre o bem estar das pessoas, é necessário estudar as relações que existem entre o ser humano, a sua actividade e o ambiente em que vive. É sabido que o corpo humano reage aos estímulos térmicos de modo a manter constante a temperatura média do seu organismo aproximadamente em 37°C. O equilíbrio dinâmico entre o calor gerado no corpo humano e o calor trocado entre este e o meio onde vive pode ser escrito através do seguinte balanço de energia estabelecido ao corpo:

$$M - Q_{evap} - Q_{resp} \pm Q_{rad} \pm Q_{conv} \pm Q_{cond} \pm W = Q_{acum} \quad (1)$$

A principal fonte de calor do corpo humano é consequência do metabolismo humano ( $M$ ), isto é, do processo de oxidação dos alimentos ingeridos. Ao mesmo tempo, o corpo humano perde calor através dos processos de evaporação ( $Q_{evap}$ ) e de respiração ( $Q_{resp}$ ). As trocas de calor por radiação ( $Q_{rad}$ ), convecção ( $Q_{conv}$ ) e por condução ( $Q_{cond}$ ) entre o corpo e o ambiente podem traduzir-se em ganhos ou perdas de calor no corpo humano. Durante o exercício duma certa actividade poderá haver realização de trabalho ( $W$ ) por parte do corpo humano ou sobre o corpo humano. Em rigor, estes fluxos nunca estão equilibrados porque a acção permanente do controlo da temperatura do corpo pelo hipotálamo implica variações no calor acumulado no corpo ( $Q_{acum}$ ).

## 2. Caracterização de Conforto Térmico Ambiental-Metodologia de Fanger

O ser humano saudável sente-se confortável quando manifesta satisfação relativamente às condições do ambiente que o rodeiam. O conforto é um conceito cuja definição é difícil e complexa porque assenta em factores pessoais (estado de saúde física e psicológica, sexo, idade, hábitos, vestuário, actividade, etc) e em factores ambientais (iluminação, decoração, espaço disponível por ocupante, nível de ruído, pureza do ar e restantes factores ambientais que influenciam o conforto térmico do corpo humano).

Relativamente ao conforto térmico têm-se feito alguns estudos com o objectivo de caracterizar com algum rigor a sensação térmica do ser humano durante o exercício de diferentes tipos de actividade e com vestuário diverso face aos factores ambientais que interferem no equilíbrio térmico do corpo humano:

- Temperatura do ar ( $t_a$ )
- Humidade relativa do ar ( $\phi_a$ ) ou pressão de vapor ( $p_v$ )
- Velocidade do ar ( $v_a$ )
- Temperatura média radiante das superfícies da envolvente interior ( $\bar{t}_r$ )

A actividade influencia a produção de calor associada ao metabolismo humano ( $M$ ) enquanto que o vestuário é, neste âmbito, caracterizado por um determinado nível de isolamento térmico ( $I_{cl}$ ). Contudo, a permeabilidade ao vapor de água é também um parâmetro importante a ter em conta..

Para determinar as combinações destes seis parâmetros que propiciam condições de conforto Fanger desenvolveu uma metodologia, derivada da equação de balanço térmico do corpo humano (1) e das experiências que foram realizadas. Basicamente, reescreveu o balanço energético expresso pela equação (1) para a condição de equilíbrio térmico  $Q_{acum}=0$  do seguinte modo:

$$f(M, I_{cl}, t_a, p_v, v_a, \bar{t}_r) = 0 \quad (2)$$

Esta equação é designada por *equação de conforto de Fanger* e é válida para ambientes térmicos bastante uniformes e para condições estacionárias. A sua resolução exige o recurso a um programa de cálculo em computador, em virtude do elevado número de cálculos necessários. Os resultados assim obtidos, permitem criar diagramas ou tabelas, onde se mostra a combinação dos valores das seis variáveis que propiciam uma sensação térmica neutra ao corpo humano.

A quantificação das sensações de calor e de frio por parte do ser humano também foi objecto de estudo de Fanger. Baseando-se na metodologia teórica e nos resultados das experiências feitas com um grande painel de avaliadores, cerca de 1300 indivíduos, criou um índice de sensação térmica, *PMV*, que traduz a votação média previsível sobre um determinado ambiente de acordo com a seguinte escala psico-física:

Sensação Térmica	<i>PMV</i>
Escaldante	+ 3
Quente	+ 2
Ligeiramente quente	+ 1
Neutra	0
Ligeiramente frio	- 1
Frio	- 2
Gelado	- 3

Matematicamente este índice é pois também função dos seis parâmetros:

$$PMV = g(M, I_{cl}, t_a, p_v, v_a, \bar{t}_r) \quad (3)$$

Na metodologia de Fanger é também usado um parâmetro, *PPD*, que indica a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente, porque o equilíbrio térmico reinante, entre o metabolismo humano e a dissipação de calor, não é realmente sinónimo de existência de condições de conforto e, por outro lado, nem todas as pessoas reagem da mesma forma a um mesmo estímulo. Neste âmbito, a teoria de Fanger indica que, quando a sensação térmica é neutra ( $PMV=0$ ) existem cerca de 5% de pessoas que se mostram insatisfeitas e que, quando a sensação é ligeiramente quente ( $PMV=+1$ ) ou ligeiramente fria, ( $PMV=-1$ ) a percentagem de descontentes eleva-se a cerca de 26%.

### 3. Aplicação da Metodologia de Fanger a uma Sala de Aula

A aplicação da metodologia de Fanger permite definir na fase de projecto dos edifícios as condições interiores que garantam as condições de conforto. A escolha particular para cada caso deve recair sobre aquelas que conduzam ao uso mais racional da energia nos sistemas de condicionamento de ar. Por outro lado, a aplicação desta metodologia aos edifícios já construídos também se reveste de extrema importância, porque mediante a realização de medições dos quatro parâmetros ambientais, do levantamento do nível de vestuário e da actividade desenvolvida pelas pessoas é possível avaliar se as condições climáticas internas estão adequadas ao caso em questão. Caso não estejam, permite indicar quais as alterações recomendáveis para repôr as condições de conforto, como por exemplo, melhorar a distribuição de ar na zona ocupada, alterar a temperatura do ambiente, etc.

No caso concreto deste trabalho, apresentam-se alguns resultados de medições dos parâmetros ambientais, efectuadas em duas salas de aula durante a realização de uma prova escrita. As salas possuem um comprimento de 10 m, largura máxima de 7.25 m e pé-direito relativamente ao tecto falso de 2.58 m. O sistema de condicionamento de ar dispõe de ventilação mecânica e de controlo de temperatura ambiente através de unidades interiores, instaladas sobre o tecto falso, fazendo parte dum sistema do tipo VRV (Caudal de fluido refrigerante variável).

Cerca de 4 horas antes do início da realização prova, o sistema de condicionamento de ar foi ligado, tendo-se seleccionado nos controladores da temperatura interior os valores de 23 °C e de 18 °C respectivamente na sala **A** e na sala **B**. A taxa de recirculação do ar em cada uma das salas foi também imposta, sendo na sala **A** escolhida a posição L (caudal baixo de recirculação de ar) e na sala **B** a posição H (caudal elevado de recirculação de ar).

Foram feitas medições em vários pontos das salas de aula, com o equipamento modelo 1213, fabricante Brüel & Kjaer, estando os seus sensores colocados a cerca de 1 m de altura. As figuras 1.a) e 1.b) mostram respectivamente uma vista da sala de aula e o equipamento utilizada nas medições.

Os valores das variáveis medidas estão representados junto dos pontos de medição indicados nas figura 2.a) e 2.b), respectivamente para a sala **A** e sala **B**.

Com base no algoritmo exposto em [1] e com recurso a um programa de computador, obtiveram-se os valores dos índices *PMV* e *PPD*, para cada um dos pontos de medição, em duas situações típicas, sendo a diferença entre elas apenas devida ao nível da resistência térmica associada ao vestuário.



a)

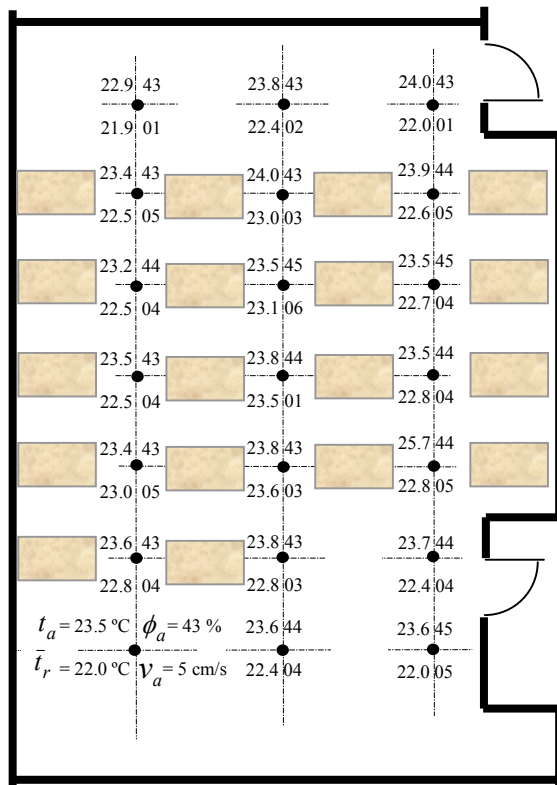


b)

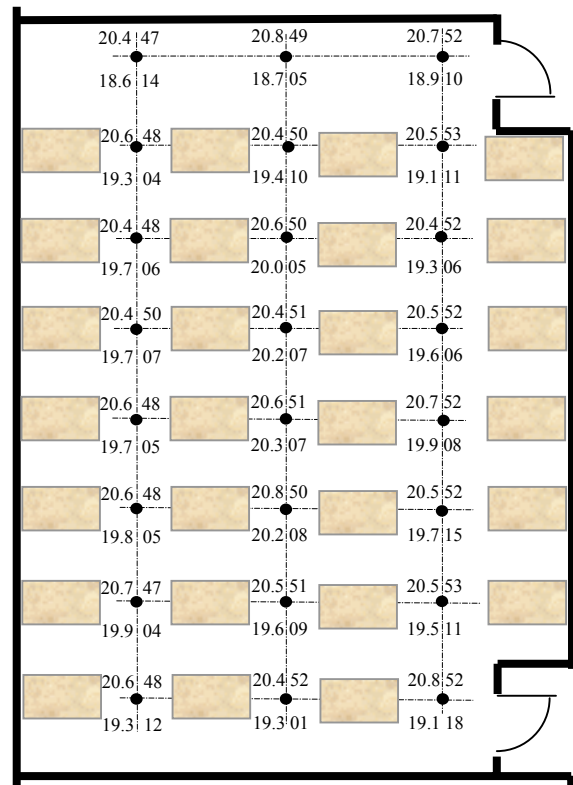
Figura 1 a) Vista duma sala de aula; b) Equipamento de medida utilizado

A primeira situação tenta caracterizar a situação real na altura das medições, tendo-se assumido um vestuário médio dos ocupantes e uma actividade caracterizados respectivamente por  $I_{cl}=1\ clo$  e  $M=1\ met$ . A segunda corresponde a uma situação típica de Verão em que o vestuário médio dos ocupantes foi caracterizado por  $I_{cl}=0.5\ clo$ . A representação dos resultados obtidos é feita nas figuras 3.a) e 3.b) e nas figuras 4.a) e 4.b) respectivamente para cada uma das situações analisadas.

Paralelamente às medições realizadas foi solicitado aos ocupantes das salas o preenchimento dum inquérito com o objectivo de conhecer a sua opinião relativamente à qualidade térmica do ambiente. Do tratamento simplificado das respostas, apenas no que se refere à sensação térmica traduzida pela escala psicofísica acima mencionada, obtiveram-se os resultados que constam nas figuras 5.a) e 5.b).

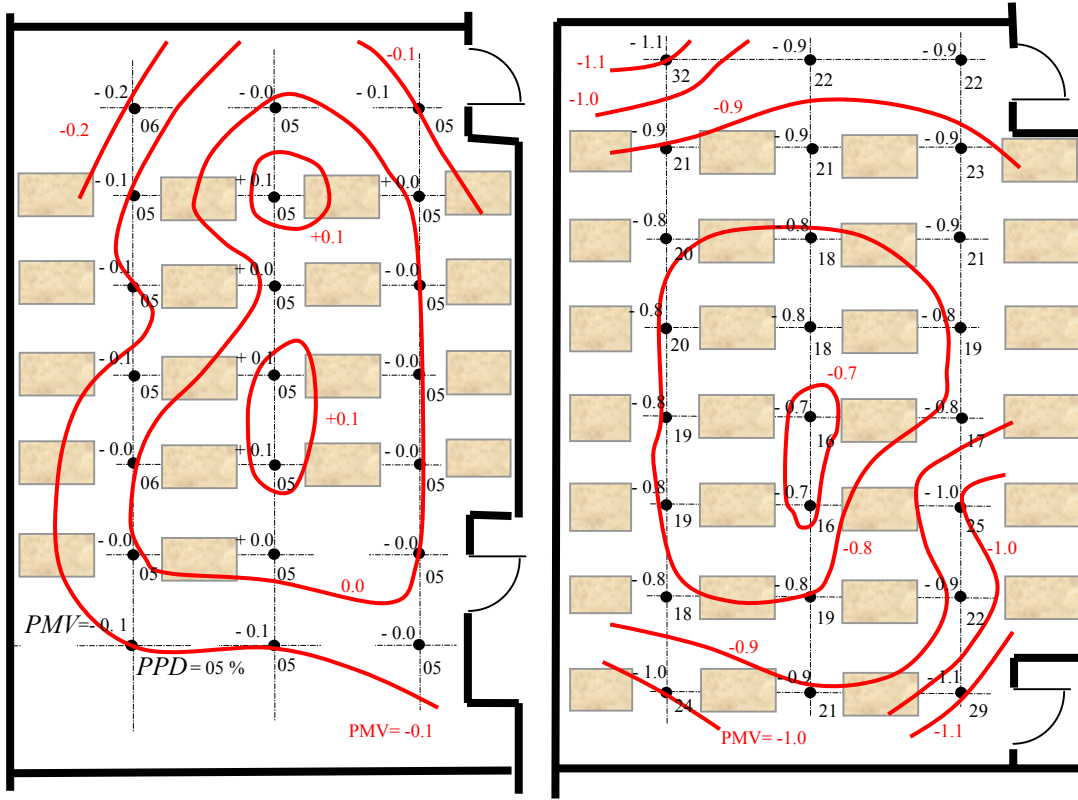


a)



b)

Figura 2-Localização dos pontos e resultados da medição. a) Sala A; b) Sala B



a) b)  
Figura 3-Valores de PPD e PMV considerando  $I_{cl}=1\ clo$  e  $M=1\ met$ . a) Sala A; b) Sala B

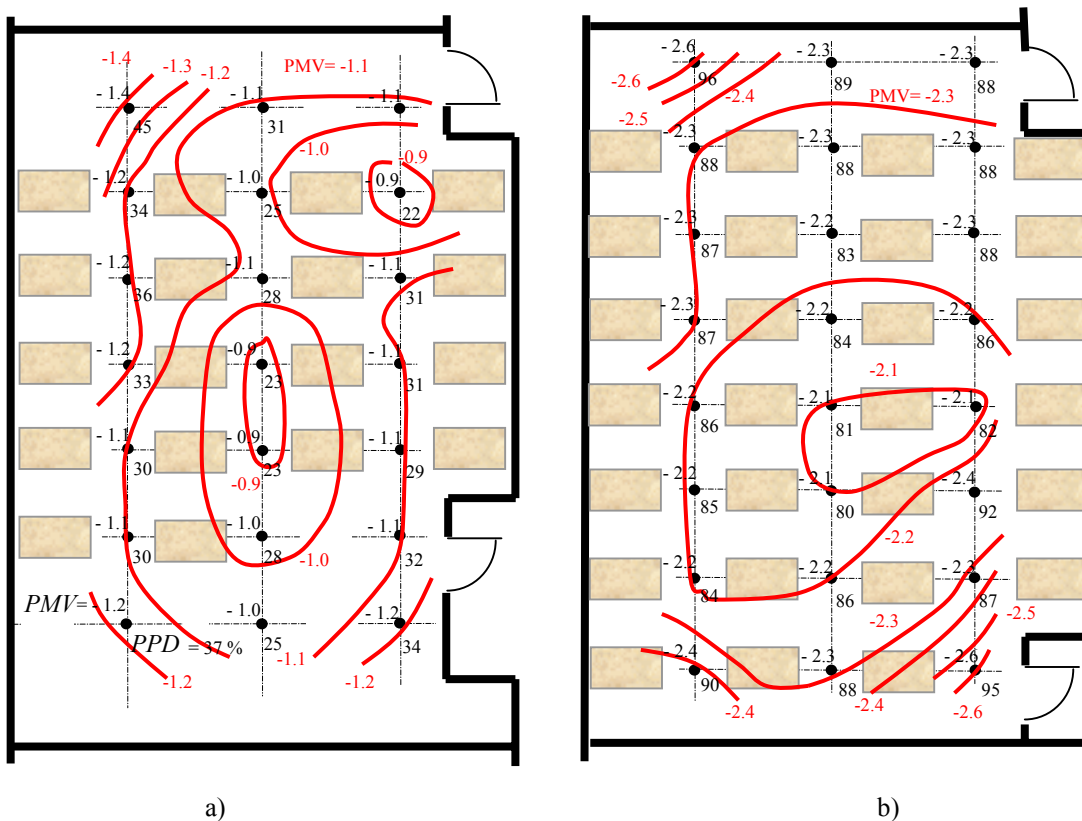


Figura 4-Valores de PPD e PMV considerando  $I_{cl}=0.5 clo$  e  $M=1 met.$  a) Sala A; b) Sala B

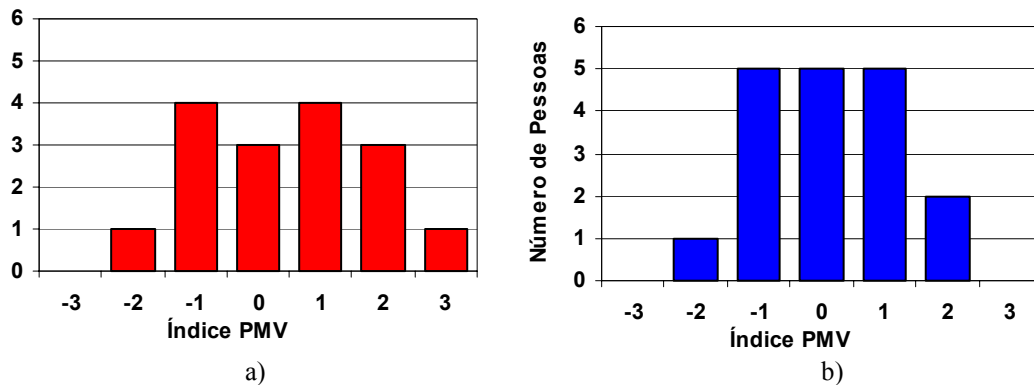


Figura 5-Resultados do inquérito a) Sala A; b) Sala B

#### 4. Conclusões

Da análise dos resultados obtidos com base nas medições efectuadas constata-se que, segundo a teoria de Fanger, para a primeira situação (vestuário típico de Inverno  $I_{cl}=1 clo$ ) a sala A propicia condições óptimas de conforto contrariamente à sala B devido às temperaturas ambientes e médias radiantes observadas serem inferiores. Em ambas as salas constata-se que os valores medidos para a velocidade do ar e humidade relativa enquadram-se na gama recomendável. Partindo dos valores medidos e dos resultados obtidos pode-se adiantar que para melhorar as condições na sala B dever-se-á aumentar ligeiramente a temperatura do ar para valores próximos daqueles que se registaram na sala A. Da análise do inquérito constata-se que em ambas as salas, as respostas dos ocupantes diferem entre si e também relativamente à sensação térmica obtida pela metodologia seguida. Estas diferenças resultam do carácter subjectivo associado a diversos factores, tais como: nível de actividade, vestuário, estado de saúde e a outros cuja caracterização é sempre difícil.

Relativamente ao cenário da segunda situação constata-se que a combinação entre os factores ambientais medidos, a actividade e o vestuário considerado (Vestuário típico de Verão  $I_{cl}=0.5 clo$ ) conduz, de acordo com a metodologia, a um elevado número de pessoas insatisfeitas cuja sensação de frio é notória principalmente na sala B.

A abordagem efectuada no presente trabalho, teve em conta apenas os aspectos relacionados com o conforto térmico, embora deva ser complementada com análise de outros aspectos, tais como a qualidade ambiental associada à pureza do ar e acústica da sala.

#### Referências

1-ISO 7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort, 1994