

Percepção do ambiente térmico nas salas de aula pelos alunos da UFOP

UFOP student perceptions of the thermal environment in classrooms

Henor Artur de Souza

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil – Construção Metálica
Escola de Minas – UFOP
henor@ufop.br

Márcia Silva Fontanella

Arquiteta e Urbanista, M. Sc.
marciafontanella@yahoo.com.br

Resumo

A educação é um dos fatores que mais influem no desenvolvimento de um país. Uma boa qualidade de ensino não só depende da capacitação dos professores, mas, também, das condições físicas das salas de aulas, ambientes em que os mesmos interagem com os alunos. Nesse trabalho, avalia-se o ambiente térmico das salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente na Escola de Minas e no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (edifícios com sistemas construtivos diferentes), investigando-se a percepção dos usuários por meio da aplicação de questionários e medição das variáveis ambientais *in loco*, simultaneamente. Os resultados obtidos são tratados estatisticamente obtendo-se os limites de conforto para a população em estudo, por meio da análise probit, obtendo-se uma percentagem de aproximadamente 70% de satisfeitos com o ambiente térmico.

Palavras-chave: Conforto térmico, salas de aula.

Abstract

Education is one of the factors that most influence the development of a country. Good quality education does not only depend on the training of teachers, but also the physical conditions of the classroom where they interact with students. In this study, the thermal environment of the classrooms of the Federal University of Ouro Preto (UFOP) was evaluated, specifically at the “Escola de Minas” and the “Instituto de Ciências Exatas e Biológicas” (both with different building systems). For the evaluation, questionnaires to obtain student perceptions and measurement of the environmental variables in loco were implemented. The results were statistically treated, obtaining the comfort limits for the sample of this study by probit analysis. With this method, the percentage of satisfaction with the thermal environment was 70%.

Keywords: Thermal comfort, classrooms.

1. Introdução

As exigências atuais relativas à conservação de energia e conforto humano apontam para projetos de edificações que apresentem um desempenho global

adequado e que possuam um sistema de fechamento que apresente um bom desempenho termo-acústico em relação às condições climáticas locais. A escolha

de materiais e métodos de construção, o conceito e disposição de formas e espaços, a procura do belo, do funcional e do seguro marcaram a evolução das construções, refletindo o nível de conhecimento, desenvolvimento e cultura da sociedade.

Uma edificação possui sua arquitetura caracterizada pelo seu tipo, finalidade e utilização e essa arquitetura específica deve suprir os requisitos de maneira adequada e economicamente viável. Já que existe relação direta da qualidade e da produtividade com o ambiente de estudo, pode-se afirmar que as

salas de aulas precisam prover os alunos e professores de condições saudáveis, garantindo a maior naturalidade de uma das atividades mais importantes para a sociedade, que é a educação.

O objetivo desse trabalho é investigar de forma objetiva (por meio de medições *in loco*) e subjetiva (por meio da aplicação de questionários à população universitária) a qualidade do ambiente térmico nas salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), especificamente na Escola de Minas (EM) e no Instituto de Ciências Exatas

e Biológicas (ICEB), que possuem dois tipos distintos de construção: uma estruturada em aço e outra em concreto convencional, respectivamente (Figura 1). Tal pesquisa foi realizada entre junho a novembro de 2008.

Os resultados obtidos fornecem uma correlação entre os dados obtidos das variáveis ambientais medidas e dos julgamentos subjetivos de cada usuário em relação ao ambiente que frequenta, além da verificação das variáveis relevantes, na avaliação de um projeto arquitetônico (Corgnati et al., 2007).

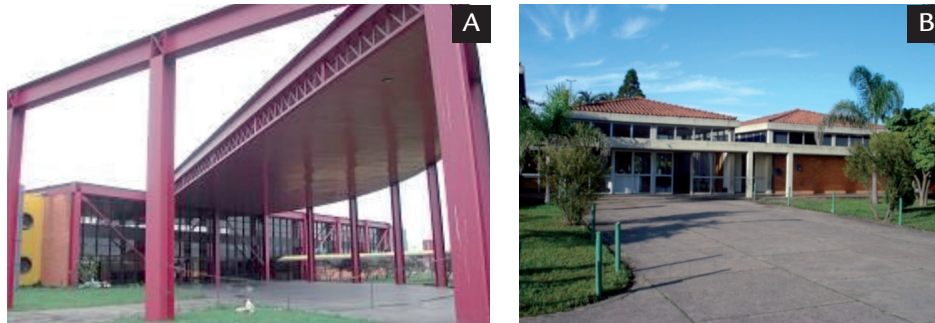


Figura 1.
(a) Escola de Minas
(b) Instituto de Ciências Exatas e Biológicas.

2. Metodologia

A técnica de pesquisa utilizada para o levantamento de votos de conforto e sensações térmicas dos indivíduos foi a aplicação de questionários *in loco*, focando a interação usuário-ambiente, com uma medição simultânea das variáveis em

cada ambiente estudado.

Foram realizadas medições internas de temperatura do ar, umidade e temperatura de globo e medições da temperatura e umidade do ar externo. A partir das variáveis medidas nas salas de aula, foram calculadas a tem-

peratura operativa e a temperatura radiante.

A partir das variáveis medidas nas salas de aula, foram calculadas a temperatura radiante (equação 1) e a temperatura operativa (equação 2), considerando-se convecção natural,

$$T_r = [(T_G + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot (T_G - T_{ar})^{1/4} \cdot (T_G - T_{ar})]^{1/4} - 273 \quad (1)$$

onde T_r é a temperatura radiante ($^{\circ}\text{C}$), T_G é a temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$) e T_{ar} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$),

$$T_o = \frac{h_c \cdot T_{ar} + h_r \cdot T_r}{h_c + h_r} \quad (2)$$

onde T_o é a temperatura operativa ($^{\circ}\text{C}$), T_{ar} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), T_r é a temperatura radiante ($^{\circ}\text{C}$), h_c é o coeficiente de troca de calor por convecção ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), e que foi considerado igual a $3,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (pessoa sen-

tada com velocidade do ar entre 0 e $0,2 \text{ m/s}$), e h_r é o coeficiente de troca de calor por radiação ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), adotado o valor típico de $h_r = 4,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (ASHRAE 55:2004).

A partir do preenchimen-

to do questionário pelos alunos, foram contadas as preferências subjetivas dos usuários e, em seguida, foram feitas correlações e análises estatísticas a partir desses resultados.

Característica da amostra

Foram entrevistados 570 alunos (aproximadamente 26% da população universitária total que frequenta

as edificações no período diurno), sendo realizados 24 ensaios de campo, 11 destes na Escola de Minas e 13 no

ICEB, nos meses de junho, outubro e novembro de 2008.

3. Resultados

Correlações entre as variáveis psicofisiológicas

Para a análise das correlações dos dados obtidos por meio do questionário

aplicado, foi dividido a sensação térmica

em uma escala de 7 pontos (ASHRAE 55: 2004), que representa muito frio (MF ou -3), frio (F ou -2), ligeiramente frio (LF ou -1), termicamente neutro (C ou 0), ligeiramente quente (LQ ou +1), quente (Q ou +2) e muito quente (MQ ou +3). Essa escala representa a sensação que os alunos estavam percebendo naquele momento. Na Figura 2 são apresentados os julgamentos dos usuários das salas de aula avaliadas da Escola de Minas (EM) e do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB) em relação a essa escala de preferência subjetiva de conforto.

Nota-se que os ambientes analisados são considerados termicamente neutros por um percentual em torno de 50 % na EM e em torno de 55 % no ICEB. Os julgamentos, levando-se em conta cada prédio em separado (Escola de Minas e ICEB), são também similares, com a maioria votando em termicamente neutro (0), depois em ligeiramente frio e ligeiramente quente (-1 e +1) e a minoria em frio ou quente (-2 e +2) e poucos em muito frio ou muito quente (-3 e +3).

Comparando os resultados em relação a cada edificação (EM estruturada

em aço e ICEB em concreto convencional), observa-se um melhor desempenho nas salas do ICEB, alcançando-se um percentual de conforto em torno de 6 % maior do que em relação aos índices de conforto na EM.

Ainda de acordo com essas sensações de conforto térmico, foi questionado também aos alunos as sensações percebidas no momento da medição (Figura 3).

Para as principais sensações percebidas, prevalecem as sensações de sede, sono e segura nas mucosas dos usuários.

Figura 2 Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico. (a) EM. (b) ICEB.

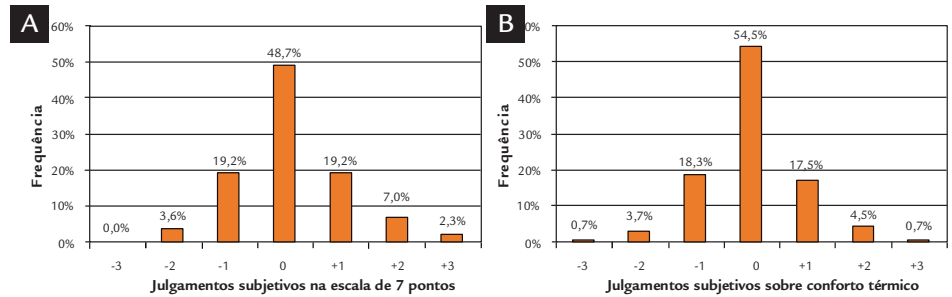
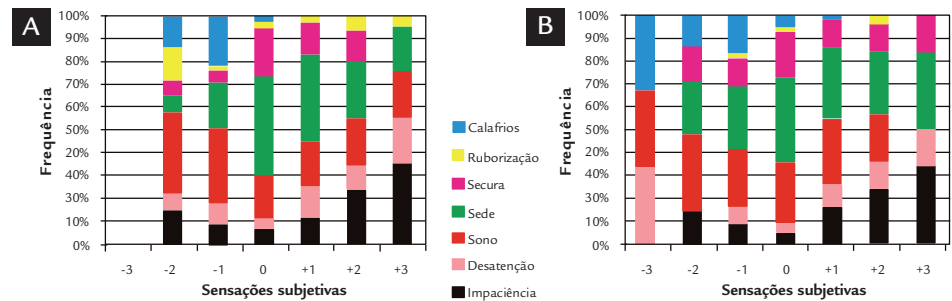


Figura 3 Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos. (a) EM. (b) ICEB.



Cruzamentos entre as variáveis ambientais e as psicofisiológicas

Efetuiu-se, também, o cruzamento entre as variáveis medidas e as variáveis psicofisiológicas. Essas variáveis foram medidas em escalas subjetivas, segundo o preenchimento pelos alunos dos campos do questionário, e foram analisadas considerando-se a sensação térmica, satisfação e adaptação ao ambiente.

Na Figura 4, apresentam-se os cruzamentos da variável sensação térmica com as variáveis ambientais medidas de temperatura e de umidade do ar interno.

A análise gráfica dos resultados

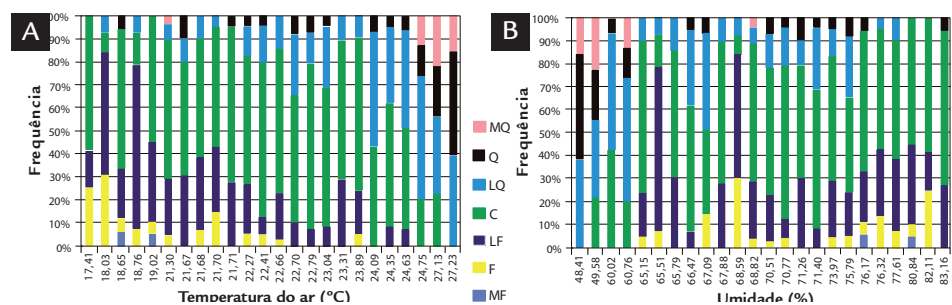
do cruzamento das variáveis ambientais com a sensação térmica demonstrou que, à medida que a temperatura do ar vai aumentando, há uma tendência de os percentuais dos graus de sensação térmica levemente quente (LQ), quente (Q) e muito quente (MQ) aumentarem e os percentuais dos graus levemente frio (LF), frio (F) e muito frio (MF) diminuir. Com relação à umidade, ela estava com valores mais baixos, quando o ambiente estava considerado quente, e mais alta em ambientes mais frios. Pode-se levar em

consideração, também, o clima da região, que em dias frios é comum névoa e chuvisco.

Na Figura 5, apresenta-se o cruzamento da variável satisfação com o ambiente em relação à temperatura do ar e à umidade, medidos *in loco*.

Pode-se observar que, de forma geral, o nível de satisfação permanece bom, com pequenas oscilações, durante quase toda a faixa de temperatura observada, caindo, consideravelmente, a partir dos 24,8°C. Há uma maior oscilação no grau de satisfação em relação

Figura 4 Cruzamento (a) da temperatura do ar e (b) da umidade, com a sensação térmica.



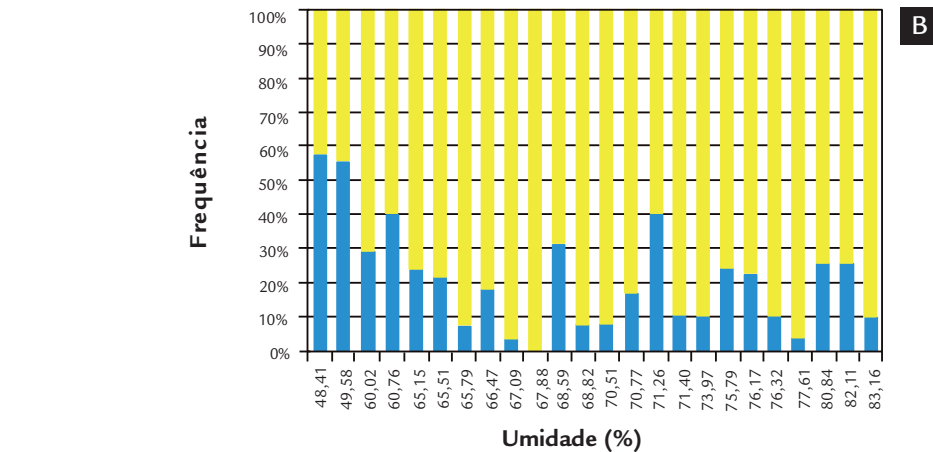
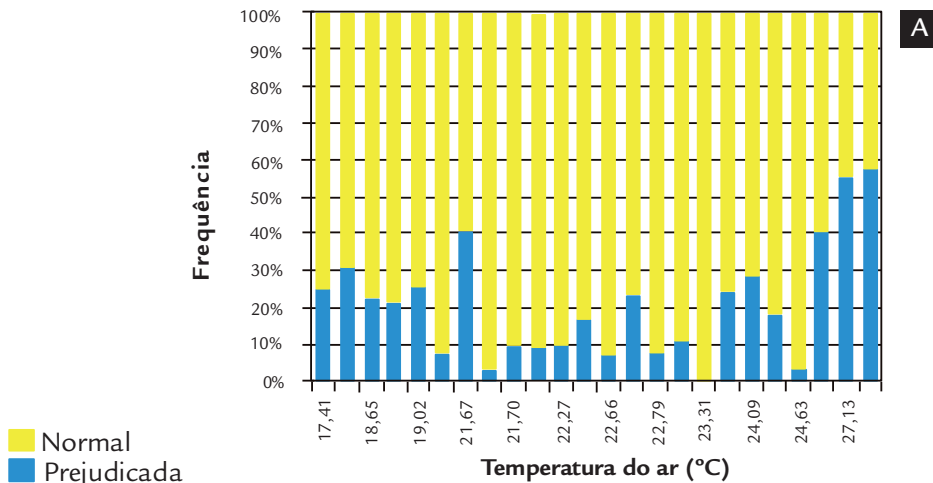
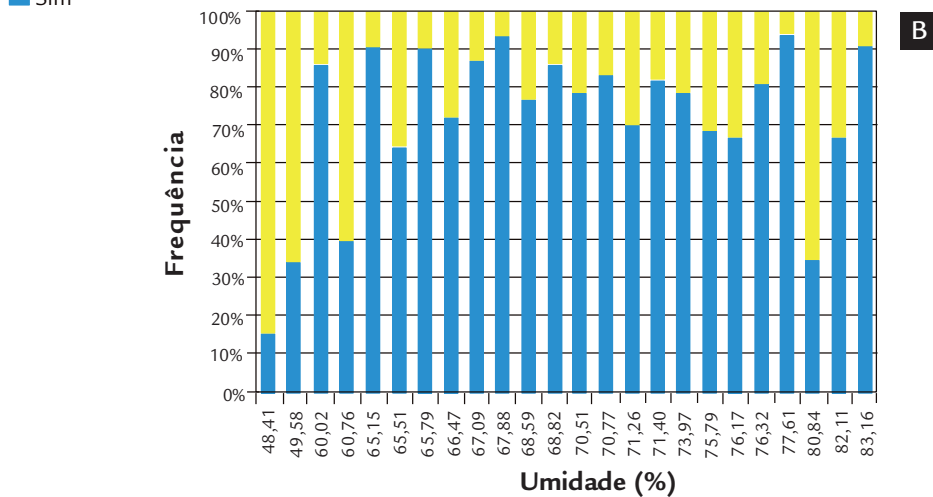
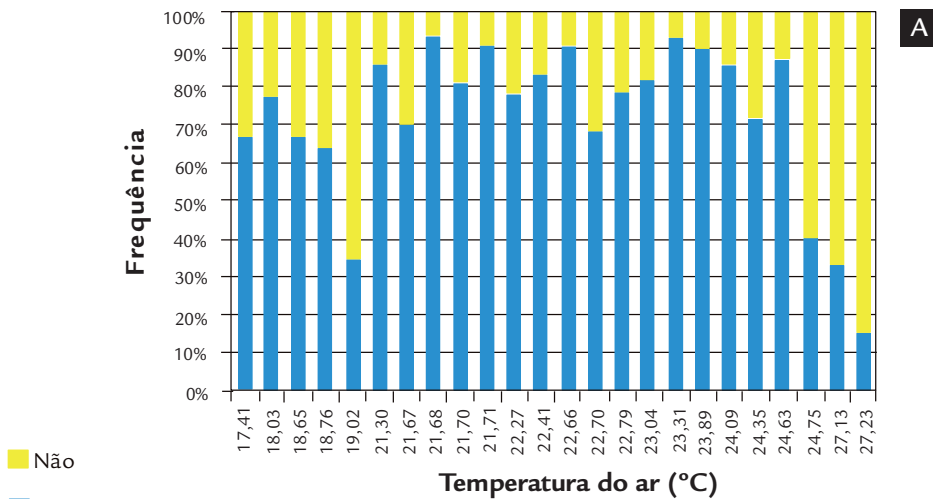


Figura 5 Cruzamento (a) da temperatura do ar e (b) da umidade com a variável de satisfação com o ambiente.

Figura 6 Cruzamento (a) da temperatura do ar e (b) da umidade com a capacidade de estudar no ambiente.

à umidade do ambiente e, nos valores extremos da faixa observada, nota-se que umidade baixa gera insatisfação e umidade mais alta, satisfação.

Esses resultados mostram que o nível de satisfação não é função exclusiva das condições ambientais. As oscilações podem ter ocorrido em função do

uso de mecanismos adaptativos (neste caso, por exemplo, o tipo de vestimenta) por parte dos usuários, resultando níveis de satisfação diferenciados.

Na Figura 6, apresenta-se o cruzamento da capacidade de estudar no ambiente com a temperatura e a umidade relativa do ar.

A partir dessas análises, considera-se que, de forma geral, o conforto do ambiente não prejudica a capacidade de concentração dos usuários das salas de aula. Nota-se que essa atividade fica mais prejudicada quando a temperatura aumenta e quando a umidade apresenta-se com níveis mais baixos.

Definição dos limites de conforto térmico

Para a definição dos limites de conforto térmico, para a população em estudo, procedeu-se a análise dos dados por meio da regressão probit (Fisher & Yates, 1971). Combinando os votos dos usuários nos questionários quanto a sensação térmica MQ+Q+LQ+C e subtraindo da combinação MQ+Q+LQ, obtém-se a percentagem relativa ao grau de satisfação desconfortável devido ao calor, desconfortável devido ao frio e confortável, mostrada na Figura 7 (a). O máximo que a curva Confortável alcança é a percentagem de pessoas satisfeitas e, subtraindo-se de 100 esse valor, obtém-se a percentagem de insatisfeitos,

mostrada na Figura 7 (b).

O máximo de pessoas satisfeitas para o estudo é de 69,1% e de insatisfeitos, 30,9%, ocorrendo na temperatura do ar em torno de 21,7°C. Analisando, ainda, esses percentuais de pessoas satisfeitas e insatisfeitas (aproximadamente 70% e 30%), eles podem ser mais bem representados na carta psicrométrica para a cidade de Ouro Preto (Figura 8 (a)) e, também, comparados aos índices de conforto propostos por Fanger (1972) (Figura 8 (b)).

Com base nessa comparação, a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) no voto médio estimado (PMV) igual a

zero tem valor de 30,9%, valor superior aos 5% de pessoas insatisfeitas nas condições confortáveis propostas por Fanger (1972), aos 10% sugeridos pela norma ISO 7730:2006 e pouco superiores aos 20% permitidos pela norma ASHRAE 55: 2004. Essa diferença pode ser explicada, pois, diferentemente dos dados experimentais de Fanger (1972), que foram definidos por meio de sistemas ambientais controlados artificialmente, os dados, nesse trabalho, foram levantados nas condições ambientais naturais considerando toda a não-uniformidade térmica dos ambientes.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, utilizando-se a análise probit, onde se determinaram as probabilidades de ocorrência de calor, conforto e frio, foi

possível identificar os limites de conforto, definindo-se a faixa de pessoas satisfeitas em 70% e a de pessoas insatisfeitas em 30%. A temperatura do ar para

a qual este fato ocorreu corresponde ao intervalo entre 21°C e 23°C, levando em consideração a época e o local da pesquisa.

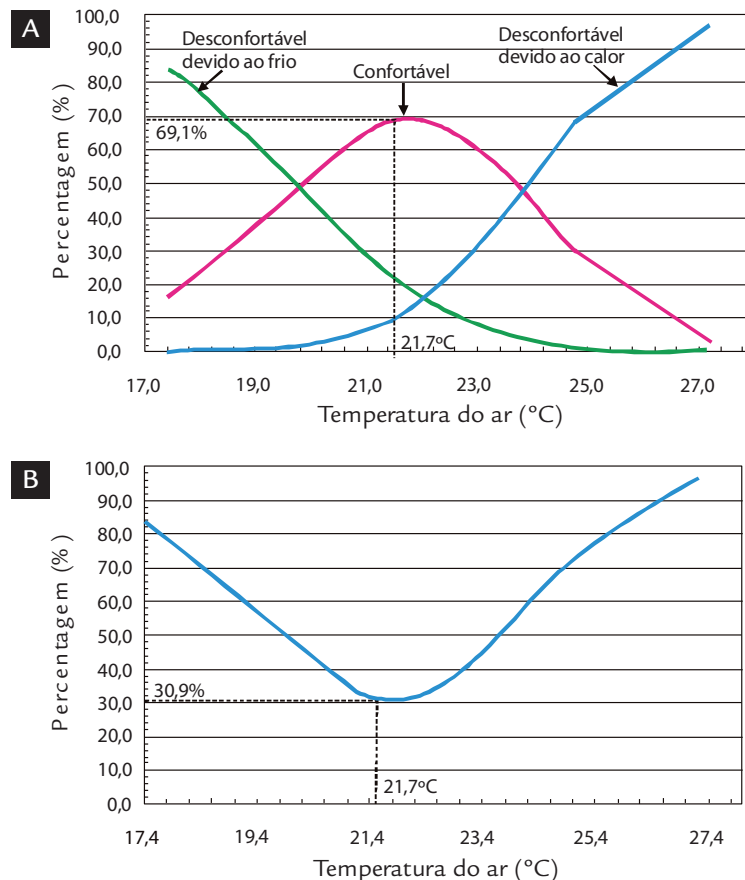


Figura 7
(a) Freqüências e (b) percentagem de pessoas insatisfeitas estimadas em função da temperatura do ar.

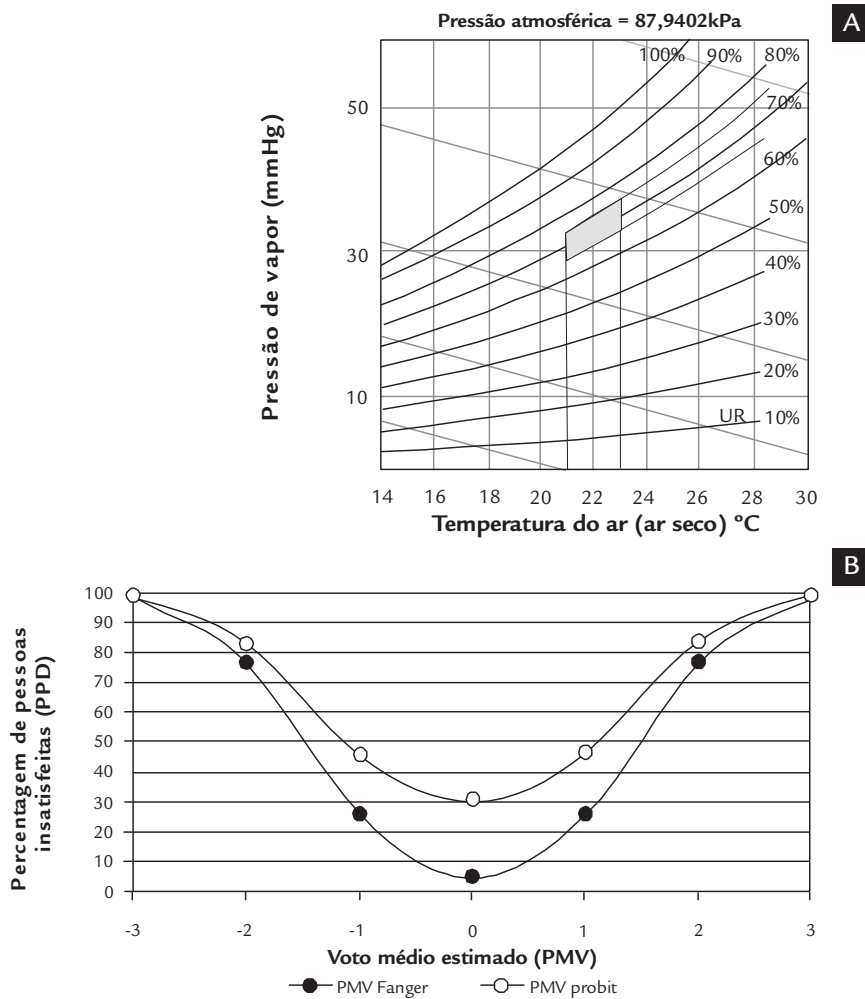


Figura 8 Diagrama com (a) os parâmetros de conforto térmico e (b) comparação do modelo de Fanger com os dados experimentais levantados.

Os dados coletados são, particularmente, valiosos, devido às condições experimentais sob as quais os dados fo-

ram levantados. No entanto, sua aplicação prática é, de certa forma, limitada, já que são válidos somente para condi-

ções características sob as quais a experiência foi realizada.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

6. Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ANSY/ASHRAE 55:2004. Atlanta, 2004.30p.
- CORGNATI, S.P., FILIPPI, M., VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Building and Environment*, v. 42, p. 951-959, 2007.
- FANGER, P. O. *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972. 245p.
- FISHER, R. A., YATES, F. *Tabelas estatísticas: para pesquisa em biologia, medicina e agricultura*. Tradução de Salvator Licco Haim. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo e Ed. Polígono, 1971. 150p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria - ISO 7730:2006*. Germany, 2006. 60p.