



## **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM MODELO TEÓRICO E A SENSÇÃO TÉRMICA DECLARADA POR TRABALHADORES EM AMBIENTES COM VDT**

**Luiz Bueno da Silva**

UFPB/CT/PPGEP, e-mail: [bueno@producao.ct.ufpb.br](mailto:bueno@producao.ct.ufpb.br)

**Antonio Souto Coutinho**

UFPB/CT/PPGEP, e-mail: [soutocoutinho@uol.com.br](mailto:soutocoutinho@uol.com.br)

**Francisco Soares Másculo**

UFPB/CT/PPGEP, e-mail: [másculo@producao.ct.ufpb.br](mailto:másculo@producao.ct.ufpb.br)

**Antonio Augusto de Paula Xavier**

UFSC, LabEEE, email: [augusto@labeee.ufsc.br](mailto:augusto@labeee.ufsc.br)

**Francisco Antonio Pereira Fialho**

UFSC, PPGEP, e-mail: [fialho@eps.ufsc.br](mailto:fialho@eps.ufsc.br)

Resumo: Este trabalho compara os resultados obtidos de um modelo matemático de conforto térmico proposto por Fanger (1972) e recomendado pela Norma ISO 7730/94, com a sensação térmica declarada por pessoas que exercem o mesmo tipo de atividade em dois ambientes com VDT (video display terminals) termicamente diferenciados. Para tanto, foram feitas medições termoambientais, utilizando-se a estação microclimática BABUC-A, conforme as Normas ISO-DIS 7726/1996 e ISO 10551/1995, e determinaram-se os índices PMV (predicted mean vote) e PPD (predicted percentage of dissatisfied). Devido à subjetividade que permeia a insatisfação térmica, constatou-se uma defasagem entre a sensação térmica declarada pelos trabalhadores e o índice teórico PMV.

Palavras-chave: Sensação térmica, Índice PMV, Índice PPD

### **1. INTRODUÇÃO**

Grande parte da população trabalhadora exerce sua atividade em ambientes fechados como escritórios, auditórios, salas de aula, salas de cirurgia, cabinas de aeronaves e navios, etc. Em vista disso, passou-se a ver a climatização como um possível fator de satisfação e aumento de produtividade, pois o conforto térmico é um estado fisiológico que dispensa a atuação do sistema de termorregulação, livrando-o, portanto, de uma carga extra. É possível que o trabalhador se sinta mais motivado pelo conforto ambiental encontrado no seu posto de trabalho e pelo resultado positivo das tarefas, resultando, então, na máxima qualidade dos serviços e/ou produtos. Em vista disso, pesquisas têm sido

realizadas na busca de um modelo que permita avaliar as condições térmicas de trabalho. Os primeiros modelos eram bastante simplificados em virtude do grande número de variáveis e da precariedade de meios para utilizá-las. Todavia, com o desenvolvimento da computação, foi possível a pesquisadores, nos Estados Unidos e na Europa, elaborarem modelos que levassem em conta todas as variáveis envolvidas no fenômeno. No entanto, a utilização desse modelo em regiões tropicais tem suscitado dúvidas, pois habitantes de latitudes diferentes poderiam estar diferentemente aclimatados.

O presente trabalho analisa as condições térmicas de dois ambientes diferenciados e compara a sensação térmica subjetiva das pessoas que ali exercem o mesmo tipo de atividade, com o correspondente modelo matemático.

## 2. JUSTIFICATIVA

Segundo Ensslin e Montibeller (1998), os principais aspectos relativos à qualidade de vida no trabalho analisada cognitivamente, são os seguintes.

- a) Motivação/prêmios: relacionamento profissional, melhoria profissional, compromisso e salários.
- b) Controle do estresse.
  - medicina preventiva: fisiológica, nutricional e organizacional;
  - medicina curativa;
  - ambiente de trabalho: conforto ambiental, treinamento e equipamentos e segurança.
- c) Vida do trabalhador e de sua família.

Verifica-se, portanto, um grande número de variáveis presentes num ambiente de trabalho. Por exemplo, ao conforto ambiental estão associadas as seguintes: ruído, iluminação, temperatura, umidade, pureza e velocidade do ar, radiação, esforço físico, tipo de vestimenta, entre outras. Cada uma delas representa uma parcela importante no bem-estar dos trabalhadores e na qualidade dos serviços. Os problemas de saúde, muitas vezes estão correlacionados a uma ou mais dessas variáveis de conforto; como podem, também, estar interligados a mudanças de ordem individual, social e técnica, principalmente se o trabalho envolve terminais de vídeo (Bergquist, 1984).

Além disso, a complexidade do trabalho, decorrente da introdução da automação tem gerado desconforto nos ambientes de trabalho e proporcionado aumento do estresse mental e desarmonia entre o homem e o sistema automatizado, com conseqüente desmotivação (Nagamachi, 1998, Velasco, 1998). Por essa razão, torna-se relevante comparar os *índices calculados através do modelo teórico* com a *sensação térmica declarada e percebida* pelos próprios usuários, com a finalidade de fornecer subsídios para a validação, ou não, dos modelos utilizados, contribuindo, também, para gerar elementos para os ajustes do modelo, adequando-o para as condições locais em que os dados foram coletados.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Análise das condições termoambientais

Para fazer-se as análises das condições térmicas a que estão sujeitos digitadores que trabalham com VDT, foram escolhidos dois ambientes termicamente distintos, denominados, para efeito de análise, *ambiente A* e *ambiente B*, respectivamente, ambos servidos por um sistema de ar condicionado central.

No *ambiente A*, foram realizadas duas medições: uma no turno da noite (medição 1), das 21:00h do dia 17/11/99 às 02:00h do dia 18/11/99; outra no turno da tarde no dia 18/11/99, das 14:00h às 19:00h (medição 2).

No ambiente B, foram também realizadas duas medições: uma no turno da noite (medição 3), das 20:00h do dia 18/11/99 à 01:00h do dia 19/11/99; outra no dia 19/11/99, das 09:00h às 18:00h (medição 4).

No total, foram efetuados vinte e sete turnos de medição (um a cada hora), coletando-se dados de cento e dez funcionários, correspondendo a quatrocentos e um dados analisados.

Convém frisar que, nos dias das medições, a temperatura externa média durante o dia apresentava-se em torno de 30°C e à noite em torno de 27°C. As variáveis climáticas foram medidas através da “estação microclimática BABUC – A”, que atende às exigências da Norma ISO-DIS 7726/1996 (ergonomics of the thermal environment – instruments for measuring physical quantities).

Questionários foram distribuídos com todos os funcionários participantes da pesquisa, para registrarem as respectivas opiniões sobre sensação térmica, tipo de roupa utilizada e dados pessoais, conforme a Norma ISO 10551/1995 (subjective judgement scales).

### 3.2 Determinação dos índices PMV e PPD

O índice PMV (predicted mean vote) indica a sensação térmica das pessoas, representada pela escala seguinte:

Muito Frio	Frio	Levemente Frio	Confortável	Levemente Quente	Quente	Muito Quente
- 3	- 2	- 1	0	1	2	3

Esse índice indica o nível de esforço do organismo para manter o balanço energético do corpo humano. O modelo matemático desse balanço, aliado ao tratamento estatístico da opinião de pessoas submetidas a ambientes controlados (Fanger, 1972), gerou a Equação (1), expressão analítica do índice, conforme a Norma ISO 7730/94.

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99(M - W) - p_a]\} - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014 M (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (1)$$

Sendo:

PMV = voto médio predito (adimensional);

M = energia metabólica (W/m<sup>2</sup>);

W = trabalho externo (W/m<sup>2</sup>);

p<sub>a</sub> = pressão parcial de vapor d'água (Pascal);

t<sub>a</sub> = temperatura de bulbo seco (°C);

I<sub>cl</sub> = resistência térmica da roupa ((m<sup>2</sup> °C)/W);

f<sub>cl</sub> = relação entre as áreas superficiais do corpo vestido e do corpo nu (adimensional);

t<sub>cl</sub> = temperatura da superfície das vestes (°C);

t<sub>r</sub> = temperatura radiante média (°C) e

h<sub>c</sub> = coeficiente de convecção (W/(m<sup>2</sup> °C)).

A temperatura da superfície das vestes é dada por

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \{3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

Para aplicar-se a Equação 1 cumpriram-se as seguintes tarefas: (a) medição das temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo, além da velocidade do ar, durante os dias 17, 18 e 19 de novembro de 1999, em diferentes pontos de cada ambiente; (b) classificação da resistência térmica das vestes e da energia metabólica por eles consumida, conforme tabelas constantes da literatura (Fanger, 1972).

A comparação do índice PMV com a real sensação dos cento e dez digitadores foi feita procedendo-se à análise dos questionários por eles preenchidos, dos quais constavam as respectivas sensações térmicas, comportamento, dificuldades, sexo, idade e altura.

O índice PPD (predicted percentage of dissatisfied) indica a percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas de um ambiente, estando relacionado com o PMV através da equação (2). Um recinto é considerado termicamente confortável quando o PPD não supera o valor de 10%, conforme a citada Norma ISO 7730/94.

$$PPD = 100 - 95x e^{-(0,03353xPMV^4 + 0,2179xPMV^2)} \quad (2)$$

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Avaliação termoambiental

As medições de temperaturas efetuadas entre as 21:00 horas do dia 17/11/99 e as 18:00 horas do dia 19/11/99 estão resumidas na Figura 1. Essa figura mostra quatro faixas, sendo que as duas primeiras representam o *ambiente A* e as duas outras representam o *ambiente B*.

Durante as medições, mantiveram-se constantes as seguintes variáveis climáticas:

- a) umidade relativa (RH) = 50%;
- b) velocidade máxima do ar ( $V_a$ )  $\leq$  0,10 m/s;
- c) temperatura radiante média ( $t_r$ )  $\cong$  temperatura de bulbo seco ( $t_a$ ).

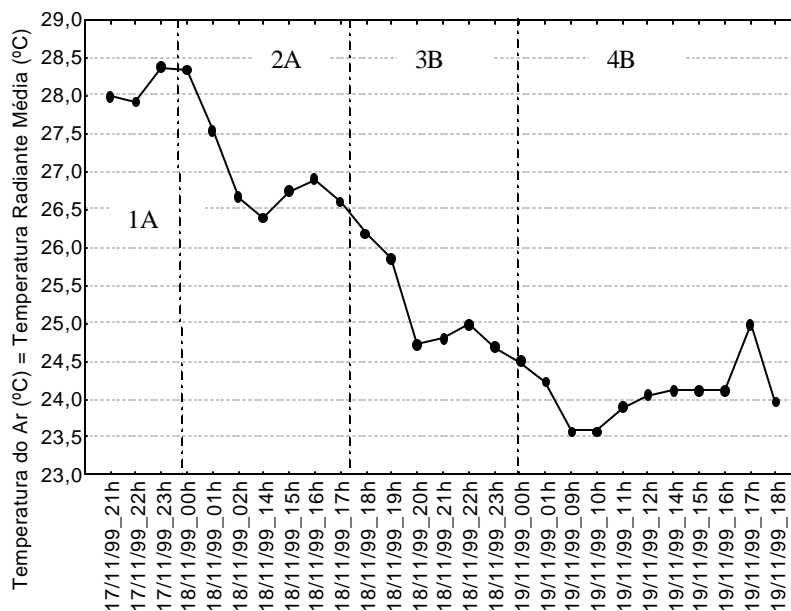


Figura 1: Variação de temperatura do ar durante a primeira e a segunda medição no ambiente A, e terceira e quarta medições no ambiente B, respectivamente.

Verifica-se que a temperatura do ar no ambiente A é mais elevada que no ambiente B. Os valores máximos observados em cada faixa, resultam de picos da carga térmica pessoal nos momentos em que haveria maior número de digitadores.

## 4.2. Análise das condições de conforto

As condições de conforto, do ponto de vista teórico e real, durante os três dias de medições podem ser visualizadas nas Figuras 2 e 3.

A Figura 2 mostra que no ambiente A, entre as 22:00 horas de um dia e 02:00 horas do outro, a percentagem de insatisfação revelou-se acima de 10%, tanto do ponto de vista teórico quanto real, conforme a Figura 3. A partir desse horário, exceto às 16:00 horas, todos os valores calculados indicaram insatisfação inferior a 10%; todavia, os trabalhadores revelaram essa situação apenas às 19:00 horas. No ambiente B, todos os valores teóricos indicaram insatisfação inferior a 10%; em quatro momentos as opiniões revelaram insatisfação superior a esse valor.

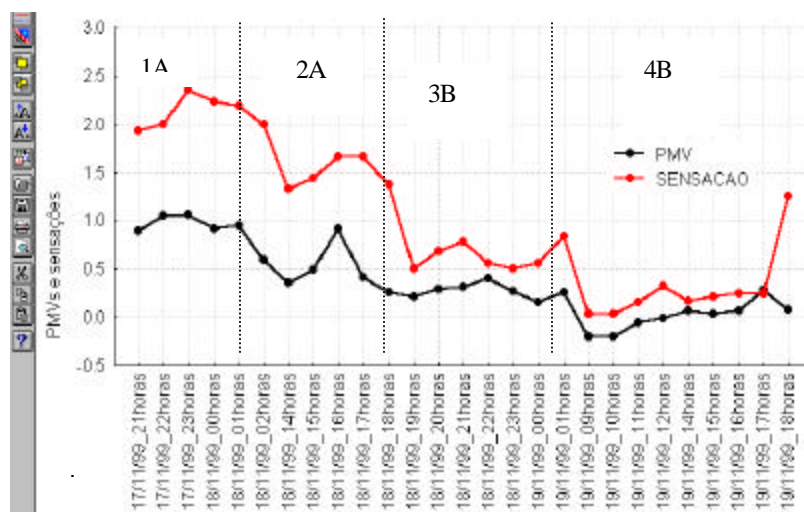


Figura 2 – Sensação térmica, relatada pelos trabalhadores versus sensação obtida de modelo teórico (PMV), em diferentes dias e horários.

Entretanto, observa-se que durante todo o período de medições, exceto na última hora, as pessoas declararam uma sensação “mais quente” do que a prevista pelo modelo teórico.

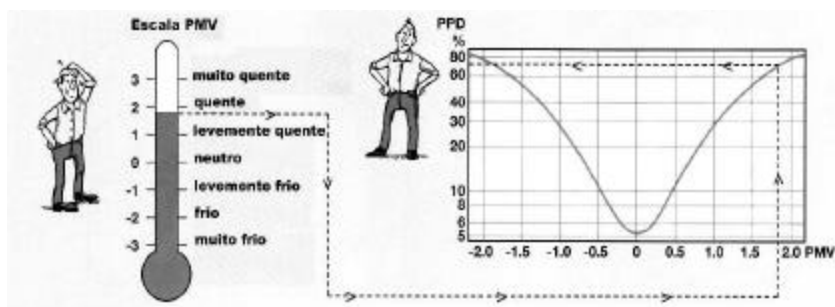


Figura 3 – Percentagem de Pessoas Insatisfeitas, em função do Voto Médio Estimado (PMV).

Fonte: BRUEL e KJAER. Thermal Comfort. Denmark:

Mas a Figura 2 mostra semelhança nas duas curvas, embora defasadas proporcionalmente à temperatura, revelando, assim, a necessidade de uma pesquisa mais intensa para saber se o modelo deve ser adaptado para outras latitudes, se o questionário aplicado é satisfatório ou se não está sendo perfeitamente entendido.

A temperatura de conforto, determinada a partir dos dados coletados em campo, foi obtida levando-se em consideração os votos das sensações fornecidas pelos funcionários nos diversos horários, em comparação à temperatura operativa, que leva em conta a radiação e a convecção, verificadas nos respectivos horários.

Através de análise de regressão linear, obteve-se a reta e a correspondente equação de ajuste, para cálculo da sensação térmica oferecida por aqueles ambientes, em função da temperatura, conforme a Figura 4. Vê-se que, na situação de conforto térmico, isto é,  $S = 0$ , a temperatura dos ambientes estudados deveria ser  $24,63^{\circ}\text{C}$ , conforme a referida equação de ajuste, como recomendam as diversas normas de conforto para condições semelhantes.

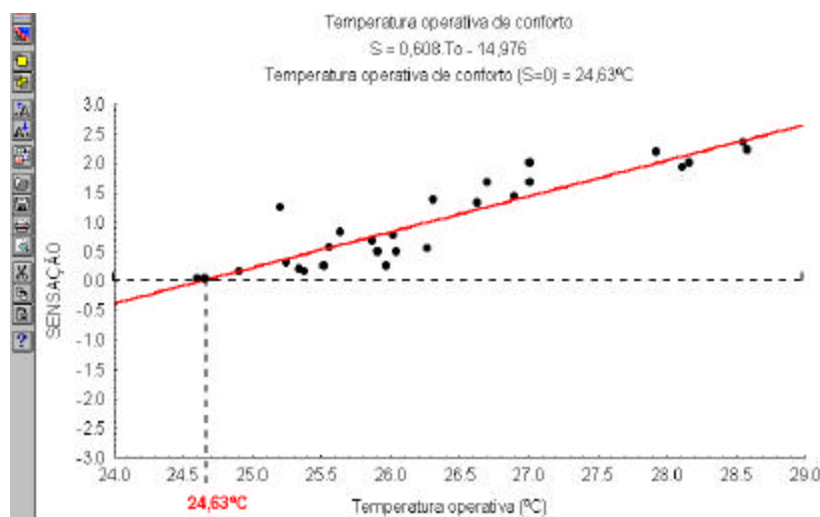


Figura 4: Retas de regressão entre as temperaturas do ar e as sensações relatadas pelos funcionários

## 5. CONCLUSÕES

Após a realização das análises efetuadas durante os três dias de estudo, verificou-se que das 21:00 às 23:00 horas do dia 17/11/99, e da 00:00 às 02:00 horas do dia 18/11/99, as temperaturas estavam entre  $26,50^{\circ}\text{C}$  e  $28,37^{\circ}\text{C}$ , conforme a Figura 1. Nesse mesmo intervalo constataram-se um  $PMV = 1,12$ ,  $PPD = 31,54\%$  e sensação entre 0,5 e 2,35, configurando uma situação de *desconforto térmico*.

Nas outras faixas, percebeu-se conforto termoambiental, mais expressivamente, entre as 09:00 e 18:00 horas do dia 19/11/99, quando a temperatura do ar variou entre  $23,58^{\circ}\text{C}$  e  $24,99^{\circ}\text{C}$ , correspondendo a um  $PMV$  de  $-0,5$  a  $0,5$ , isto é, *sensação de conforto*.

Constata-se, na Figura 2, uma defasagem entre a *sensação térmica* declarada pelos trabalhadores e o *índice teórico*  $PMV$ , variando proporcionalmente, até certo ponto, com a temperatura. Tal comportamento pode ser devido aos seguintes fatores:

- ◆ Diferenças de aclimação entre a amostra que originou o modelo teórico e as pessoas de outra latitude;
- ◆ Imperfeição nos questionários aplicados (falta de confiabilidade e fidedignidade);
- ◆ Dificuldade de interpretação dos questionários por parte dos trabalhadores;
- ◆ Variáveis subjetivas não detectadas.

Em vista do exposto, verifica-se a necessidade de maior aprofundamento nesse tipo de pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGQUIST, U. Video display terminals and health: a technical and medical appraisal of the state of art. In: **Scandinavian J Work Environ Health**, 10 (suppl 2), 1984. 1-87 p.
- ENSSLIN, Leonardo, MONTIBELLER, Gilberto. Evaluating quality of working life: a cognitive approach. In: Manufacturing Agility and Hybrid Automation-II. IEA Press, International Ergonomics Association. July, 1998, Hong Kong. **ANAIS**. 461-464 p.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort – analysis and applications in environmental engineering**. United States: McGraw-Hill Book Company, 1972. 244 p.
- ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment – assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. **International Organization for Standardization**, Genebra, 1995.
- ISO 7730. Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. **International Organization for Standardization**, Geneva, 1995.
- ISO/DIS 7726. Ergonomics of the thermal environment– Instruments for measuring physical quantities. **International Organization for Standardization**, Genebra, 1996.
- NAGAMACHI, Mitsuo. Japanese Style of production system after lean production. In: First World Congress on Ergonomics for Global Quality and Productivity, 8 a 11 de julho de 1998, Hong Kong. **ANAIS**. 109-112 p.
- VELASCO, Aida L., GALLARDO, Evelyn E. Filipino foundry men’s work life and work efficiency: an ergonomic study on productivity. In: First World Congress on Ergonomics for Global Quality and Productivity, July 8, 11, 1998, Hong Kong. **ANAIS**. 129-132 p.

# COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN A THEORETICAL MODEL AND THE THERMAL SENSATION DECLARED BY WORKERS IN ENVIRONMENT WITH VDT

**Luiz Bueno da Silva**

UFPB/CT/PPGEP, e-mail: [bueno@producao.ct.ufpb.br](mailto:bueno@producao.ct.ufpb.br)

**Antonio Souto Coutinho**

UFPB/CT/PPGEP, e-mail: [soutocoutinho@uol.com.br](mailto:soutocoutinho@uol.com.br)

**Francisco Soares Másculo**

UFPB/CT/PPGEP, e-mail: [másculo@producao.ct.ufpb.br](mailto:másculo@producao.ct.ufpb.br)

**Antonio Augusto de Paula Xavier**

UFSC, LabEEE, email: [augusto@labeee.ufsc.br](mailto:augusto@labeee.ufsc.br)

**Francisco Antonio Pereira Fialho**

UFSC, PPGEP, e-mail: [fialho@eps.ufsc.br](mailto:fialho@eps.ufsc.br)

*Abstract. This work compares the results obtained through a mathematical model of thermal comfort proposed by Fanger (1972), and recommended by the Norm ISO 7730/94, with the thermal sensation declared by people exercising the same activity type in two environments with VDT (Video Display Terminals) thermally differentiated. For that, it was made measurements in the environment, using the Microclimatic Station BABUC-A, according to the Norms ISO-DIS 7726/1996 and ISO 10551/1995, and it was determined the indexes PMV (Predicted Mean Votes) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Due to the subjectivity that permeates the thermal dissatisfaction, a gap was verified among the thermal sensation declared by the workers and the theoretical index PMV.*

*Keywords:* Thermal Sensation; PMD Index; PPD Index