

RELACIONAMENTO ENTRE SENSAÇÕES TÉRMICAS E PERCENTAGEM DE PESSOAS INSATISFEITAS COM O AMBIENTE EM ESTUDOS DE CAMPO.

Xavier, Antonio A. P.¹; Lamberts, Roberto² ; Volpato, Cleber G.³

1-Eng. Civil, M.Eng. Doutorando em Eng. Produção - UFSC e Professor do CEFET-PR, Unidade de Pato Branco. Fone (48) 334-3393, e-mail augusto@labeee.ufsc.br

2-Eng. Civil, PhD. Professor da Universidade Federal de Santa Catarina e Coordenador do NPC e LabEEE. Fone (48)331-7090, e-mail lamberts@ecv.ufsc.br

3-Acad. Eng. Civil da UFSC, bolsista de Iniciação Científica do CNPq- LabEEE. Fone (48)3319598 Ramal 26, e-mail cleber@labeee.ufsc.br

RESUMO

A Norma Internacional existente sobre conforto térmico (ISO 7730, 1994), a qual é baseada nos estudos de Fanger (1970), sugerem para a aceitabilidade térmica de um ambiente, que a percentagem de pessoas insatisfeitas seja inferior a 10%. Apresentam também o relacionamento entre a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) e o voto médio estimado (PMV). Para este relacionamento, foram considerados como insatisfeitas as pessoas que votaram +3, +2, -3 e -2 na escala sétima de percepção, de acordo com a ISO 7730 (1994), e Fanger (1970). As pessoas que votaram +1 e -1 não foram consideradas como insatisfeitas.

Estudos recentes (Araújo, 1996), consideraram os votos +1 e -1 como sendo de pessoas totalmente insatisfeitas.

O objetivo deste artigo, é apresentar uma relação entre a sensação térmica e a percentagem de pessoas insatisfeitas, baseada em estudos de campo e através de uma comparação entre os votos de sensações térmicas e os votos de preferências térmicas.

As principais conclusões que podem ser retiradas deste artigo, são: a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico é maior do que a apresentada pela ISO; a escala de preferências térmicas é uma boa ferramenta para a caracterização das pessoas insatisfeitas

ABSTRACT

The existing International Standard of thermal comfort (ISO 7730, 1994), which is based on Fanger's studies (1970), suggests for an environment to be thermal acceptable, the percentage of dissatisfied people should be lower than 10%. It presents as well, the relationship between the predicted percentage of dissatisfied (PPD) and the predicted mean vote (PMV). For this relation, the people who vote +3, +2, -3 and -2 on the seven point perception scale, according to ISO 7730 (1994), and Fanger (1970), were considered as dissatisfied. The people who vote +1 and -1 were not considered as dissatisfied.

Recent studies (Araújo, 1996), considering the votes +1 and -1 as being of dissatisfied people. The aim of this paper is to present a relationship among thermal sensation and percentage of dissatisfied people, based on field studies and from the comparison between the thermal sensation votes and the thermal preference votes.

The main conclusions that can be extracted from this paper are: the percentage of people dissatisfied with the environment is bigger than that presented by ISO; the thermal preference scale is a good tool for characterization of the dissatisfied people.

1 INTRODUÇÃO

O modelo de predição de conforto térmico de usuários de edificações, bem como a avaliação da aceitabilidade térmica de ambientes internos, é matéria normalizada através da ISO 7730 (1994). Os dizeres constantes na Norma, basearam-se nos estudos de Fanger (1970), realizados em câmaras climatizadas na Dinamarca, sendo esses estudos conhecidos internacionalmente como modelo PMV/PPD.

O voto médio estimado (PMV) ou sensação analítica de conforto térmico, foi obtido no modelo, através do balanço térmico entre o homem e o ambiente, onde a geração de calor pelo organismo devido à execução de uma atividade deve ser dissipada em igual proporção ao ambiente, por meio dos mecanismos de trocas térmicas, ou seja, por convecção, radiação, evaporação e condução.

Através da expansão da expressão do balanço térmico, para quatro atividades diferentes e levando-se em consideração os votos de sensações térmicas de mais de 1300 pessoas, fornecidos em uma escala de sete pontos, desde muito quente até muito frio, Fanger apresentou por meio de análises estatísticas de regressão, a expressão do PMV, conforme equação 1 abaixo:

$$\text{PMV} = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad [1]$$

onde:

PMV = Voto médio estimado, ou sensação analítica de conforto térmico, adimensional;

M = Taxa metabólica de produção de calor, W/m^2 ;

L = Carga térmica atuando sobre o corpo, W/m^2 .

As análises efetuadas com relação à percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD), foram feitas tomando-se por base os votos fornecidos pelas pessoas na escala sétima de sensações, tendo Fanger feito a seguinte consideração: *encontravam-se insatisfeitas as pessoas que votaram +3, +2, -3 e -2 na escala de sensações. Os votos +1 e -1 não caracterizavam pessoas insatisfeitas com o ambiente.*

A escala sétima de sensações, ou escala de percepção constante da ISO 10551 (1995), a qual foi utilizada nos estudos de Fanger, encontra-se na tabela 1 a seguir.

TABELA 1: Escala de percepções térmicas da ISO 10551-95

Como você está se sentindo nesse momento?	
Muito quente	+3
Quente	+2
Levemente quente	+1
Neutro	0
Levemente frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

Desse modo, Fanger estabeleceu, para se avaliar um ambiente interno, o relacionamento entre o PMV médio das pessoas e o percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente, conforme equação 2 a seguir:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad [2]$$

Por esta expressão, observa-se que para uma situação plena de conforto, PMV=0, existirá um percentual mínimo de insatisfeitos da ordem de 5%.

A ISO 7730 (1994), em seu anexo D, considera como aceitável termicamente o ambiente que apresentar um percentual de pessoas insatisfeitas inferior a 10%, o que, ao retornar-se à expressão 2 anterior, leva a um valor de PMV entre +0,5 a -0,5.

Em casos onde os votos +1 e -1 na escala de sensações são considerados como insatisfeitos, Araújo (1996), verifica-se que para a situação plena de conforto, S=0 (ou PMV=0), o percentual de pessoas insatisfeitas é superior a 40%.

O objetivo do presente artigo é relacionar a sensação térmica dos usuários e a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente, através de análise comparativa entre os votos de sensações térmicas e os votos de preferências térmicas fornecidos pelos usuários dos ambientes internos, durante as medições.

Os dados aqui apresentados foram extraídos de estudos realizados por Xavier (1999), em Florianópolis, S.C., abrangendo 65 medições e votos de mais de 1400 pessoas no ano de 1997.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho, constou de medições de variáveis ambientais e coleta de dados subjetivos de pessoas. A pesquisa foi realizada na Escola Técnica Federal de Santa Catarina, durante o ano de 1997, e a população pesquisada era composta de estudantes de 2º grau, homens e mulheres, de faixa etária entre 16 e 19 anos, em sua grande maioria.

As variáveis ambientais, como temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade do ar, foram obtidas utilizando-se equipamento apropriado (sensores e registrador de dados), previamente calibrado. As medições foram efetuadas de abril a dezembro de 1997, de acordo com os dizeres da ISO/DIS 7726 (1996).

Os dados pessoais ou subjetivos, como vestimentas utilizadas, sensações térmicas percebidas e preferências térmicas, foram coletados simultaneamente às medições ambientais, utilizando-se questionários específicos. O isolamento térmico das vestimentas foi determinado conforme ISO 7730 (1994) e ASHRAE (1997), sendo que as sensações e preferências térmicas foram coletadas conforme escalas sugeridas pela ISO 10551 (1995). A escala de sensações térmicas ou de percepção foi apresentada na tabela 1 deste artigo, enquanto a escala de preferências térmicas encontra-se apresentada na tabela 2 abaixo.

TABELA 2: Escala de preferências térmicas da ISO 10551-95

Como você gostaria de estar se sentindo nesse momento?	
Bem mais aquecido	-3
Mais aquecido	-2
Um pouquinho mais aquecido	-1
Assim mesmo, nem mais quente ou frio	0
Um pouquinho mais refrescado	+1
Mais refrescado	+2
Bem mais refrescado	+3

A partir da coleta dos dados passou-se a comparação entre os votos de sensações térmicas e os votos de preferências térmicas, no que diz respeito ao voto de sensação igual a +1 ou a -1. Essa comparação objetivou a caracterização desses votos como insatisfeitos ou não. Para tal foram analisadas três situações distintas:

- *Considerados como insatisfeitas as pessoas que votaram +1 ou -1 na escala de sensações e mantiveram esses votos na escala de preferências.*
Essa consideração teve por base levantar-se a realidade de todos os votos +1 e -1 encontrados em todas as medições. Tal situação é aqui chamada de **situação real**.
- *Consideradas como insatisfeitas 66% das pessoas que votaram +1 na escala de sensações e 77% dos que votaram -1 na escala de sensações.*
Essa consideração teve por base a tentativa de se generalizar a caracterização dos votos +1 e -1 encontrados nas medições. De todos os votos +1 e -1 verificados nas medições, as médias encontradas para as 65 medições apontaram que 66% dos votos +1 representavam situação de desconforto (de acordo com a primeira análise), enquanto 77% dos votos -1 representavam situação de desconforto. Tal situação é aqui chamada de **situação média**.
- *Consideradas como insatisfeitas 50% das pessoas que votaram +1 na escala de sensações e 50% das pessoas que votaram -1 na escala de sensações.*
Essa consideração teve por base a manutenção da faixa de aceitabilidade térmica sugerida pela ISO (+0,5 a -0,5). Como na escala de sensações não aparece o voto +0,5 nem tampouco o -0,5, e por serem eles o ponto médio entre o voto 0 (situação de pleno conforto) e o +1 ou -1, essa situação foi analisada. Tal situação é aqui chamada de **situação hipotética**.

Após essas considerações e análises comparativas, foram efetuadas análises de regressão com ajustes não lineares, com o intuito de se extrair uma expressão para a percentagem de pessoas insatisfeitas em função das sensações térmicas. O último passo da metodologia foi a verificação, através de análises de regressão e coeficientes de correlação entre a percentagem de pessoas insatisfeitas preditas pela expressão proposta e o real verificado em campo, com o intuito de se checar a eficácia do método.

3 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados aqui apresentados, levam em consideração as três situações analisadas e mostradas na metodologia.

3.1 Situação real:

Ao analisar essa situação já mencionada anteriormente, observou-se uma heterogeneidade acentuada com relação aos votos +1 e -1. Em algumas medições a percentagem de alunos insatisfeitos com esses votos foi elevada, enquanto em outras medições ocorreu o inverso, ou seja, grande número de alunos que assinalaram +1 ou -1 estavam satisfeitos com o ambiente.

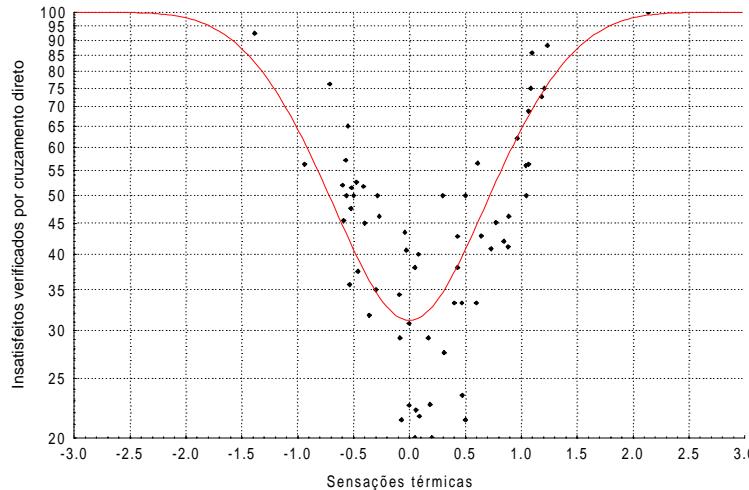


Figura 1 – Ajuste entre percentagem de insatisfeitos (situação real) e sensações térmicas

Correlacionando a percentagem de insatisfeitos por esta situação real com as sensações médias de cada medição através de um ajuste não linear conforme figura 1 obteve-se um coeficiente de determinação $R^2 = 0,683$ e um percentual mínimo de insatisfeitos de 31,2% para a sensação plena de conforto, $S=0$, sendo que quando é observada a zona de conforto proposta pela ISO, sensações entre $-0,5$ e $+0,5$, aproximadamente 41,0% das pessoas estão insatisfeitas com o ambiente. Por este ajuste observa-se que a partir dos votos $+2$ e -2 obtém-se um percentual de insatisfeitos próximo de 100%.

3.2 Situação média:

Conforme já dito anteriormente o percentual médio dos votos +1 que representavam desconforto nas 65 medições foi de 66% enquanto o percentual médio dos votos -1 que representavam desconforto foi da ordem de 77%. A regressão não linear e o respectivo ajuste entre a sensação térmica média e o percentual de insatisfeitos verificado nessa situação, encontra-se na figura 2 a seguir.

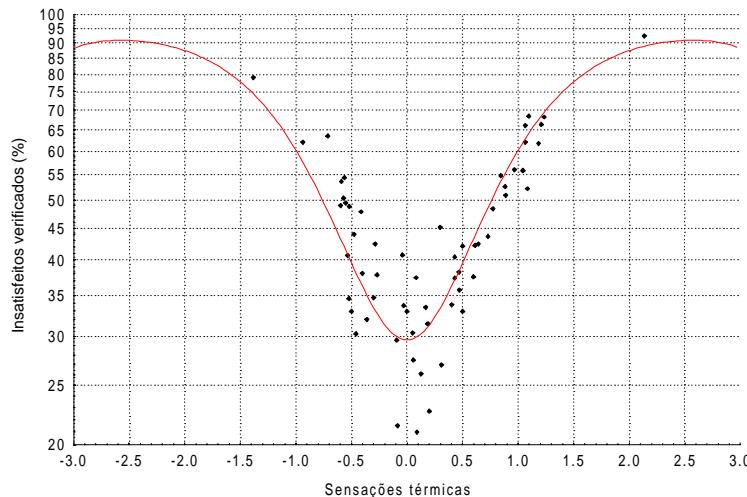


Figura 2 – Ajuste entre percentagem de insatisfeitos (situação média) e sensações térmicas

O coeficiente de determinação para a análise de regressão efetuada para esta situação foi da ordem de $R^2 = 0,812$, sendo que a percentagem de insatisfeitos mínima para a situação plena de conforto foi de 29,6%. Para a faixa de conforto da ISO (+0,5 a -0,5) observa-se que 39,0% das pessoas estão em desconforto térmico, e não 10% conforme a Norma.

3.3 Situação hipotética

Este situação, que busca se caracterizar pela faixa de conforto prevista pela ISO, diverge do caso anterior percentagem de insatisfeitos dos votos +1 e -1, que nesse caso é de 50% para os dois votos. Ajustando-se o percentual de insatisfeitos segundo essa consideração com as sensações médias das 65 medições, figura 3, obtém-se um coeficiente de determinação $R^2 = 0,913$, o que significa dizer que mais de 90% da variação da percentagem de pessoas insatisfeitas está explicada pelas sensações térmicas. Devido ao fato desta situação apresentar uma boa significância para a metodologia, bem como estar de acordo com a normalização internacional, esta será considerada a situação aceita, e com relação a ela é determinada a expressão que caracteriza o percentual de pessoas insatisfeitas em função das sensações térmicas.

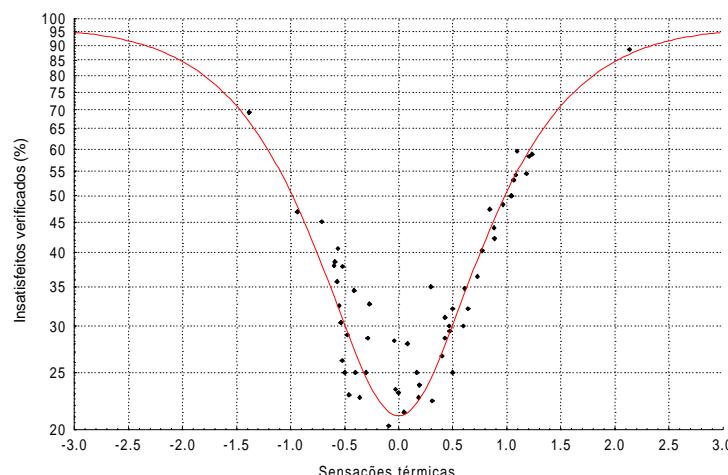


Figura 3 – Ajuste entre percentagem de insatisfeitos (hipotética) e sensações térmicas

Para a situação plena de conforto térmico, $S=0$, observa-se que a percentagem de pessoas insatisfeitas mínima é da ordem de 21,1% bem superior portanto ao preconizado pelo modelo PMV/PPD (5%). Para a faixa de aceitabilidade térmica preconizada pela ISO, observa-se um percentual de pessoas insatisfeitas da ordem de 30,0%.

Essa situação, considerada como base para o relacionamento entre as sensações térmicas e a percentagem de pessoas insatisfeitas, possibilita a expressão de um algoritmo analítico de predição, conforme equação 3.

$$I = 100 - 78,89 \cdot \exp(0,0212 \cdot S^4 - 0,4923 \cdot S^2) \quad [3]$$

onde:

I = Percentagem predita de insatisfeitos com o ambiente térmico, %;

S = Sensação térmica verificada ou predita conforme equação 4 (Xavier, 1999).

$$S = 0,2141 \cdot T_o + 0,0114 \cdot UR - 0,1685 \cdot V_{ar} - 5,7114 \quad [4]$$

A figura 4 ilustra as três situações aqui analisadas, bem como o modelo proposto pelo modelo do PMV/PPD.

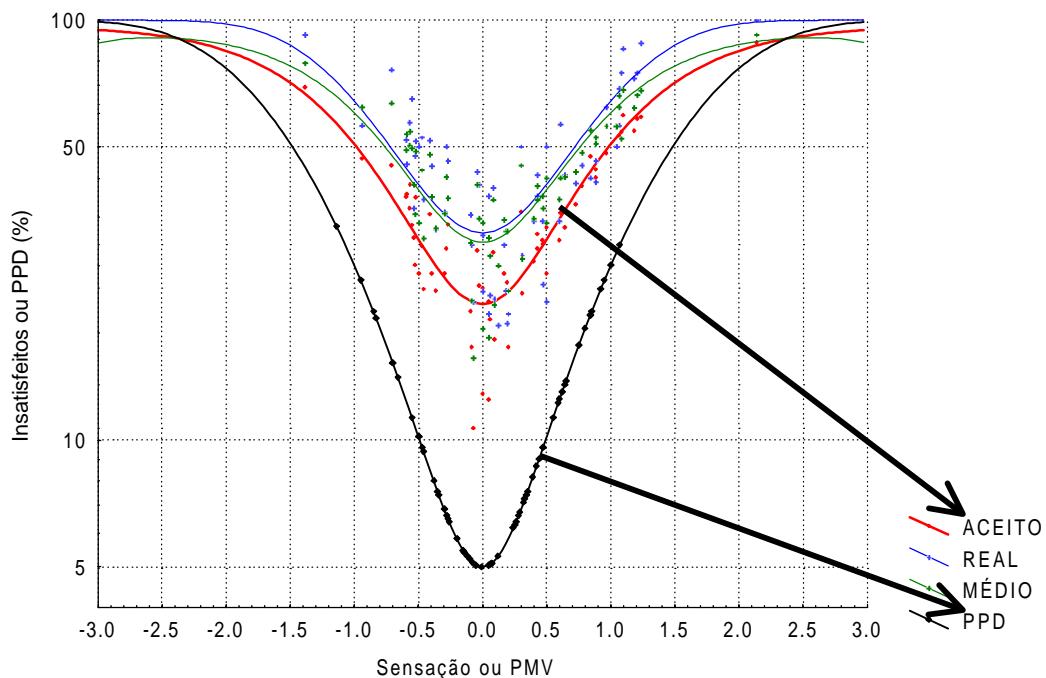


Figura 4 – Comparativo entre o modelo PMV/PPD e as três situações analisadas em campo.

4 CONCLUSÕES

As principais conclusões que podem ser obtidas do presente trabalho, são:

- A percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, é superior ao preconizado pela ISO 7730 (1994), bem como pelos estudos de Fanger (1970). Tal

constatação deve-se ao fato de que o modelo do PMV/PPD não considera como insatisfeitos os votos +1 e -1 anotados na escala de sensações térmicas;

- As maiores dispersões verificadas no percentual de pessoas insatisfeitas, dentro da metodologia apresentada, situam-se no interior ou próximos da zona de conforto térmico ($+0,5 > S > -0,5$), sugerindo dessa forma as diferenças individuais entre as pessoas, bem como suas capacidades e oportunidades adaptativas, bem presentes nessa faixa de sensações, o que já foi relatado por estudos anteriores (Nicol, 1993);
- A escala de preferências térmicas mostrou, no estudo em questão, ser uma ferramenta útil no método de predição de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico;
- Por se tratar de metodologia extraída de estudos de campo, com pessoas desempenhando suas atividades rotineiras, o método de predição tende a uma boa aproximação com a situação realmente encontrada nos ambientes internos;
- Facilidade na metodologia de predição, pois conforme pode ser observado pelas equações 3 e 4, os índices podem facilmente ser obtidos apenas com o conhecimento prévio das variáveis ambientais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, V. M. D. *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. São Paulo, 1996. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. *ASHRAE Fundamentals*. Atlanta, 1997. Cap.8: Thermal Comfort
- FANGER, P. O. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- NICOL, F. *A Handbook for Field Studies Toward an Adaptive Model*. Londres: University of East London, 1993.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, ISO 7730. Genebra, 1994.
- _____. *Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*, ISO 10551. Genebra, 1995.
- _____. *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*, ISO DIS 7726. Genebra, 1996.
- XAVIER, A. A. P. *Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis*. Florianópolis, 1999. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.