

## SENSAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO: RESPOSTAS DOS MORADORES DA VILA TECNOLÓGICA DE CURITIBA

**KRÜGER, Eduardo L. (1); DUMKE, Eliane M.S. (2); MICHALOSKI, Ariel O. (3)**

(1) Eng. Civil, Dr.-Ing., Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR -Av. Sete de Setembro, 3165 CEP 80230-901 Curitiba - PR. e-mail: [krueger@ppgte.cefetpr.br](mailto:krueger@ppgte.cefetpr.br)

(2) Arquiteta, Mestranda do PPGTE, Profa. Curso de Arquitetura, Universidade Tuiuti do Paraná. Rua Engº Niepce da Silva, 139 - CEP 80610-280. e-mail: [pdumke@qualityware.com.br](mailto:pdumke@qualityware.com.br)

(3) Eng. Civil, Mestrando do PPGTE, Prof. Departamento de Desenho Industrial – CEFET-PR. Ponta Grossa - Av. Monteiro Lobato, km 4, CEP 84016-210 Ponta Grossa - PR. e-mail: [ariel@interponta.com.br](mailto:ariel@interponta.com.br)

### RESUMO

Considerando o conforto térmico como um importante critério para a avaliação de sistemas construtivos, esta pesquisa teve como objetivo avaliar e comparar os sistemas construtivos empregados nas habitações da Vila Tecnológica de Curitiba, identificando o seu grau de adequação às condições climáticas locais e buscando diretrizes para sua otimização. Neste trabalho, foram determinadas sensações de conforto térmico dos moradores para um dia de verão e para um dia de inverno, comparando-se as respostas dos moradores com as condições internas de temperatura e umidade em 17 moradias da Vila Tecnológica de Curitiba. A partir disso, foi determinada a temperatura neutra para o conjunto de dados, que reflete de um modo geral as preferências de conforto térmico da população considerada.

### ABSTRACT

Regarding thermal comfort as an important aspect in the evaluation of building systems, the main goal of this research is to evaluate and compare the buildings systems which were developed for the low-cost houses in the Technological Village of Curitiba, identifying their adequacy to local climatic conditions and looking for solutions for their optimization. In the present paper, thermal comfort sensations of low-income subjects were determined for a summer and a winter day and these votes compared with indoor temperature and relative humidity conditions in 17 houses of the Technological Village of Curitiba. Finally, the neutral temperature was determined, which represents the thermal comfort preferences of the population.

### 1. INTRODUÇÃO: CONFORTO TÉRMICO

Os primeiros estudos relacionados aos parâmetros definidores da sensação de conforto térmico datam do século XIX. Com a Revolução Industrial, o aumento do número de acidentes e doenças geradas na indústria têxtil, na mineração e na metalurgia estimularam as primeiras investigações no assunto, que tinham como preocupação principal não exatamente a saúde do trabalhador, mas o aumento da produtividade industrial. Heberden, em 1826, foi um dos primeiros cientistas que relacionou a sensação de conforto a outros fatores, além da temperatura do ar. O primeiro estudo de alguma relevância, entretanto, é de Haldane e data de 1905 (SZOKOLAY, 1985).

Através de pesquisas empíricas, a sistematização dos conhecimentos nesta nova área de investigação iniciou-se com o trabalho de Houghton e Yaglou, como parte de diversos estudos para a ASHVE

(American Society for Heating and Ventilation Engineers). O objetivo, neste caso, era otimizar as condições de operação de condicionadores de ar. Pesquisas analíticas surgiram com Winslow, Herrington e Gage, em 1937 (SZOKOLAY, *op. cit.*).

Na área de investigação relacionada aos estudos fisiológicos da sensação de conforto, P.O. Fanger é, até hoje, um dos mais citados, realizando uma importante contribuição voltada à aplicação de parâmetros de conforto na indústria de ar-condicionado. Tais estudos foram conduzidos quando o impacto do primeiro choque de petróleo ainda não havia ocorrido na Arquitetura e o condicionamento artificial não era visto de forma negativa. No entanto, já há a visão da área como necessariamente inter e multidisciplinar. No prefácio de sua obra de referência *Thermal Comfort* (FANGER, 1970), são citadas as diversas disciplinas envolvidas no estudo do conforto térmico: transferência de calor e massa, fisiologia e psicofísica, ergonomia, biometeorologia, arquitetura e engenharia têxtil.

A sensação de conforto térmico é definida como *o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico* (ASHRAE, 1981). Essa própria definição indica que a sensação de conforto depende tanto de *aspectos físicos do ambiente* (o ambiente térmico) como também de *aspectos subjetivos* (o estado de espírito do indivíduo).

Basicamente, pode-se considerar a grande gama de fatores que influem na condição de conforto através de duas formas: empírica ou analiticamente. Empiricamente, a análise das condições de conforto é de natureza estatística, enquanto que analiticamente procura-se considerar os fenômenos de troca de calor e criar algoritmos aproximados das reações do corpo humano. Sendo assim, na análise da satisfação individual com o ambiente térmico, em se tratando de um grupo de pessoas sujeitas às mesmas condições climáticas, variações na sensação de conforto térmico são inevitáveis, pois há variações entre os indivíduos. Em vista disso, Fanger desenvolveu o conceito de porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) em função de suas opiniões (PMV: o voto médio estimado) a respeito de determinado ambiente térmico.

No presente trabalho, procurou-se relacionar um aspecto físico do ambiente, a temperatura ambiente, à sensação relatada pelo indivíduo, no caso, moradores de moradias populares. Para tanto, foi montado um questionário e tomadas medidas instantâneas de temperatura e umidade relativa das habitações da Vila Tecnológica de Curitiba.

## 2. A VILA TECNOLÓGICA DE CURITIBA

A Vila Tecnológica de Curitiba, a primeira ser criada no Brasil, consta de 100 casas habitadas por famílias de baixa renda, constituídas de diferentes materiais e sistemas construtivos. Ao todo, foram analisadas 17 moradias efetivamente habitadas e de sistema construtivo diferenciado. Na Tabela 1, estão listados os sistemas construtivos que fizeram parte da avaliação.

**Tabela 1: Os sistemas construtivos avaliados da Vila Tecnológica de Curitiba**

SISTEMA CONSTR.	EMPRESA	SISTEMA CONSTRUTIVO	EMPRESA
1 Blocos cerâmicos	COHAB-PARÁ	10 Placas de concreto	FACICASAS
2 Solocimento	ANDRADE GUTIERREZ	11 Painéis de madeira	BATTISTELLA
3 Poliestireno expandido	CONSTROYER	12 Painéis de madeira	KURTEN
4 Concreto e poliestireno	JOSÉ TURECK	13 Concreto celular sical	ABC
5 Madeira de lei maciça	TODESCHINI	14 Fibrocimento	ETERNIT
6 Blocos de concreto	CASTELAMARI	15 Painéis de concreto	MLC
7 Painéis de concreto	CHJ	16 Argamassa epóxi	EPOTEC
8 Placas de concreto	TETOLAR	17 Painéis duplos de concreto	PAINEIRA
9 Madeira mineralizada	3P		

### 3. METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa se deu conforme a seguinte metodologia:

- aplicação dos questionários de sensações de conforto térmico;
- levantamento dos dados físicos do ambiente: medições de temperatura e umidade relativa, sob a forma de TBS e TBU;
- conversão das temperaturas encontradas para umidade relativa = 50%;
- predição do grau de conforto térmico: determinação de uma equação de regressão para a série de dados, relacionando temperatura ambiente e o voto de sensação térmica (VST) e obtendo-se a temperatura neutra para a série de dados;
- comparação entre a equação de regressão e a temperatura neutra obtidas com as de outras pesquisas do gênero.

Após a aplicação dos questionários e da medição instantânea da temperatura e umidade do ar, foi feita uma conversão dos mesmos para a temperatura equivalente a uma umidade relativa de 50%, a fim de se poder estabelecer uma comparação com as pesquisas realizadas por Fanger (1970) e Nevins *et al.* (1966) (citado em FANGER, *op. cit.*). A determinação dessa temperatura equivalente valeu-se dos resultados analíticos de Fanger, baseados na aplicação de sua equação de conforto, onde a influência de uma variação da umidade relativa de 0 a 100% era compensada por um decréscimo na temperatura de 1,5 (para temperaturas mais altas, pessoas com vestimenta leve = 0,5 clo) a 3,0 K (temperatura mais baixas, pessoas com vestimentas pesadas = 1,5 clo).

Para que fosse possível uma comparação com as equações de regressão obtidas por Fanger e Nevins *et al.*, foi adotada a escala psico-física da ASHRAE (Tabela 2).

**Tabela 2: Escala de voto de sensação térmica (VST)**

1	muito frio
2	frio
3	levemente frio
4	neutro, conforto
5	levemente quente
6	quente
7	muito quente

### 4. QUESTIONÁRIO DE SENSações

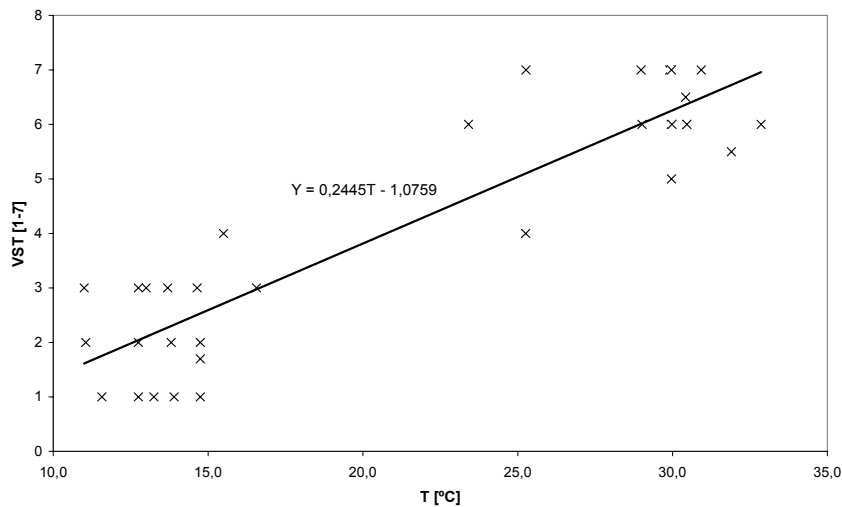
O questionário de sensações de conforto térmico usado no trabalho foi baseado em XAVIER e LAMBERTS (1997) e os dados que o compõem, são: a sensação subjetiva de conforto térmico dos moradores das casas e os dados ambientais de temperatura e umidade do ar, medidos com termômetros manuais. Apenas as respostas de moradores exercendo atividades sedentárias foram consideradas, para que se garantisse a compatibilidade com as equações de Fanger e Nevins *et al.*.

### 5. RESULTADOS

Os dados obtidos estão apresentados, de forma agrupada, na Tabela 3. O voto de sensação térmica foi obtido somando-se 4 pontos ao PMV, que representa uma média das sensações relatadas pelos moradores de cada sistema construtivo. A partir disso, foi feita uma análise de regressão linear, obtendo-se uma equação de regressão, a partir da qual a temperatura neutra foi calculada para VST=4, o que corresponde a um PMV=0 (Fig. 1 e Tab. 4).

**Tabela 3: Tabela-resumo para inverno e verão**

SISTEMA CONSTRUTIVO	INVERNO				VERÃO			
	Temp. Externa [°C]	Temp. Interna [°C]	UR Interna [%]	PMV declarado	Temp. Externa [°C]	Temp. Interna [°C]	UR Interna [%]	PMV declarado
1	17,1	12,0	92	-3,0	21,7	25	68	3,0
2	15,6	12,0	75	-2,0	26	30,5	45	2,5
3	12,5	12,0	75	-3,0	28,7	29	51	2,0
4	12,1	14,0	71	-1,0	29,5	29	49	3,0
5	17,8	15,0	67	0,0	30,3	30,5	47	2,0
6	14,1	10,5	86	-3,0	29,5	31	45	3,0
7	16,3	14,0	75	-2,3	29,5	30	48	3,0
8	13,3	12,0	83	-1,0	21,7	25	67	0,0
9	14,1	9,5	100	-1,0	29,5	32	43	1,5
10	14,4	14,0	75	-3,0	29,5	30	48	1,0
11	11,3	13,0	73	-1,0	30,7	33	41	2,0
12	17,1	16,0	69	-1,0	29,9	30	47	3,0
13	15,6	14,0	75	-2,0	21,7	23	77	2,0
14	18,2	13,0	77	-2,0	28,7	30	48	2,0
15	14,8	10,0	85	-2,0	26,3	30	44	3,0
16	15,9	12,0	75	-1,0	29,9	30	47	2,0
17	13,7	13,0	80	-3,0	29,5	30,5	47	2,0

**Fig. 1: Gráfico Temperatura × sensações (VST)****Tabela 4: Equação de regressão e temperatura neutra para a série de dados**

GRUPO	NÚMERO DE OBSERVAÇÕES	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	TEMPERATURA NEUTRA
Jovens ( <i>college-age</i> ) dinamarqueses (Fanger, 1973)	128	$Y=0,3048T-3,836$	25,71°C
Idosos dinamarqueses (Fanger, 1973)	128	$Y=0,3206T-4,241$	25,71°C
Jovens ( <i>college-age</i> ) norte-americanos (Nevins <i>et al.</i> , 1966)	720	$Y=0,3376T-4,625$	25,55°C
Moradores da Vila Tecnológica de Curitiba (2000-2001)	17	$Y=0,2445T-1,0759$	20,76°C

A comparação entre a equação de regressão obtida e a decorrente temperatura neutra com as pesquisas realizadas por Fanger e por Nevins *et al.* resultou numa disparidade entre as temperaturas neutras,

definidoras do conforto térmico das amostras. A baixa temperatura encontrada ( $T_n=20.76^{\circ}\text{C}$ ) deve-se a alguns fatores, tais como:

1. O efeito da aclimação: os moradores estão sujeitos ao clima frio de Curitiba, não dispondo de sistemas de calefação ou climatização artificial. O ano climático de referência (TRY) para Curitiba apresenta 73,2% das horas anuais com desconforto por frio, sendo essa a capital mais fria do país (GOULART *et alii*, 1998).
2. Some-se a isso as características térmicas das moradias que acarretam em temperaturas significativamente baixas no interior das moradias no período de inverno.
3. Dificuldades na compreensão do questionário de sensações pelos moradores: a escala de sensações foi interpretada de forma errônea, sendo relatados com frequência valores muito altos de PMV (-3 ou +3). Enquanto que um PMV igual a -3 se justificava no inverno, no verão, a opção por PMVs da ordem de +3 foi adotada até mesmo quando a temperatura se situava na faixa de temperaturas de conforto térmico para países em desenvolvimento, definida por GIVONI (1992) como sendo de 18 a 29°C, como foi o caso do sistema construtivo 13, com uma temperatura ambiente de 23°C, no verão. A atribuição de PMVs altos para temperaturas na faixa de conforto, pode também, por outro lado, expressar uma predisposição dos moradores para temperaturas frias.
4. O tamanho e natureza da amostra influíram significativamente nos resultados. O número de observações foi pequeno. Além disso, o espectro de temperaturas analisado foi limitado a dois períodos distintos, não abrangendo toda uma faixa de temperaturas. A limitação da amostra e os problemas de interpretação dos resultados podem ser melhor verificados na Tabela 5, onde as temperaturas neutras apresentam, principalmente para o caso de verão, valores pouco realistas.

**Tabela 5: Equação de regressão e temperatura neutra para inverno e verão**

GRUPO	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	TEMPERATURA NEUTRA
Inverno	$Y = 0,1436T + 0,212$	26,38 °C
Verão	$Y = 0,0602T + 4,4118$	-6,84 °C

## 6. CONCLUSÕES

Apesar de apresentar alguma variabilidade em função de alguns fatores mencionados tais como o tamanho e natureza da amostra, o efeito da aclimação (nos estudos de Fanger, os indivíduos ficavam expostos a 3 horas em câmara climatizada, sendo o primeiro voto após meia hora desconsiderado), dentre outros, a temperatura neutra reflete a expectativa de determinada amostra quanto à temperatura ideal de conforto. Em pesquisa semelhante, KHEDARI *et al.* (2000), com jovens tailandeses submetidos a condições diversas de temperatura, umidade e movimento de ar, obtiveram temperaturas neutras da ordem de 28,01°C, a uma faixa de umidade relativa de 50-60%, com movimento de ar mínimo de 0,2 m/s.

No caso dos moradores de moradias populares sem climatização artificial, portanto sujeitos a baixas temperaturas, características do inverno e, de modo geral, do clima curitibano, a temperatura neutra encontrada de 20,76 °C parece sugerir uma maior aceitação dos moradores da Vila Tecnológica de Curitiba para desconforto térmico por frio.

O presente trabalho trata-se de um estudo exploratório, a partir do qual está sendo desenvolvida a pesquisa com os usuários da totalidade de 100 moradias existentes na Vila Tecnológica de Curitiba. Neste sentido, com relação ao observado no item 5, quanto às dificuldades de compreensão dos questionários por parte dos moradores, aos questionários originais foi acrescentada uma escala de cores correspondente aos graus de conforto/desconforto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta : ANSI/ASHRAE Standard, 1981.
- FANGER, P.O. *Thermal Comfort*. Copenhagen : Danish Technical Press, 1970.
- GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. *In: Energy and Buildings*, Vol. 18, 1992.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis : PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC, 1998.
- KHEDARI, J.; YAMTRAIPAT, N.; PRATINTONG, N.; HIRUNLABH, J. Thailand ventilation comfort chart. *In: Energy and Buildings*, Vol. 32, 2000.
- SZOKOLAY, S.V. Thermal Comfort and Passive Design. *In: Advances in Solar Energy - an Annual Review of Research and Development*, Vol. 2, 1985.
- XAVIER, A.A.P.; LAMBERTS, R. Temperatura interna de conforto e percentagem de insatisfeitos para atividade escolar: diferenças entre a teoria e a prática. *In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: ANTAC, 1997.