



## GIVONI, FANGER: UMA COMPARAÇÃO

**João Roberto Gomes de Faria**

Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo/FAAC

Núcleo de Conforto Ambiental

Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n

17033-360 - Bauru/SP - Brasil

Tel.: (0xx14) 211-6059

e-mail: joaofari@bauru.unesp.br

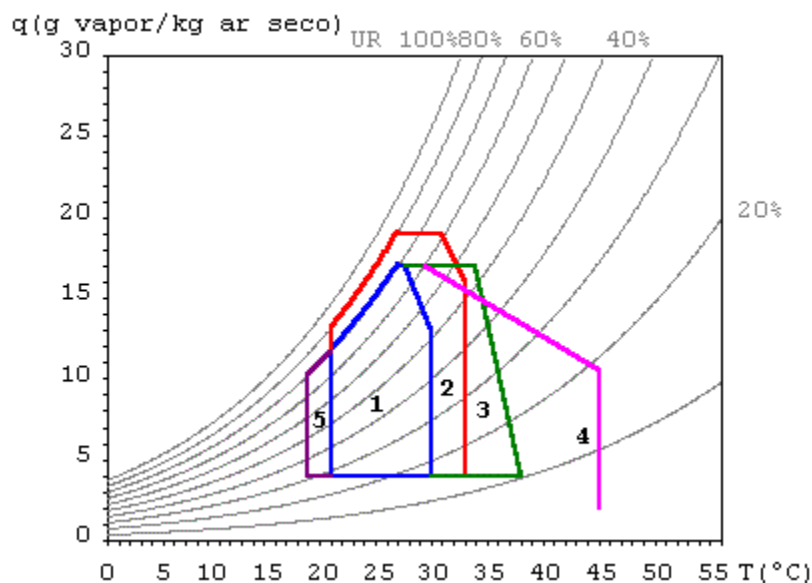
*RESUMO* A carta bioclimática de Givoni é um importante instrumento de análise climática e de indicação de alternativas de projeto para adequação higro-térmica das edificações ao clima em questão, em especial a climas tropicais. Por outro lado, as estimativas de PMV e de PPD, propostas por Fanger, freqüentemente são empregadas em simulações para verificação de resultados de estratégias de projeto ou como auxílio na especificação de detalhes de projeto, ou seja, detalhando as especificações da carta bioclimática. Assim, é feita nesse trabalho uma comparação entre as zonas de conforto térmico propostas pelos métodos, verificando a consistência de seu emprego conjunto. São discutidos também os impactos sobre as exigências dos controles térmicos das edificações decorrentes da aplicação de um ou outro método.

*ABSTRACT* Givoni bioclimatic chart is an important climate analysis instrument and buildings project climate control guideline, speciality for tropical climates. Also, PMV and PPD indexes, by Fanger, are frequently used in simulation models to verify project strategies or as project details specifications guidelines, i. e., to detail bioclimatic charts specifications. So, this paper compares the comfort thermal zones generated by these methods, to verify the consistency of use of both together. This paper discusses also the impacts on buildings thermal controls exigencies by the application of both methods.

## 1 A carta bioclimática de Givoni e as equações de Fanger

A primeira carta bioclimática surgiu na década de 1960, proposta por Olgay. Conforme Givoni, ela apresentava limitações quanto à validade das análises realizadas em climas diversos do tropical úmido, uma vez que Olgay tinha por pressuposto que as temperaturas do ar no exterior e no interior das edificações eram aproximadamente iguais (GIVONI, 1992). Pelo mesmo motivo, a Tabela de Necessidades Climáticas, também de Olgay, era restrita a edificações leves e abertas, típicas também do clima tropical úmido.

Na década de 1970, Givoni apresenta sua carta bioclimática, por ele chamada "carta bioclimática de construções" (*building bioclimatic chart - BBCC*), baseada em temperaturas interiores de prédios, a partir de experiências conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel. No artigo consultado (GIVONI, 1992), o autor apresenta uma série de informações adicionais, melhor delimitando e fundamentando zonas de estratégias a serem empregadas na construção de ambientes sem climatização artificial, de forma a propiciar conforto térmico em seu interior: ventilação diurna, massa (com ou sem ventilação noturna), resfriamento evaporativo indireto. A fig. 1 mostra a carta bioclimática de Givoni, com estratégias para projeto e limites de temperatura para aquecimento solar passivo e para sistemas naturais de resfriamento, sugerida para países quentes em desenvolvimento, um dos objetos do presente trabalho, tal qual apresentada naquele artigo.



**Fig. 1** Carta Bioclimática de Givoni, mostrando os limites de conforto térmico em interiores (1) e limites de condições ambientais externas passíveis de correção para obtenção de conforto térmico via ventilação (2), massa térmica (3), resfriamento evaporativo (4) e aquecimento solar passivo (5). Adaptado de GIVONI (1992).

Também na década de 1970, Fanger desenvolveu uma "equação de conforto térmico" para previsão da sensação térmica esperada por uma pessoa "média" em interiores, a partir da física da transferência de calor, combinada com parâmetros empíricos (INNOVA, 1997, FANGER, 1970). A partir dessa equação, Fanger derivou duas, uma para a "pontuação térmica do ambiente", o Voto Médio Esperado (*Predicted Mean Vote - PMV*) (Fig. 2a), numa escala de frio ( $PMV = -3$ ) a quente ( $PMV = +3$ ), passando pelas situações intermediárias, inclusive de conforto térmico (neutralidade térmica,  $PMV = 0$ ),

e outra equação para a previsão de pessoas insatisfeitas com o local, a Porcentagem Estimada de Pessoas Insatisfeitas (*Predicted Percentage of Dissatisfied - PPD*) (Fig. 2b). A PPD prevê que, nas situações mais otimistas ( $PMV = 0$ ), no mínimo 5% das pessoas estarão insatisfeitas com as condições térmicas do local ( $PPD = 5\%$ ), ou seja, que é impossível adequar as condições térmicas de um ambiente a todas as pessoas. A equação de conforto (e suas derivadas) leva em conta o calor metabólico ( $M$ ), a potência efetiva do trabalho mecânico ( $W$ ), as trocas térmicas secas ( $H$ ), a troca de calor pela pele por difusão de suor ( $E_c$ ) e as trocas térmicas por convecção ( $C_{res}$ ) e por evaporação ( $E_{res}$ ), via respiração. Indiretamente, portanto, é função das variáveis térmicas do ambiente – temperatura ( $T_{ar}$ ), umidade ( $q$ ) e velocidade do ar ( $v$ ), entre outras. Fanger dá especial atenção à temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ), pelos problemas decorrentes da assimetria térmica proporcionada por equipamentos de calefação por radiação em relação às vedações.

$$\text{a) } PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

$$\text{b) } PPD = 1 - 95e^{-\{0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2\}}$$

**Fig. 2** Equações de Fanger para o Voto Médio Esperado (PMV) e para a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD), no Sistema Métrico Internacional (extraídas de INNOVA, 1997).

Como o método de Fanger é totalmente equacionável, tornou-se o preferido em simulações de desempenho térmico e na apresentação de resultados de equipamentos de medição, tendo sido adotado pela norma ISO 7730 para especificação de condições para conforto térmico (INNOVA, 1997).

Tendo em vista o emprego de simulações (leia-se estimativas de PMV e PPD) como etapa de análise de projeto, principalmente na definição de detalhes construtivos (como especificação de materiais, dimensões de aberturas e fatores de sombreamento), ou seja, como um refinamento ou verificação da carta bioclimática, julgou-se oportuno fazer aqui uma discussão sobre alguns resultados comparáveis desses dois instrumentos.

## 2 Comparações: pressupostos, métodos e procedimentos

Inicialmente, cabe uma consideração básica: a Carta Bioclimática é principalmente um método de análise climática para proposição de alternativas de projeto de edificação visando tornar seu interior termicamente confortável, enquanto o método de Fanger é um método de avaliação das condições térmicas do interior de um ambiente projetado ou construído, independentemente da estratégia de climatização adotada. Como a primeira avalia o ambiente e o segundo a sensação térmica do indivíduo, apenas alguns resultados apresentados pelos métodos são passíveis de comparações. Não é possível, por exemplo, representar através das equações de Fanger os efeitos do resfriamento evaporativo e do aquecimento do edifício pela radiação solar, uma vez que eles se manifestam no ar, através de alterações da temperatura e da umidade, e não sobre as pessoas.

Neste trabalho, adotou-se como método de análise a comparação gráfica: foram calculados PPDs para uma malha de pontos determinados por pares de temperatura e

de teor de umidade do ar e contidos no interior de um diagrama psicrométrico, de forma que os resultados puderam ser confrontados com aqueles apresentados pela carta bioclimática de Givoni.

Variou-se a taxa de metabolismo de  $46 \text{ W m}^{-2}$  a  $170 \text{ W m}^{-2}$ , correspondentes, respectivamente, a repouso e atividades domésticas pesadas, destacando-se as situações intermediárias de  $70 \text{ W m}^{-2}$ , para atividades sedentárias, e de  $116 \text{ W m}^{-2}$ , para atividades domésticas leves. Dessa forma, foi possível verificar as zonas de conforto por setores de diferentes usos de uma residência.

Para a velocidade do ar, assumiu-se os valores de  $0,1 \text{ m s}^{-1}$  a  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ . Com isso, gerou-se valores de PPD comparáveis aos limites de conforto térmico da carta bioclimática em ar praticamente parado ( $0,1 \text{ m s}^{-1}$ ) e com ventilação diurna, dentro da faixa recomendada por Givoni.

Foram assumidas temperaturas radiantes médias variando de  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $+4 \text{ }^\circ\text{C}$  em relação às temperaturas do ar, simulando os efeitos de resfriamento noturno e de aquecimento diurno por radiação solar da envoltória de edifícios pesados. Esses efeitos manifestam-se no interior de maneira defasada de sua incidência no exterior, proporcionalmente à inércia do edifício. Os limites de variação relativa de  $T_{rm}$  adotados seguem as recomendações de CROISET (1970), como decorrentes da inércia de edificações pesadas, e da ISSO 7730, para assimetria térmica máxima aceitável para situações de conforto térmico.

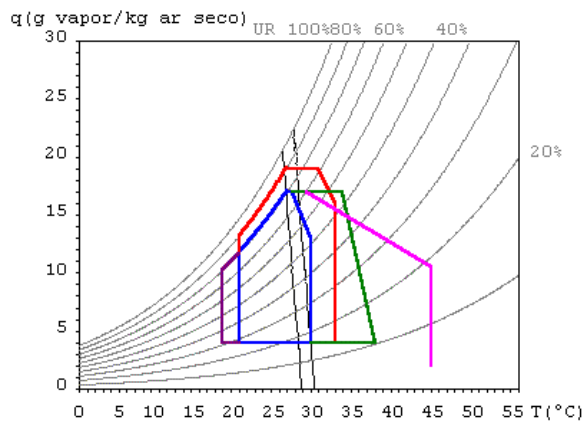
O vestuário, leve, com resistência térmica de  $0,08 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C W}^{-1}$ , foi mantido constante, assim como a potência efetiva do trabalho mecânico foi considerada nula em todos os casos.

Para a geração e a apresentação de dados elaborou-se um programa computacional, com rotinas principais para as seguintes finalidades:

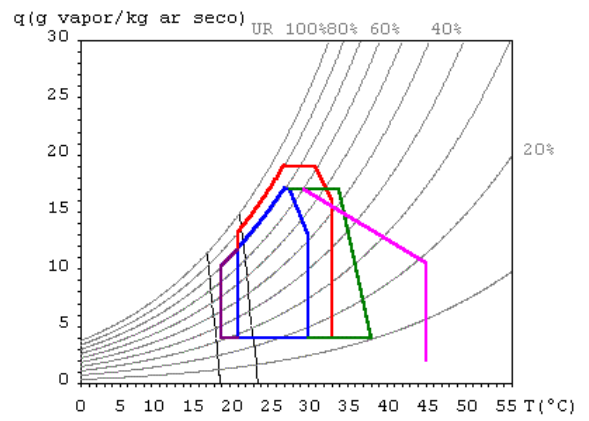
- geração de arquivos de valores de PPD em função de pares de valores de temperatura e de umidade do ar, a partir de equações extraídas de INNOVA (1997). Os PPDs foram calculados para temperaturas do ar variando de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ , em intervalos de  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , e para umidade do ar variando de  $0 \text{ g}_{\text{vapor d'água}} \text{ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$  a  $30 \text{ g}_{\text{vapor d'água}} \text{ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$ , em intervalos de  $1 \text{ g}_{\text{vapor d'água}} \text{ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$ ;
- interpolação dos dados gerados anteriormente para geração de curvas de PPD = 10%, a partir de rotinas computacionais extraídas de MILNE (1987);
- geração de carta bioclimática de Givoni, com diagrama psicrométrico construído a partir de equações termodinâmicas extraídas de MOREIRA (1995).

### 3. Resultados

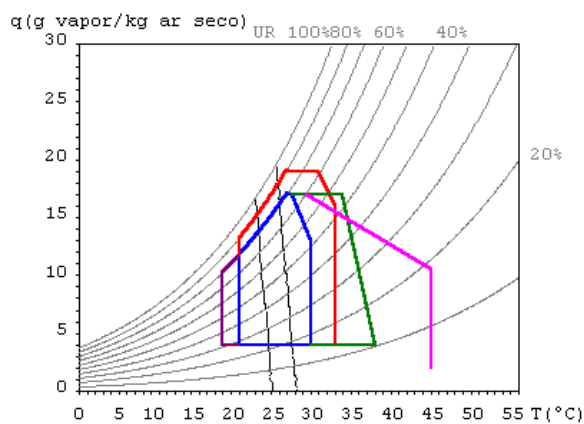
As figuras 3.a a 3.f apresentam cartas bioclimáticas de Givoni, sobre as quais foram traçadas curvas para PPD de 10% ( $0,5 < PMV < 0,5$ ), mostrando a influência da ventilação e da exposição a calor radiante no interior do edifício.



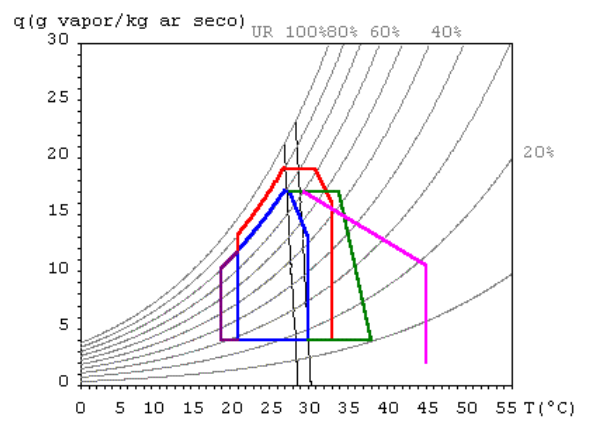
a.  $M = 46 \text{ W m}^{-2}$ ;  $v = 0,1 \text{ m s}^{-1}$ ;  $Trm = Tar$



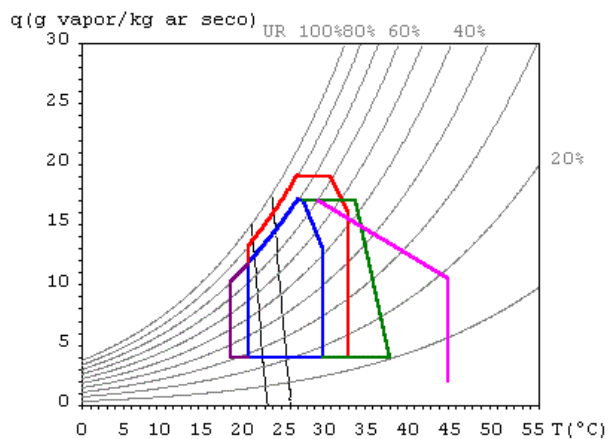
b)  $M = 116 \text{ W m}^{-2}$ ;  $v = 0,1 \text{ m s}^{-1}$ ;  $Trm = Tar$



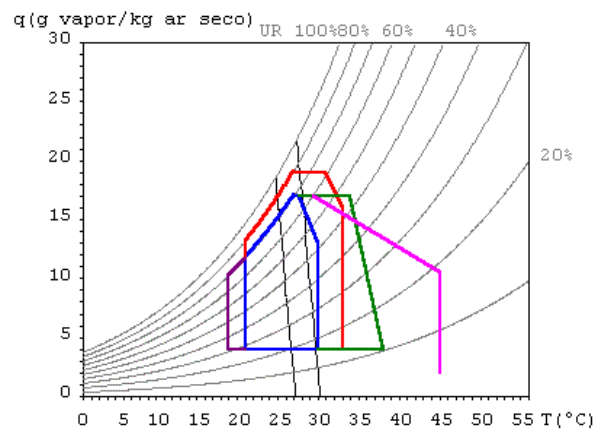
c)  $M = 70 \text{ W m}^{-2}$ ;  $v = 0,1 \text{ m s}^{-1}$ ;  $Trm = Tar$



d)  $M = 70 \text{ W m}^{-2}$ ;  $v = 2,0 \text{ m s}^{-1}$ ;  $Trm = Tar$



e)  $M = 70 \text{ W m}^{-2}$ ;  $v = 0,1 \text{ m s}^{-1}$ ;  $Trm = Tar + 4 \text{ °C}$



f)  $M = 70 \text{ W m}^{-2}$ ;  $v = 0,1 \text{ m s}^{-1}$ ;  $Trm = Tar - 4 \text{ °C}$

**Fig. 3** Alguns resultados de curvas de PPD = 10% para dados gerados a partir de diversas combinações de valores de metabolismo (M), velocidade do ar (v) e temperatura radiante média (Trm).

O primeiro resultado da comparação realizada é a pequena de sensibilidade da PPD em relação ao aumento de umidade: as curvas são levemente inclinadas; não existem limites mínimo e máximo (como o programa não limitou a umidade relativa em 100%, foram gerados dados fisicamente inconsistentes, não mostrados nas figuras). Essa

deficiência foi contornada pela norma ISO 7730, ao especificar, para tarefas sedentárias ( $70 \text{ W m}^{-2}$ ), os limites de umidade relativa do ar de 30% e 70%. Nesse aspecto, Givoni é mais permissivo, ao limitar o teor de umidade mínimo em  $4 \frac{g_{\text{vapor d'água}}}{kg_{\text{ar seco}}}$  (exposições prolongadas a umidades menores resulta em ressecamento das mucosas), o que representa, para o limite superior da temperatura do ar para a zona de conforto térmico, umidades relativas mínimas de até 16%; as umidades relativas máximas para conforto térmico também são maiores: 80% para ambientes sem ventilação e 90% para ambientes ventilados. Como curiosidade, mesmo CROISET (1970), que trabalhou principalmente com o clima da França, indicava limites mínimo e máximo de umidade relativa de aproximadamente 25% e 85%, respectivamente.

A zona de conforto térmico estabelecida por GIVONI (1992) corresponde, para PPD de 10%, a regiões de conforto para uma série de atividades domésticas, de repouso ( $46 \text{ W m}^{-2}$ ) a atividades leves ( $116 \text{ W m}^{-2}$ ), executadas com vestimenta leve e ar parado ( $0,1 \text{ m s}^{-1}$ ) (Fig. 3.a e 3.b). Os limites dessa zona também são alcançados para atividades sedentárias ( $70 \text{ W m}^{-2}$ ) executadas nas mesmas condições, porém com temperaturas radiantes médias nos limiares do desconforto ( $T_{\text{rm}} = T_{\text{ar}} \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Fig. 3.e e 3.f). Quando a atividade sedentária é realizada sob a ação de um movimento de ar de  $2 \text{ m s}^{-1}$ , temperaturas no limite superior da zona de conforto térmico ainda estão em PPDs  $< 10\%$  (Fig. 3.d). No entanto, somente em repouso ( $46 \text{ W m}^{-2}$ ) e com movimento de ar de  $2 \text{ m s}^{-1}$  obtém-se PPD  $< 10\%$  na temperatura limite superior de conforto com ventilação estabelecida por Givoni (situação não mostrada nas figuras). Verifica-se, por outro lado, que o aumento da velocidade do ar reduz o intervalo de temperaturas de conforto, ou seja, a pessoa torna-se menos tolerante a temperaturas mais baixas. Os limites de conforto térmico para atividades domésticas pesadas ( $170 \text{ W m}^{-2}$ ) estão abaixo do limite inferior proposto por Givoni, mesmo com ventilação elevada e temperatura radiante média baixa.

O que emprega-se normalmente como uma "situação doméstica média", ou seja os parâmetros com os quais foram calculados os dados para a Fig. 3.c, resulta em temperaturas para PPD  $< 10\%$  contidas num intervalo de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , correspondendo aproximadamente aos limites da zona de conforto adotada pela ASHRAE para o verão, a qual, segundo GIVONI (1992), não considera efeitos de aclimação de populações de climas tropicais. A carta bioclimática de Givoni mostra-se novamente mais tolerante, aceitando como confortáveis temperaturas de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ , chegando a  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  para ambientes com ventilação de até  $2 \text{ m s}^{-1}$ .

#### 4 Conclusões

A carta bioclimática de Givoni estudada é o resultado do amadurecimento de um trabalho ao longo de mais de duas décadas. Em sua elaboração, foram enfatizadas as estratégias de climatização natural. Como o controle de temperatura e de umidade do ar resultantes dessas estratégias é em geral menos rígido que os controles mecânicos, os povos que tradicionalmente os adotam toleram bem maiores amplitudes daquelas variáveis. Por outro lado, as equações de Fanger foram elaboradas com rigor científico e adotadas em normas internacionais, porém de países de climas não-tropicais.

As equações de Fanger produzem zonas de conforto bem mais estreitas que as recomendadas por Givoni, seja para ar parado, como em movimento, e para

temperaturas radiantes médias diversas. Esse estreitamento de faixas de temperaturas resulta na necessidade de projetos de edificações com controles ambientais sofisticados, muitas vezes impossíveis de serem realizados através de estratégias naturais simples. Assim, a aplicação do método de Fanger, principalmente na avaliação de desempenho de residências, onde as exigências de controle higrotérmico são menores, deve ser vista com cautela.

As zonas de conforto resultantes da aplicação das equações de Fanger estão invariavelmente em intervalos de temperaturas do ar menores do que as propostas por Givoni. A explicação dada por esse autor está relacionada à aclimação dos indivíduos que vivem em climas tropicais, o que os tornam mais tolerantes às temperaturas mais elevadas, fato não considerado nos parâmetros das equações.

A abordagem comparativa empregada neste trabalho mostra que é possível interpretar as diversas zonas da carta bioclimática não como áreas de valores médios, mas como zonas contendo diversas sub-áreas de temperatura e umidade do ar, cada qual mais propícia ao desenvolvimento de determinadas atividades. Isso torna-se claro quando sabe-se que os diversos cômodos de uma casa apresentam requisitos higrotérmicos distintos, em função de seus usos predominantes. Ou seja, uma casa projetada segundo as estratégias indicadas pela carta bioclimática conterà em seu interior diversos microclimas: em função da orientação, das aberturas, do grau de sombreamento, cada porção da casa será mais adequada a um grupo de atividades.

Finalmente, é salientada aqui mais uma vez a necessidade de respeitar as especificidades de cada método: a carta bioclimática deve ser empregada para a determinação de estratégias para projetos para aquecer ou resfriar o interior da edificação, em função de seu contexto climático; por outro lado, observados os cuidados quanto ao tipo de atividade, acima expostos, o método de Fanger, complementado pela norma ISO 7730, pode ser empregado para apresentar indicações para zoneamento térmico interno, limites para assimetrias térmicas radiantes (por exposição de fachadas à radiação solar ou por perdas noturnas de calor para o exterior por superfícies envidraçadas) e limites para temperaturas de pisos (o que leva à especificação de materiais adequados).

## **5 Referências Bibliográficas**

CROISET, M. (1970): *Humedad y temperatura en los edificios: condensaciones y confort termico de verano y de invierno*, Editores Técnicos Asociados, Madrid (Trad. de Rafael Luque Maldonado)

FANGER, P. O. (1970): *Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering*, McGraw-Hill, New York.

GIVONI, B. (1992): Comfort, climate analysis and building design guidelines, *Energy and Buildings*, v. 18 pp. 11-23.

INNOVA (1997): *Thermal comfort*, Innova Air Tech Instruments (disponível em <http://innova.dk/books/thermal/thermal.htm>).

MILNE, P. H. (1987): *Computer graphics for surveying*, E. & F. N. Spon, New York.

MOREIRA, J. R. S. (1995): Programa simplificado para cálculos psicrométricos, *Anais do Seminário Modelos de Simulação de Ambientes*, NUTAU/FAU/USP, São Paulo, pp. 101-116.