

# AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA BELO HORIZONTE – MG\*

## EVALUATION OF THERMAL COMFORT INDICES FOR USE IN BELO HORIZONTE – MG

WILLI DE B. GONÇALVES\*\*  
RAMÓN M. VALLE\*\*\*  
EMERSON S. GARCIA\*\*\*\*

### RESUMO

Os índices e zonas de conforto térmico são ferramentas úteis no estudo das edificações, quanto ao conforto ambiental. Entretanto, diversos índices e zonas difundidos e utilizados no Brasil são obtidos com base em realidades climáticas diferentes das nossas. O objetivo principal deste estudo é pesquisar os índices e zonas de conforto térmico mais significativos e usados, determinando seus limites de aplicabilidade e/ou adaptabilidade para uso em Belo Horizonte, considerando-se as características climáticas da região e a adaptação climática dos indivíduos. São analisados os diagramas bioclimáticos de Olgay, Givoni e Szokolay, o método Fanger de PMV/PPD e o índice de temperatura efetiva.

Palavras-chave: Conforto ambiental; Conforto térmico; Termorregulação humana.

### ABSTRACT

Thermal comfort indices and zones are useful tools in the study of buildings, as to environmental comfort. However, several known indices and zones used in Brazil are obtained with basis on climatic realities different from ours. The main objective of this study is to research the more significant and used thermal comfort indices and zones, determining their limits of applicability and/or adaptability for use in Belo Horizonte, taking into account the climatic characteristics of the region and the individuals' climatic adaptation. It analyzes the bioclimatic diagrams of Olgay, Givoni and Szokolay, the Fanger method of PMV/PPD, and the effective temperature index.

Keywords: Environmental comfort; Thermal comfort; Human thermoregulation.

\* Este artigo resume parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

\*\* Arquiteto. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia da UFMG. Professor Assistente do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas.

\*\*\* Professor adjunto UFMG-EE-DEMEC (orientador).

\*\*\*\* Professor titular UFMG-EEF (co-orientador).

Os parâmetros físicos mais importantes que influenciam as condições de conforto térmico são os fatores individuais ou pessoais (atividade exercida pelo indivíduo, ganho de calor metabólico e resistência térmica da vestimenta) e os fatores ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade relativa do ar).

Não se pode considerar separadamente o efeito de somente uma dessas variáveis físicas, pois o efeito de cada uma delas depende do efeito das outras. A combinação das variáveis pode ser expressa através de um só parâmetro, geralmente denominado índice de conforto térmico. Os gráficos que expressam esse parâmetro em função de uma ou mais variáveis térmicas do ambiente são chamados de zonas de conforto térmico.

Há dois tipos de índice de conforto térmico: os subjetivos e os biofísicos. Nos índices subjetivos, as respostas subjetivas e fisiológicas dos indivíduos são utilizadas como variáveis dependentes. Os índices biofísicos são baseados em princípios físicos de transferência de calor. Ambos os tipos variam em relação à abordagem do problema e, conseqüentemente, variam as unidades físicas usadas. Eles variam também quanto à sua aplicabilidade, pois diferem quanto à importância relativa atribuída a cada uma das variáveis, bem como à sua interdependência. Outro aspecto dessa variação que deve ser destacado é o fato de que os índices subjetivos se originam de observações feitas em laboratório ou em ambiente construído.

De uma forma geral, cada índice subjetivo envolve ferramentas de natureza estatística para análise dos dados experimentais. Trabalha-se com o julgamento de satisfação ou insatisfação de um grupo de indivíduos, o que limita a aplicabilidade do índice às condições físicas para as quais foi determinado, não sendo recomendável – embora a prática seja esta – generalizá-los para outros contextos climáticos. É precisamente nesse aspecto da aplicabilidade dos diversos índices de conforto térmico que se centra este estudo.

A quantidade de calor a ser retirada do ambiente por um aparelho de ar-condicionado é determinada por índices de conforto térmico e, como nossos apa-

relhos são geralmente especificados com base em índices de conforto térmico definidos para a população dos Estados Unidos ou Europa, é comum ouvir queixas dos usuários quanto à temperatura e umidade relativa excessivamente baixas produzidas pelos aparelhos, mesmo em edifícios equipados com sofisticados instrumentos de controle ambiental. Dessa forma, a adaptação dos índices de conforto térmico para projeto de instalações de ar-condicionado poderia permitir temperaturas mais altas nos ambientes condicionados, ou permanecerem menos horas ligados durante o período de inverno, o que levaria a taxas de trabalho menores nos compressores e, conseqüentemente, a uma economia de energia.

Neste trabalho, os índices e zonas cuja aplicabilidade é analisada são: os diagramas bioclimáticos de Olgyay (1963), Givoni (1976) e Szokolay (1995), método Fanger de PMV/PPD (Fanger, 1970; ISO, 1994), índice de temperatura efetiva corrigida (Bedford, 1946) e índice de temperatura efetiva padrão. (ASHRAE, 1997)

## TIPOS DE VARIÁVEIS MANIPULADAS

A pesquisa se propôs a responder a seguinte questão: em que condições os índices de conforto térmico encontrados na literatura técnica, e que são convencionalmente utilizados, correspondem às condições de conforto levantadas especificamente para a população estudada, levando em consideração as características climáticas da região em estudo e a adaptação climática dos indivíduos?

A técnica de pesquisa utilizada para o levantamento de votos de conforto e sensações térmicas dos indivíduos foi o uso de questionários, com uma medição simultânea das variáveis em cada ambiente estudado.

Os parâmetros utilizados no estabelecimento de um índice de conforto térmico podem ser divididos em dois grupos: os físico-ambientais e os psicofisiológicos.

### Parâmetros físico-ambientais

O grupo dos parâmetros físico-ambientais subdivide-se em outros dois: aqueles que podem ser medidos diretamente no ambiente e aqueles que são calculados a partir dessas medições. Dentre as variáveis físicas usadas na pesquisa para o cálculo dos índices de conforto térmico, foram medidas diretamente: temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), temperatura de bulbo úmido natural e psicrométrica, velocidade do ar e temperatura de globo.

Os parâmetros utilizados neste trabalho que dependem de rotinas de cálculo a partir dos parâmetros medidos diretamente são: umidade relativa, temperatura radiante média, temperatura operativa e temperatura efetiva.

Uma descrição completa dos parâmetros acima, bem como de seus métodos de medição, pode ser encontrada em Gonçalves (2000).

### Parâmetros psicofisiológicos

A variável psicofisiológica mais importante levantada na pesquisa é a sensação térmica dos indivíduos. O estudo da relação existente entre os estímulos externos recebidos e as sensações experimentadas pelos indivíduos é do domínio da psicofísica. Esse ramo do conhecimento investiga, por exemplo, a relação entre níveis de iluminância medidos e brilho aparente, nível de intensidade sonora medido e volume sonoro percebido.

Essa característica faz com que, de uma forma ou de outra, mesmo os índices racionais de conforto térmico estejam vinculados a um tipo de pesquisa empírica, o que impõe restrições ao seu uso generalizado.

Além da sensação térmica, outros parâmetros psicofisiológicos foram levantados junto dos indivíduos amostrados, como votos em escalas subjetivas de satisfação, aceitabilidade e preferência térmica, isolamento térmico da vestimenta e taxa metabólica. Esses dois últimos foram obtidos mediante conversão das respostas marcadas nos formulários, com uso de tabelas encontradas na bibliografia. (Gonçalves, 2000)

### Quantificação da sensação térmica e do conforto dos indivíduos

A impressão de desconforto térmico, quente ou frio, é devida, em parte, a sensores nervosos localizados na pele. Essa sensação está relacionada com a temperatura interna do corpo, podendo ser agradável ou desagradável, dependendo da situação. Por exemplo, a sensação de frio pode ser agradável, se o corpo estiver excessivamente aquecido, e desagradável, se o mesmo já estiver frio.

Outro fator a se considerar é que a temperatura da pele não é uniforme. Assim como há variações devidas à vaso-regulação, há variações em diferentes partes do corpo, devidas a características locais de vascularização e presença de gordura subcutânea. A vestimenta usada também tem um efeito marcante na distribuição da temperatura da pele, uma vez que atua como isolante térmico. Portanto, a sensação térmica pode variar em partes diferentes do corpo em função da exposição e da temperatura externa.

A sensação térmica dos indivíduos tem sido tradicionalmente medida usando-se uma escala de sete pontos, em pesquisas de campo (Tab. 1). Os indivíduos são solicitados a quantificar a sua sensação térmica numa escala descritiva, subjetiva. Duas escalas comumente usadas são a de Bedford (inglesa) e a da ASHRAE (americana) (ASHRAE, 1997, p. 8-16). Como a escala Bedford confunde sensação térmica com conforto térmico, a escala ASHRAE é mais recomendável. Essa escala é também adotada pela norma ISO 10551. (ISO, 1995)

O conforto térmico não é um conceito exato, nem ocorre numa temperatura exata. Um indivíduo pode se sentir confortável dentro de uma determinada faixa de temperatura e, se a temperatura é mudada de forma a cair fora daquela faixa em que ele se sentia confortável, a sensação de desconforto pode não ser ime-

Tabela 1  
Escalas de sensação térmica

| Bedford                 |   | ASHRAE/ISO          |    | Abreviatura utilizada neste trabalho |
|-------------------------|---|---------------------|----|--------------------------------------|
| Quente demais           | 7 | Muito quente        | +3 | MQ                                   |
| Muito quente            | 6 | Quente              | +2 | Q                                    |
| Confortavelmente quente | 5 | Ligeiramente quente | +1 | LQ                                   |
| Confortável             | 4 | Neutro              | 0  | C                                    |
| Confortavelmente frio   | 3 | Ligeiramente frio   | -1 | LF                                   |
| Muito frio              | 2 | Frio                | -2 | F                                    |
| Frio demais             | 1 | Muito frio          | -1 | MF                                   |

diata. Além dos aspectos físicos envolvidos, a reação do indivíduo à temperatura depende também de suas expectativas, sua personalidade e da atividade que está realizando no momento, o que dificulta o estabelecimento do conceito de “confortável”.

A definição clássica de conforto térmico é “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (Fanger, 1970), adotada em manuais de conforto térmico e normas como a ASHRAE 55-1992. (ASHRAE, 1992)

Tradicionalmente, convencionou-se tratar o desconforto térmico em termos da escala de sensações térmicas apresentada acima, sendo que se considera confortável a faixa compreendida pelas três categorias centrais, e como votos de desconforto os que caem fora dessa faixa. Porém, quando uma pessoa vota fora das três categorias centrais, pode ser que ela não esteja insatisfeita ou, por outro lado, quando ela vota +1 ou -1, pode ser que não esteja plenamente satisfeita com o ambiente.

O problema é tratado de forma controversa nas normas existentes. A norma ASHRAE 55-92 considera que os votos dados nas três categorias centrais conotam aceitação do ambiente térmico, procurando assim satisfazer 80% das pessoas presentes no ambiente. Os experimentos de campo mostram, porém, que, sejam quais forem as condições ambientais, uma determinada porcentagem dos ocupantes não estará satisfeita.

Já a norma ISO 7730, em seu anexo D, estabelece, como faixa de conforto, um intervalo mais estreito dentro das três categorias centrais, correspondendo a um voto médio predito que varia de -0,5 a +0,5. Isso levaria a um índice de aceitação de 90%, contra um índice de insatisfação de 10%. Como a escala de sensação térmica é unitária, fica a questão: quem vota +1 ou -1 deve ser considerado satisfeito ou insatisfeito?

Enfim, ao se solicitar aos sujeitos da pesquisa que votem numa escala de sensações térmicas, é necessário usar também escalas subjetivas para clarear possíveis dúvidas quanto aos votos obtidos. Parsons (1995) discute a normalização interna-

cional existente sobre conforto térmico e explica como a norma ISO 10551 (ISO, 1995) propõe o uso de escalas subjetivas de preferência térmica e de aceitabilidade.

O uso de uma escala subjetiva de preferência térmica foi introduzido por McIntyre (1978). Conforme apontam Kwok (1998) e Busch (1995), o conceito de aceitabilidade térmica é extensamente debatido na bibliografia, mas, na prática, é difícil de determinar.

Kwok (1998) compara diversos métodos de computar a aceitabilidade térmica nos ambientes. O primeiro e mais tradicional é considerar como votos de aceitabilidade aqueles dados nas três categorias centrais citadas acima. O segundo é o uso de uma pergunta direta quanto à aceitabilidade. No terceiro, votos de "não mudança" numa escala de preferência térmica são interpretados como votos de aceitabilidade térmica. Neste trabalho, o questionário utilizado lança mão de ambas as escalas de aceitabilidade e preferência para definir melhor os votos dados pelos indivíduos.

## METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste trabalho compreendeu as seguintes etapas:

### Embasamento teórico

Nesta etapa foram realizados a definição do projeto, a revisão bibliográfica, o estudo dos mecanismos fisiológicos termorreguladores, a caracterização climática da região e o estudo dos índices de conforto térmico considerados como mais significativos na literatura técnica.

### Planejamento do experimento

Esta etapa compreendeu um planejamento completo da metodologia experimental e envolveu as seguintes tarefas:

- elaboração do plano amostral;
- detalhamento da fase de coleta de dados;
- definição dos procedimentos estatísticos para a análise dos dados;
- elaboração dos questionários para levantamento dos dados;
- definição das variáveis envolvidas e especificação dos sistemas de medição a serem utilizados no processo experimental, com estimativa das fontes de erro no processo de medição.

### Definição do modelo para o tratamento estatístico dos dados

Antes da etapa experimental foi realizado um estudo dos modelos disponíveis para a análise estatística dos dados a serem obtidos. A definição do modelo influenciou na elaboração de algumas questões dos formulários de pesquisa utilizados.

O modelo estatístico utilizado é o modelo "probit" (*probability unit*). Esse modelo, apresentado por (Finney, 1964), foi utilizado em trabalhos anteriores na mesma área, realizados no Brasil (Araújo, 1997; Xavier, 1999) e no exterior (Fegerspiel, 1998; Kwok, 1998; Matthews e Nicol, 1995; Nicol, 1993; Humphreys, 1981, 1976, 1975).

#### O método probit

As variáveis envolvidas podem ser caracterizadas como *contínuas* (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar, velocidade do ar) e *categórica* (sensação térmica). As variáveis contínuas são independentes e a variável categórica é dependente.

O modelo é convencionalmente utilizado para análise de variáveis dependentes dicotômicas, ou seja, que assumem valores binários ou booleanos, do tipo sim ou não, falha ou sucesso. No caso em questão, a variável *resposta* identifica a presença ou ausência de desconforto devido ao calor ou ao frio e a variável *estímulo* corresponde a uma variável ambiental medida em campo.

O modelo tem a característica de transformar a distribuição de proporções observadas para uma determinada variável contínua  $u_i$ , numa distribuição de probabilidades  $P_i$ , cujo valor fica restrito entre 0 e 1. Essa transformação possibilita a interpretação da relação entre as variáveis. No caso em questão, o modelo se presta a responder a uma pergunta do tipo: para um determinado nível de estímulo (valor de uma variável ambiental medida), quais os percentuais de indivíduos que se sentirão desconfortáveis devido ao frio, confortáveis e desconfortáveis devido ao calor?

Traçando-se o gráfico de  $u_i$  x  $P_i$ , observa-se que a relação entre a variável contínua e a variável categórica tem a forma de uma curva sigmoideal, que pode ser representada pela função

$$P(u_i < Z_i) = F(Z_i) = \int_{-\infty}^{Z_i} f(u) du \quad (1)$$

onde

$F(Z_i)$  = função de distribuição contínua e acumulada

$f(u)du$  = função densidade de probabilidade da variável  $u_i$ , contínua e não linear

É necessário especificar como se dá a distribuição de probabilidades da variável  $u_i$ . Existem várias funções que podem ser usadas para esse objetivo, conforme mostrado na Fig. 1.

Supondo que as proporções observadas para os valores de  $u_i$  resultem numa distribuição de probabilidades normal, a função de distribuição contínua e acumulada usada para representar a distribuição é a curva normal, frequentemente utilizada em estatística:

$$F(Z_i) = \int_{-\infty}^{Z_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = \Phi(Z) \quad (2)$$

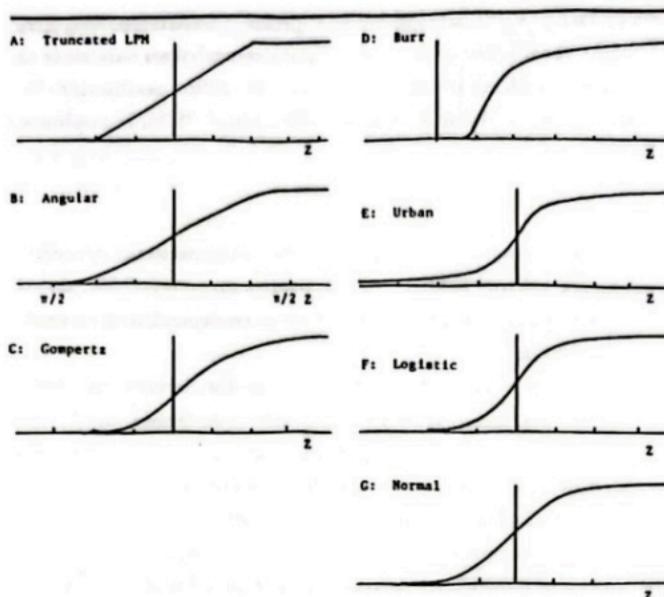


Figura 1 – Funções densidade de probabilidade. Fonte: Aldrich e Nelson, 1984.

Além da distribuição normal, a curva logística também é comumente usada para representar a distribuição de probabilidade de  $u_i$ . Essa curva é representada pela função

$$F(Z) = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} \quad (3)$$

Esses dois modelos são chamados de “probit” e “logit”, respectivamente. “Probit” é uma abreviação para o termo *probability unit*, inicialmente estudado e desenvolvido por Finney (1964). “Logit” vem de *logistic probability unit*. Ambos os modelos, bem como os demais baseados nas outras funções de densidade, são unidades de probabilidade. Alguns autores se referem ao modelo probit com o nome “normit”, de *normal probability unit*. Maiores detalhes sobre o modelo probit podem ser encontrados em (Ballantyne, 1977; Hanneman, 1996; Finney, 1964; Aldrich e Nelson, 1984; Natrella, 1963).

Neste trabalho, a seqüência adotada para utilização do modelo é a seguinte:

- 1) As frequências absolutas dos votos obtidos na escala de sensação térmica são tabeladas em duas categorias: presença de desconforto devido ao calor ( $MQ + Q + LQ$ ) e ausência de desconforto devido ao frio ( $MQ + Q + LQ + C$ ), para cada valor das variáveis contínuas obtido na pesquisa de campo.

- 2) Através da regressão probit obtém-se a curva de probabilidade estimada para as duas categorias de resposta, com um formato sigmoidal, como citado acima, de onde é possível inferir-se os limites de conforto para a variável ambiental contínua em questão.

No presente trabalho a regressão probit foi realizada utilizando-se o programa *Minitab* (pode-se obter uma versão de demonstração em [www.mini-tab.com](http://www.mini-tab.com)). A regressão pode, entretanto, ser efetuada também mediante utilização de tabelas para obtenção dos probites correspondentes às frequências observadas. Natrella (1963) fornece o procedimento passo a passo para esse método, utilizado por Araújo (1996) em seu trabalho. Araújo (1996) utilizou as tabelas de transformação probit apresentadas por Fisher e Yates (1971).

### Coleta de dados em ambiente construído

A pesquisa foi realizada dentro de salas de aula. Simultaneamente, foram medidas as variáveis físico-ambientais e as respostas dos indivíduos baseadas na sensação térmica existente no momento da medição.

### *Instrumentos de medição utilizados*

Para o levantamento dos dados foram utilizados instrumentos de medição tais como termômetro, psicrômetro, termômetro de globo e anemômetro. Para facilitar a movimentação dos instrumentos durante os ensaios, foi confeccionado um suporte de barras de alumínio, conforme mostrado na Fig. 2.

### *Questionários utilizados na pesquisa de campo*

Simultaneamente à medição das variáveis ambientais, foram aplicados questionários para levantar a resposta dos indivíduos em termos de sensações térmicas e as condições de vestimenta, sexo, idade e adaptação climática.

A elaboração dos questionários utilizados na pesquisa de campo foi realizada com base na análise de exemplos anteriores de trabalhos semelhantes (Xavier, 1999), (De Dear, 1998) (Heerwagen, 1998), (Humphreys e Nicol, 1998), (Kwok, 1998), (Malama, 1998), (Webb e Parsons, 1997), (Araújo, V., 1996), (Nicol et alii, 1995), (Newsham e Tiller, 1995), bem como de publicações sobre montagem de questionários com fins estatísticos (Narins, 1998), (Renckly, 1996). Foram utilizados dois formulários: um para o pesquisador (formulário 1) e outro para os usuários (formulário 2). Ambos os formulários são anexados a este artigo.

Nos campos 1 e 2 do formulário 1, é realizada a identificação da sala, data e horário da pesquisa, e disciplina em que foi realizado o ensaio. No campo 3 faz-se um croqui da sala, localizando-se os pontos de medição, a posição dos usuários, posição de portas, janelas e detalhes construtivos. No campo 4 são anotados os valores medidos das variáveis ambientais, nos diversos pontos de medição. Finalmente, no campo 5 são anotadas observações como posição de

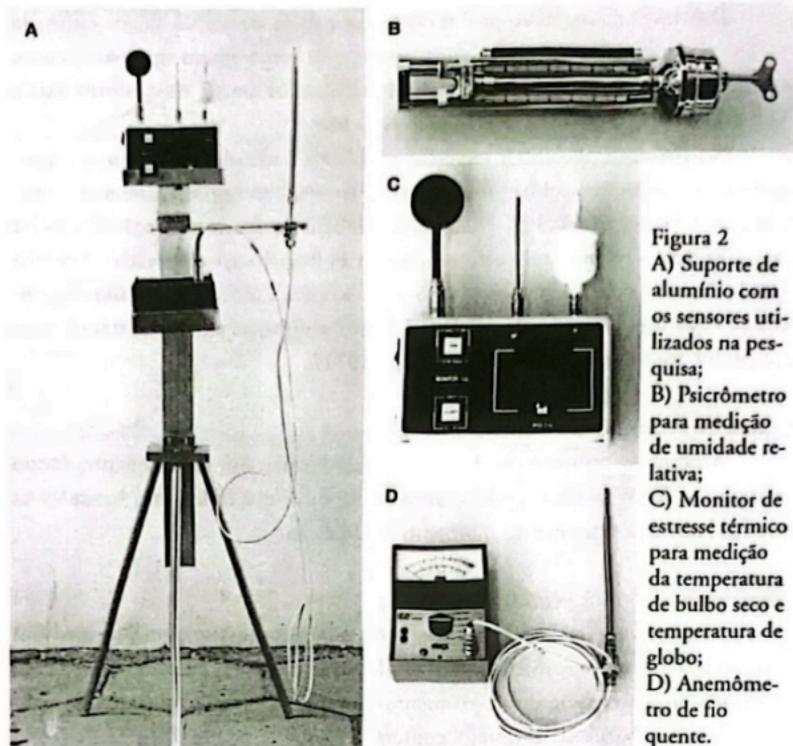


Figura 2  
 A) Suporte de alumínio com os sensores utilizados na pesquisa;  
 B) Psicrômetro para medição de umidade relativa;  
 C) Monitor de estresse térmico para medição da temperatura de bulbo seco e temperatura de globo;  
 D) Anemômetro de fio quente.

brises e janelas abertas/fechadas, condições de tempo externo e outras observações relevantes.

No formulário 2, os campos 1 e 39 destinam-se ao cálculo do tempo médio para responder o questionário. Os campos 2 e 3 objetivam a identificação do formulário, possibilitando seu reconhecimento, em caso de separação do restante. O campo 4 traz a identificação da posição do respondente dentro da sala. No campo 5 encontram-se os dados do usuário: sexo, idade, peso, altura, ciclo menstrual, estado clínico, uso de drogas que possam afetar as sensações térmicas, fatores que alteram a taxa metabólica, como a ingestão de refeição pesada (McIntyre, 1981), tempo de residência e origem. O campo 6 destina-se ao cálculo do isolamento térmico da vestimenta, com base no somatório do isolamento das peças do vestuário. O campo 7 trata da sensação térmica, numa escala de 7 pontos, conforme discutido no item "Quantificação da sensação térmica e do conforto dos indivíduos". Os campos 8, 9, 10 e 11 tratam da satisfação, aceitabilidade e preferência. Os campos 12, 13, 14 e 15 buscam levantar a resposta do usuário quanto às variáveis velocidade do ar e umidade relativa do ar, integrando-as em questões sobre a qualidade do ar. Os campos 16 e 17 buscam identificar em que medida os mecanismos ter-

mo-reguladores são utilizados para a adaptação térmica. Os campos de 18 a 38 buscam levantar em que medida diversas atitudes e mecanismos adaptativos são utilizados com o objetivo de alcançar o conforto térmico. As perguntas relativas a estes últimos campos relacionam-se não somente com as condições ambientais encontradas no momento da medição, mas principalmente com o comportamento histórico apresentado pelos usuários ao utilizarem o ambiente em questão.

#### *Procedimentos adotados para a pesquisa de campo*

Os ensaios de campo foram realizados no período de março a outubro de 1999. Os procedimentos adotados nos ensaios de campo foram os seguintes:

- 1) O ensaio era sempre realizado após um período de permanência dos usuários dentro do ambiente de, no mínimo, 1 hora.
- 2) O horário de realização dos ensaios variou em função da disponibilidade dos professores envolvidos em ceder 30 min de suas aulas para a realização dos mesmos.
- 3) Para facilitar a movimentação dos instrumentos durante os ensaios, foi confeccionado um suporte de barras de alumínio. O suporte possui ajustes reguláveis, de forma a permitir o posicionamento dos sensores a 1,1m de altura, posição em que foram realizadas as medições. Entre as alturas citadas na norma ISO 7730 (ISO, 1994), esta é, segundo Kwok (1998), a mais apropriada em relação às sensações do respondente.
- 4) Ao iniciar-se o ensaio, explicava-se aos usuários os objetivos da pesquisa e os procedimentos que seriam realizados durante o ensaio de campo.
- 5) Em seguida, fazia-se a primeira coleta de dados no ponto central da sala, obtendo-se os valores da temperatura de bulbo seco e da temperatura de globo, através de um monitor de estresse térmico, instrumento que conta com um termômetro de globo, um termômetro de bulbo seco e um termômetro de bulbo úmido natural. A temperatura de bulbo úmido psicrométrica era obtida através de um psicrômetro.
- 6) Para a medição da velocidade do ar, identificava-se a direção principal do fluxo, através da observação da posição das entradas e saídas de ar, e procedia-se à medição com um anemômetro de fio quente. Conforme recomendação das normas ASHRAE 55-1992 e ISO 7726, a velocidade do ar foi medida durante um período mínimo de 3min. Foram adotados intervalos de medição de 15 em 15s, resultando num conjunto de 12 valores para cada ponto de medição. Posteriormente foi calculada a velocidade média em cada ponto.
- 7) Após a primeira medição no ponto central da sala, os questionários eram distribuídos aos usuários e procedia-se a um esclarecimento geral sobre os campos a serem respondidos, enfatizando-se questões como o estado clínico, a necessidade de marcar todas as peças de roupa, e as perguntas

que diziam respeito às sensações experimentadas naquele momento e as que diziam respeito ao uso da sala, em geral.

- 8) Nesse momento era desenhado no quadro um croqui da sala e conveniava-se como o respondente deveria indicar no questionário a sua posição no interior da mesma. Cada respondente era identificado por uma letra e dois números, representando, respectivamente, a fileira em que estava assentado e a sua posição na fileira.
- 9) Enquanto os usuários respondiam os questionários, procedia-se à medição nos demais pontos, que, conforme as recomendações da norma ASHRAE 55-1992, eram escolhidos de forma a produzir uma amostra representativa da área ocupada dentro do ambiente. De uma forma geral buscavam-se posições centralizadas em relação às paredes, respeitando-se um raio mínimo de 60cm, livre de quaisquer obstáculos, em torno dos sensores. Buscava-se observar também as posições em que poderiam ocorrer valores extremos dos parâmetros ambientais, como próximo a janelas, paredes expostas à radiação solar, ventiladores ou outras particularidades observadas.
- 10) Após a medição das variáveis ambientais, procedia-se à medição do comprimento, largura e pé-direito da sala, com o auxílio de uma trena, sendo o croqui da sala desenhado no questionário, com os elementos citados acima.
- 11) Os dados de umidade relativa e temperatura radiante média eram calculados posteriormente, a partir dos dados levantados em campo.

A Fig. 3 ilustra os procedimentos adotados na pesquisa de campo.

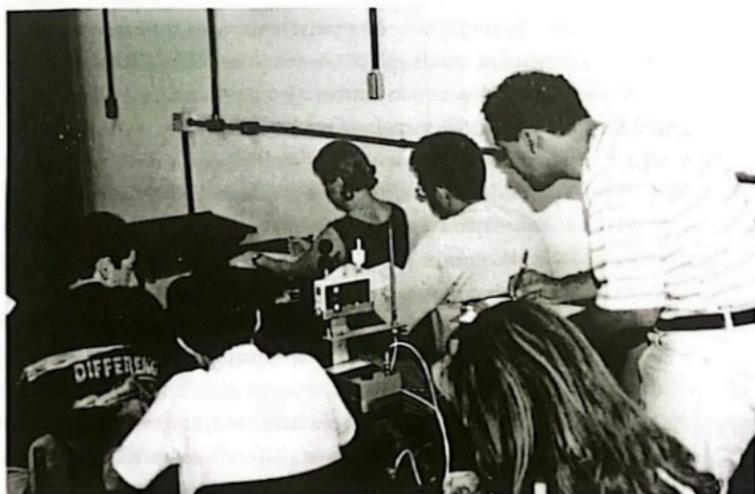


Figura 3 – Leitura dos instrumentos no suporte

## Amostragem e procedimentos estatísticos

### Plano amostral

A escolha da população universitária como amostra para o presente trabalho deu-se por apresentar principalmente as seguintes características:

- Familiarização com o instrumento questionário, pressupondo discernimento nas respostas e consciência sobre a importância da pesquisa;
- Similaridade de idade e de hábitos de vestimenta;
- Grupamento de indivíduos compatível com a operacionalidade necessária para a pesquisa.

Para a elaboração do plano amostral, foram obtidos os dados estatísticos dos cursos superiores em Belo Horizonte, no ano de 1997, através do INEP – Instituto Nacional de Pesquisas e Estudos Educacionais – Diretoria de Informações e Estatísticas Educacionais. Contou-se também com uma rápida orientação preliminar da prof.<sup>a</sup> Emília Sakurai, do Departamento de Estatística da UFMG.

Os dados obtidos do INEP mostram que, em 1997, havia em Belo Horizonte 19 instituições de ensino superior, com um total de 57.382 alunos matriculados. Porém observa-se que, desse montante, 32.640 alunos (56,8% do total) pertenciam a duas instituições: a Universidade Federal de Minas Gerais e a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Dessa forma, definiu-se que a amostra seria composta por indivíduos dessas duas instituições, acrescentando-se os alunos das Faculdades Metodistas Integradas Izabela Hendrix, por conveniência, uma vez que o autor principal leciona também nessa instituição.

Para a determinação do tamanho da amostra, procedeu-se da seguinte maneira: foram pesquisados inicialmente 313 indivíduos, em 12 ensaios de campo, sendo quatro realizados na UFMG, cinco na PUC Minas e três na FAMIH.

Adotaram-se como parâmetro de interesse os votos na escala de sensação térmica, sendo identificados numa escala contínua de 1 a 7, em que 1 corresponde ao voto “muito frio” e 7 corresponde ao voto “muito quente”. Foi calculado o desvio-padrão das respostas, obtendo-se o valor de 0,90. Foi calculada a distribuição de freqüências das respostas, observando-se a maior proporção de 45,5% dos votos na categoria “confortável”.

Partindo desses dois parâmetros e considerando uma população de 32.640 indivíduos, foi estimado o tamanho da amostra final, com base em diversas fórmulas encontradas na bibliografia, descritas pormenorizadamente por Gonçalves (2000).

A amostra final deste trabalho foi de 570 indivíduos, tendo sido realizados no total vinte ensaios de campo: três na FAMIH (alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo), dez na PUC Minas (alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil) e sete na UFMG (alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Mecânica).

A média obtida na escala de sensação térmica foi de 4,24, com desvio-padrão 0,97.

A análise estatística do plano amostral (Gonçalves, 2000) demonstra que com uma amostra desse tamanho, considerando um nível de confiança de 95%, para reduzir o risco de tipo II a 20%, é necessário assumir uma tolerância em torno da média de  $\pm 0,12$  unidades na escala de sensação térmica. Ou seja, seria assumido um risco de 20% de aceitar uma média igual a 4,12 ou 4,36 quando a média verdadeira for 4,24.

#### *Procedimentos estatísticos*

Os procedimentos estatísticos utilizados na geração dos resultados obedeceram à seguinte seqüência:

- 1) análise descritiva dos dados, obtendo-se as medidas de tendência central e de dispersão da amostra;
- 2) obtenção das distribuições de freqüências absolutas e relativas;
- 3) análise dos cruzamentos das variáveis ambientais com as variáveis psicofisiológicas;
- 4) análise de correlação entre as variáveis para determinar quais as que poderiam constituir um modelo estatístico para obter a variável grau de satisfação;
- 5) obtenção do modelo por meio de uma análise de regressão múltipla das variáveis;
- 6) definição dos limites de conforto para a população estudada, utilizando o modelo probit.

## RESULTADOS

Após a coleta de dados foram realizadas análises descritivas, testes paramétricos de associação, independência e influência, análise de regressão e análise probabilística através do modelo probit. O tratamento estatístico dos dados levantados em campo possibilitou a obtenção dos limites de conforto térmico para a população em estudo, resumidos na Tab. 2. Para melhor visualização, os limites mostrados na Tab. 2 foram desenhados numa carta psicrométrica, mostrada na Fig. 4.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir, os limites de conforto obtidos para a população estudada são comparados com os diversos índices e zonas pesquisados.

Tabela 2  
Limites de conforto para a população estudada

| Variável físico-ambiental  | Valor ótimo | Limites de conforto |
|----------------------------|-------------|---------------------|
| Temperatura operativa      | 23,1°C      | 21,1 – 24,9 °C      |
| Temperatura de bulbo seco  | 22,7°C      | 20,8 – 24,7 °C      |
| Temperatura de bulbo úmido | 16,7°C      | 14,8 – 19,4 °C      |
| Temperatura de globo       | 21,3°C      | 21,3 – 25,1 °C      |
| Umidade relativa           | 67%         | 64 – 93%            |
| Umidade absoluta           | 12,0g/kg    | 9,5 – 15,5g/kg      |
| Velocidade do ar           | 1,0 m/s     | 0,4 – 1,7 m/s       |

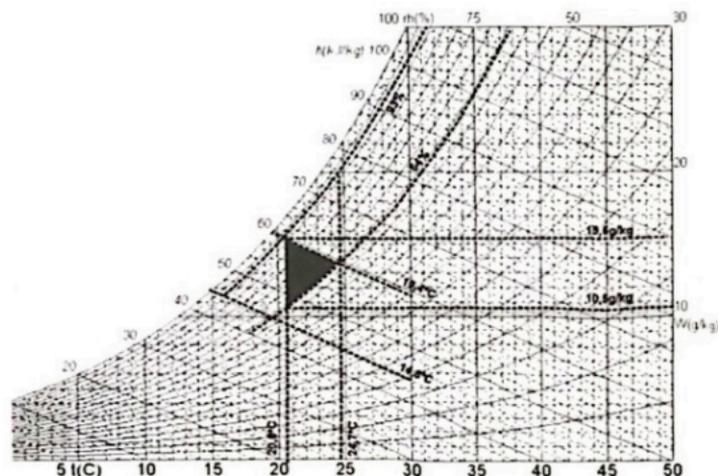


Figura 4 – Limites de conforto para a população em estudo desenhados em carta psicrométrica

### Diagrama bioclimático de Givoni

Definido originalmente para Israel, e posteriormente adaptado para países em desenvolvimento, o diagrama bioclimático de Givoni (1976, 1992) é construído sobre uma carta psicrométrica. As condições de conforto são estabelecidas a partir do índice de fadiga térmica, definido pelo autor.

Observa-se, na Fig. 5, que quase toda a área da zona de conforto obtida neste trabalho fica dentro da zona proposta por Givoni com uma pequena parcela inserida na zona de influência da ventilação. Pode-se afirmar que, a princípio, esse instrumento de avaliação é aplicável para a população estudada, respeitando-se os limites da zona de conforto obtida neste trabalho. Porém, é necessária a pesquisa sobre a configuração das zonas de estratégias bioclimáticas em torno da zona de conforto, principalmente no que diz respeito às estratégias que envolvem trocas por evaporação.

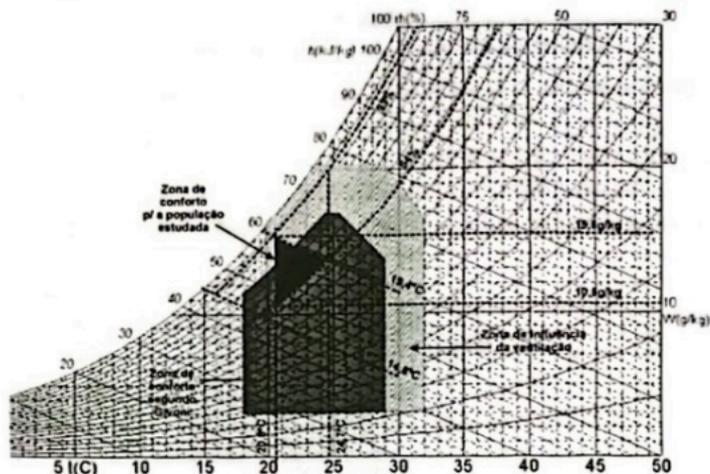


Figura 5 – Comparação dos limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto do diagrama bioclimático de Givoni

### Diagrama bioclimático de Olgay

A Fig. 6 mostra a zona de conforto proposta por Olgay (1963) estabelecida em função da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, tendo à sua volta zonas de estratégias bioclimáticas.

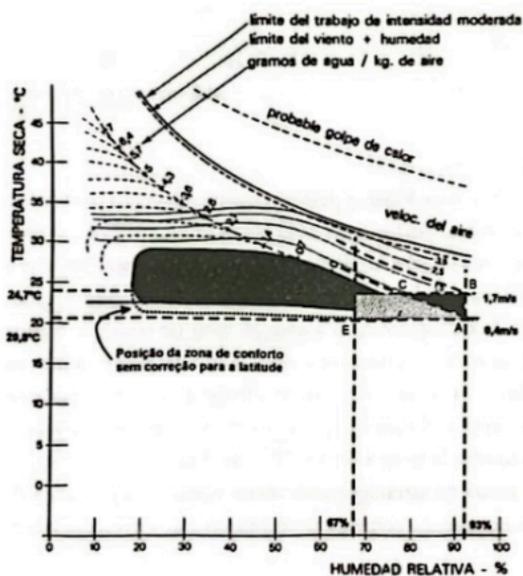


Figura 6 – Comparação dos limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto do diagrama bioclimático de Olgay, p/ latitude 20°S. Adaptado de Izard, 1980.

Verifica-se, na Fig. 6, que a zona ABC, em preto, formada pela interseção dos limites de conforto obtidos neste trabalho, encontra-se fora da zona de conforto proposta por Olgay, inserindo-se na zona de influência da ventilação. Considerando-se somente os limites obtidos para a temperatura de bulbo seco e para a umidade relativa, o retângulo ABDE intercepta uma pequena porção da zona de conforto original. Constatou-se que, se não for feita a correção para a latitude, o polígono de conforto ABDE intercepta uma área ligeiramente maior da zona de conforto original. Os limites obtidos para a temperatura de bulbo seco ficam quase totalmente dentro da zona de conforto, nesse caso. O mesmo, porém, não acontece para a umidade relativa e a velocidade do ar. Segundo Olgay (1963), o limite superior da zona de conforto é função da velocidade do ar. Para abranger os limites obtidos pela população estudada, seria necessário ajustar o limite superior da zona de conforto, considerando-se o valor de 1.7m/s, que, na prática, é um valor bastante alto. Resultados apresentados por Gonçalves (2000) indicam que os usuários preferem velocidades mais baixas quanto ao movimento do ar; porém, associam velocidades mais altas a níveis maiores de frescor do ar. Considerou-se que o diagrama é aplicável para a região em estudo, observando-se suas restrições, descritas por Gonçalves (2000).

#### Método Fanger de PMV/PPD

Dentre os modelos biofísicos, que combinam as variáveis físicas e fisiológicas envolvidas com o conforto térmico, o mais conhecido é o Voto Médio Estimado/Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PMV – *Predict Mean Vote*, PPD – *Percentage of People Dissatisfied*) desenvolvido por Fanger (1970). Esse modelo é a base da norma ISO 7730 (ISO, 1994). O método é derivado da solução da equação de balanço térmico entre o corpo e o ambiente (estado permanente), combinada com um método empírico de pesquisa sobre a sensação térmica das pessoas.

Da análise dos dados, foram obtidas duas curvas, mostradas na Fig. 7. A curva 1, obtida por ajuste não linear dos votos na escala subjetiva de satisfação com o ambiente, e a curva 2, obtida por meio de manipulação das porcentagens de insatisfeitos calculadas por regressão probit e utilização dos coeficientes de ajuste não linear de Fanger. A curva 3 representa o modelo original proposto por Fanger.

Além dos três modelos (modelo original e os dois modelos obtidos neste trabalho) para estimativa da porcentagem de pessoas insatisfeitas, a Fig. 7 mostra o cruzamento da porcentagem de pessoas insatisfeitas observada com a sensação térmica observada. A partir desse cruzamento são indicados os coeficientes de determinação para cada modelo apresentado, isto é, quão bem cada modelo se aproxima dos dados obtidos nas medições em campo.

Na Fig. 7, a área de cada círculo é proporcional ao número de ocorrências de uma determinada combinação de sensação térmica observada e porcentagem de insatisfeitos observada, contabilizando  $n = 544$  observações. Os círculos superpostos

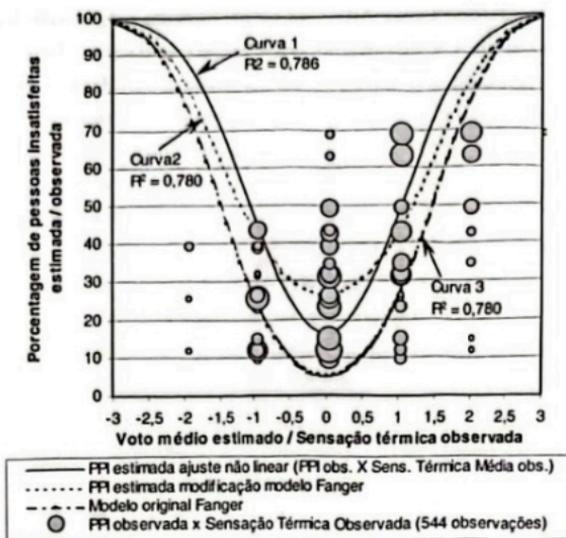


Figura 7 – Voto médio estimado contra porcentagem de pessoas insatisfeitas estimada/Sensação térmica observada contra porcentagem de pessoas insatisfeitas observada/comparação dos modelos de estimativa da porcentagem de pessoas insatisfeitas

indicam valores percentuais próximos. O coeficiente de determinação obtido para o modelo original de Fanger (curva 3), ao comparar-se as porcentagens estimadas e observadas, é  $R^2 = 0,780$ , o mesmo da curva 2. Considerou-se que o modelo proposto por Fanger é aplicável para a população estudada. As curvas 1 e 2, obtidas experimentalmente, podem ser usadas em conjunto para prever um intervalo de variação na estimativa do percentual de insatisfeitos em um ambiente.

#### Nomograma de temperatura efetiva corrigida

O índice de temperatura efetiva original é empírico e foi definido por (Houghten e Yaglou, 1923). Ele foi apresentado de forma que o seu valor pode ser determinado para qualquer combinação de temperaturas de bulbo seco e úmido e velocidade do ar. Posteriormente, foi corrigido para considerar os efeitos das trocas por radiação (Bedford, 1946), passando a chamar-se *índice de temperatura efetiva corrigida*.

Verifica-se, na Fig. 8, que a zona de conforto obtida para a população em estudo fica adjacente à zona de conforto original. Considerou-se que o nomograma é aplicável, deslocando-se a zona de conforto, de forma a coincidir com a zona de conforto obtida para a população estudada.

#### Índice de temperatura efetiva padrão

O índice de temperatura efetiva corrigida foi usado pela ASHRAE até que Gagge (1972) definiu a nova temperatura efetiva ( $TE^*$ ) com uma abordagem mais racional e matemática. Para o cálculo da temperatura efetiva foram conside-

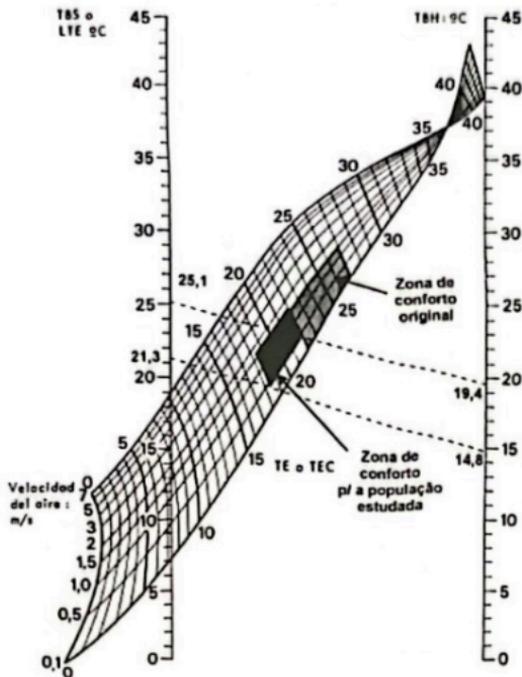


Figura 8 – Comparação dos limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto do nomograma de temperatura efetiva corrigida. Adaptado de Koenigsberger *et al.* (1977).

rados os seguintes parâmetros: isolamento da vestimenta = 0,7clo, taxa metabólica = 1,2 met. Os outros dados de entrada são os limites da Tab. 2.

Os limites de temperatura efetiva obtidos para a população estudada variam de 21,1°C a 24,9°C. Convém enfatizar que esse índice difere do anterior em sua metodologia de obtenção e que, portanto, esses limites de temperatura efetiva não se aplicam àquele índice.

Verifica-se, na Fig. 9, que os limites obtidos de temperatura efetiva caem dentro da zona de conforto, porém os limites de umidade relativa, não. Pode-se afirmar que a aplicabilidade do instrumento para a população em estudo, em sua forma original, é reduzida, ficando restrita a valores de temperatura efetiva. Entretanto, o instrumento se torna aplicável, caso se considere a zona de conforto representada pelo polígono ABCDE.

### Diagrama bioclimático de Szokolay

Em 1987, Szokolay (1995) desenvolveu o método CPZ (*Control Potential Zone*) para análise do clima e recomendações de projeto.

A Fig. 10 compara os limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto proposta por Szokolay. Verifica-se, nessa figura, que a maior parte da zona de conforto obtida cai fora da zona de conforto original. En-

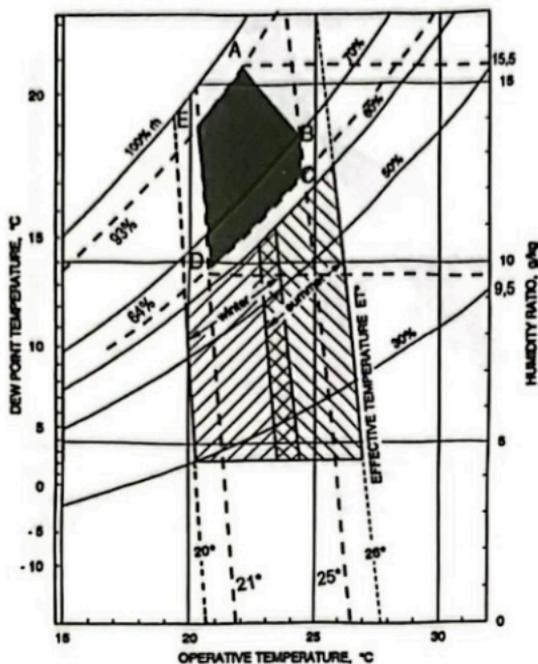


Figura 9 – Comparação dos limites de conforto obtidos para a população em estudo com a zona de conforto da norma ASHRAE 55-1992. Adaptado de (ASHRAE, 1997).

tretanto, desconsiderando-se os limites obtidos para a umidade relativa, a zona compreendida pelos limites obtidos de temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido coincide cerca de 50% com a zona de conforto original (área hachurada). Porém, mesmo desconsiderando-se os limites obtidos de umidade relativa, grande parte da zona original fica fora dos limites da zona de conforto obtida para a população em estudo.

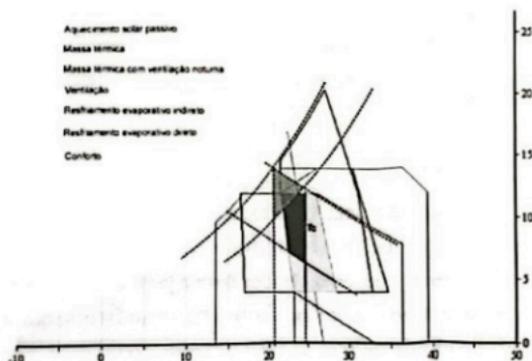


Figura 10 – Comparação dos limites de conforto obtidos para a população em estudo com a zona de conforto de Szokolay

A Fig. 11 mostra a zona de conforto desenhada a partir de uma adaptação da metodologia proposta pelo autor. Para a determinação da temperatura de conforto, a equação proposta por Szokolay foi substituída pela seguinte equação proposta por Humphreys (1981):

$$T_c = 11.9 + 0,534 T_{\text{ext}} \quad (4)$$

onde  $T_c$  é a temperatura de conforto e  $T_{\text{ext}}$  é a temperatura externa média anual. Essa equação resulta, para Belo Horizonte, numa temperatura de conforto de 23,1 °C, que é a temperatura operativa de conforto para a população estudada.

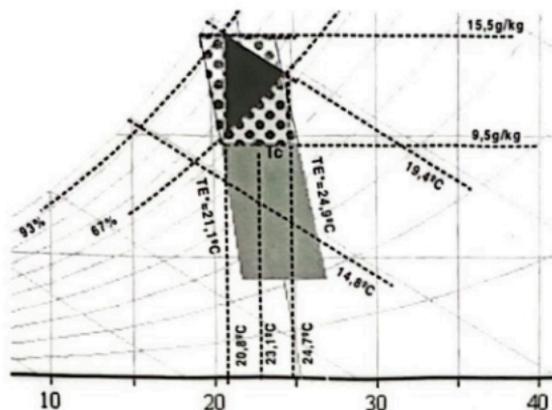


Figura 11 – Comparação dos limites de conforto obtidos para a população estudada com a zona de conforto de Szokolay adaptada

Na Fig. 11, constata-se que, se os limites de umidade absoluta do método original forem deslocados para atender aos limites obtidos para a população em estudo, a zona de conforto obtida com o método (área hachurada) passa a enquadrar perfeitamente a zona de conforto para a população em estudo (área preta). Concluiu-se que esse diagrama, em sua metodologia original, tem uma aplicabilidade reduzida para a população estudada. Essa aplicabilidade pode ser incrementada, mediante as modificações propostas na metodologia de obtenção da zona de conforto. Assim como para o método de Givoni, a pesquisa futura deve tentar esclarecer a configuração das Zonas de Controle Potencial, em torno da zona de conforto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados buscou estabelecer em que condições os índices estudados são aplicáveis para a população estudada. O diagrama de Olgay é aplicável com restrições, mediante ajuste no limite superior da zona de conforto. O dia-

grama bioclimático de Givoni é aplicável, sofrendo uma redução na zona de conforto. O método de Fanger é aplicável, devendo suas equações serem ajustadas para refletir a realidade da população em estudo. O índice de temperatura efetiva corrigida é aplicável, mediante o deslocamento da zona de conforto. A zona de conforto da ASHRAE (temperatura efetiva padrão) tem aplicabilidade reduzida, podendo ser incrementada através do deslocamento da zona de conforto. O diagrama bioclimático de Szokolay tem aplicabilidade reduzida, apresentando, porém, um resultado muito bom, ao se introduzir modificações em sua metodologia, de forma a adequá-lo à população em estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRICH, J. H., NELSON, F. D. *Linear probability, logit, and probit models*. Beverly Hills: SAGE Publications, 1984, 94p.

ARAÚJO, E. H. S. Aplicação do modelo probit para análise da relação entre variáveis ambientais e o grau de satisfação de usuários de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4. Anais... Salvador: FAUFBA/LACAM; ANTAC, 1997. p. 283-288.

ARAÚJO, V. M. D. *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. São Paulo: FAUUSP, 1996 (Tese, Doutorado).

ARAÚJO, V. M. D., ARAÚJO, E. H. S. Estudo da aplicabilidade de índices e zonas de conforto térmico na avaliação de desempenho térmico de edificações em Natal – RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4. Anais... Salvador: FAUFBA/LACAM; ANTAC, 1997. p. 262-268.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 1997. 1997 ASHRAE handbook – fundamentals. Atlanta: ASHRAE.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, 1992. Thermal environmental conditions for human occupancy – ASHRAE Standard 55-1992. Atlanta: ASHRAE.

BALLANTYNE, E. R., HILL, R. K., SPENCER, J. W. Probit analysis of thermal sensation assessments. *Intern. Jour. of Biometeorology*, v. 21, n. 1, 1977. p. 29 - 43.

BEDFORD, T. Environmental warmth and its measurement. *Medical Research Council, War Memo n. 17*. Londres: Stationery Office, 1946.

BUSCH, J. A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. In: NICOL, J. F. *et al.* Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21<sup>st</sup> century. Londres: Chapman and Hall, 1995. p. 114-121.

De DEAR, R. J. Macquarie University's ASHRAE RP-884 Adaptive Model Project. 1998. Página da internet: [http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/ashrae\\_rp884\\_appendc.html](http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/ashrae_rp884_appendc.html).

FANGER, P. O. *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FEDERSPIEL, C. C. Statistical analysis of unsolicited thermal sensation complaints in commercial buildings. *ASHRAE Transactions*, v. 104, pt. 1, 1998.

- FINNEY, D. J. *Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve*. Cambridge: Cambridge University Press, 1964.
- GAGGE, A. P. Standard effective temperature – A single temperature index of temperature sensation and thermal discomfort. In: *Thermal comfort and moderate heat stress*, CIB W45, Building Research Station, HMSO, 1972. p. 229-250.
- GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. Londres: Elsevier, 1976.
- GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, 1992. p. 11-23.
- GONÇALVES, W. B. Estudo de índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte: UFMG – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, 2000. (Dissertação, Mestrado).
- HEERWAGEN, J. An occupant satisfaction profile survey. In: Heerwagen, D. *Observing air flow in buildings*. Washington: University of Washington, Department of Architecture, apêndice 1, 1998.
- HOUGHTEN, F. C., YAGLOU, C. P. Determination of the Comfort Zone. *ASHVE Research Report*, n. 673. *ASHVE Transactions*, v. 29, 1923. p. 361.
- HUMPHREYS, M. A. The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor temperatures. In: CENA, CLARKE (Eds.). *Bioengineering, physiology and comfort*. Amsterdam: Elsevier, 1981.
- HUMPHREYS, M. A., Nicol, J. F. Understanding the adaptative approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, v. 104, pt 1, 1998.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Standard 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra: International Standardization Organization, 1994.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Standard 10551, Ergonomics of thermal environment - assesment of influence of thermal environment using subjective judgement scales. Genebra: International Standardization Organization, 1995.
- IZARD, J. L., GUYOT, A. *Arquitetura bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.
- KOENIGSBERGER, O. *et al. Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales*. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977.
- KWOK, A. G. Thermal comfort in tropical classrooms. *ASHRAE Transactions*, v. 104, pt 1, 1998.
- MALAMA, A. *et al. An investigation of the thermal comfort adaptative model in a tropical upland climate*. *ASHRAE transactions*, v. 104, pt 1, 1998.
- McINTYRE, D. A. Design requirements for a comfortable environment. In: CENA, K., CLARK, J. A. (Eds.). *Bioengineering thermal physiology and comfort*. Nova Iorque: Elsevier, 1981, cap. 13.
- \_\_\_\_\_. Seven point scales of warmth. *Building Services Engineer*, n. 45 (Mar.), 1978. p. 215-226.
- MATTHEWS, J., NICOL, J. F. Thermal comfort of factory workers in northern India. In: NICOL, J. F. *et al. Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21<sup>st</sup> century*. Londres: Chapman and Hall, 1995. p. 227-233.

NARINS, P. Write more effective survey questions. Página da internet: [www.spss.com/newsltrs/kw/kw57/surssmp57.htm](http://www.spss.com/newsltrs/kw/kw57/surssmp57.htm), 1998.

NATRELLA, M. G. Experimental statistics. Washington, U. S. Dept. of Commerce, National Bureau of Standards, 1963.

NEWSHAM, G. R., TILLER, D. K. A field study of thermal comfort using questionnaire software. National Research Council of Canada – Institute for Research in Construction. IRC Internal Report, n. 708, 1995.

NICOL, J. F., *et al.* Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21<sup>st</sup> century. Londres: Chapman and Hall, 1995.

OLGYAY, V. Design with climate. New Jersey: Princeton University, 1963.

RENCKLY, R. T. (Ed.). Air university sampling and surveying handbook – guidelines for planning, organizing and conducting surveys. Alabama: Air University, Maxwell Air Force Base, 1996.

SZOKOLAY, S. V. Thermal design of buildings. Camberra, Australia: Raia Education Division, 1995.

XAVIER, A. A. P. Condições de conforto térmico para estudantes de 2<sup>o</sup> grau na região de Florianópolis. Florianópolis: UFSC – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, 1999. (Dissertação, Mestrado)

WEBB, L. H., Parsons, K. C. Thermal comfort requirements for people with physical disabilities. Página da internet: [www.lut.ac.uk/departments/hu/groups/hteg/epsrc97](http://www.lut.ac.uk/departments/hu/groups/hteg/epsrc97), 1997.

**Endereço para correspondência:**

Willi de B. Gonçalves  
Av. Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico  
30535-610 – Belo Horizonte – MG  
e-mail: [willi@pucminas.br](mailto:willi@pucminas.br)

Ramon M. Valle  
e-mail: [ramon@vesper.demec.ufmg.br](mailto:ramon@vesper.demec.ufmg.br)

Emerson S. Garcia  
e-mail: [emerson@mestrado.eef.ufmg.br](mailto:emerson@mestrado.eef.ufmg.br)

# ANEXO

## FORMULÁRIO 1 (PESQUISADOR)

1. Nome da escola: \_\_\_\_\_

2. Identificação da sala pesquisada: \_\_\_\_\_

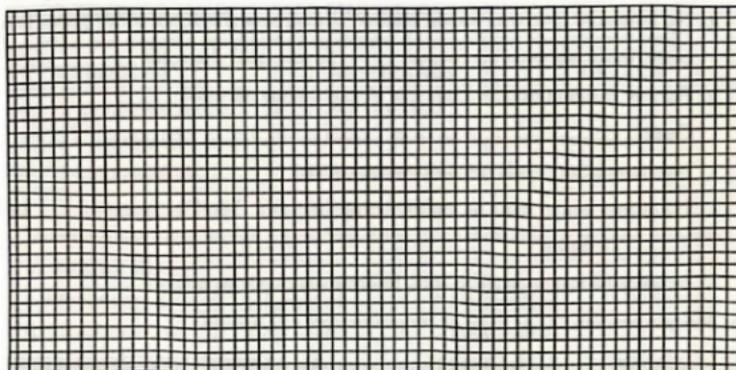
Setor: \_\_\_\_\_ Bloco: \_\_\_\_\_ Pavimento: \_\_\_\_\_ Sala: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_

Disciplina: \_\_\_\_\_

Professor: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_ Horário: \_\_\_\_\_ Nº alunos pesquisados: \_\_\_\_\_

3. Croqui da sala



6. Variáveis ambientais medidas

| Ponto | TBS | TBU | UR | TG | WBGT | v1 | v2 | v3 | v4 | v5 | v6 | v7 | v8 | v9 | v10 | v11 | v12 |
|-------|-----|-----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 1     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 2     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 3     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 4     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 5     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 6     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
| 7     |     |     |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |

7. Observações (posição de brises e janelas, condições de tempo externo e outras observações relevantes)

## FORMULÁRIO 2 (USUÁRIO)

1. Anote o horário em que você está iniciando o preenchimento do formulário: \_\_\_\_\_
2. Nome da escola: \_\_\_\_\_
3. Identificação da sala pesquisada: \_\_\_\_\_
4. Sua localização na sala: \_\_\_\_\_
5. Seus dados:
  - a. Sexo M ( ) F ( )
  - b. Idade: \_\_\_\_\_
  - c. Peso: \_\_\_\_\_
  - d. Altura: \_\_\_\_\_
  - e. Ciclo menstrual: o início da última menstruação foi há \_\_\_\_\_ dias
  - f. É portador de doença cardiovascular ou diabetes? \_\_\_\_\_ Qual? \_\_\_\_\_
  - g. No momento apresenta estado clínico normal, sem alterações como gripe, febre, enjôo, outro mal-estar ou doença? \_\_\_\_\_ Se não, qual alteração? \_\_\_\_\_
  - h. Faz uso de algum tipo de droga que afeta o sistema nervoso? \_\_\_\_\_  
Qual? \_\_\_\_\_
  - i. Ingeriu refeição pesada nas últimas duas horas? \_\_\_\_\_
  - j. Há quanto tempo mora na região metropolitana de Belo Horizonte? \_\_\_\_\_ anos  
\_\_\_\_\_ e meses
  - l. Se reside há menos de cinco anos, informe sua cidade de origem: \_\_\_\_\_
6. Marque com um "X" as peças de roupa que você está usando:
 

|                  |                                      |                                     |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| ( ) Sapatos      | ( ) Calça fina                       | ( ) Camisa de manga comprida grossa |
| ( ) Tênis        | ( ) Calça média (jeans)              | ( ) Camisa de manga curta fina      |
| ( ) Sandálias    | ( ) Calça grossa                     | ( ) Camisa de manga curta grossa    |
| ( ) Meia fina    | ( ) Saia fina                        | ( ) Camiseta sem manga              |
| ( ) Meia grossa  | ( ) Saia grossa                      | ( ) Blusa de manga comprida fina    |
| ( ) Meia calça   | ( ) Vestido de manga comprida fino   | ( ) Blusa de manga comprida grossa  |
| ( ) Calcinha     | ( ) Vestido de manga comprida grosso | ( ) Suéter                          |
| ( ) Cueca        | ( ) Vestido de manga curta fino      | ( ) Colete                          |
| ( ) Cuecão longo | ( ) Vestido de manga curta grosso    | ( ) Jaqueta ou paletó fino          |
| ( ) Sutiã        | ( ) Camisa de baixo                  | ( ) Jaqueta ou paletó grosso        |
| ( ) Bermuda      | ( ) Camiseta de malha de manga curta | ( ) Boné ou chapéu                  |
| ( ) Calção       | ( ) Camisa de manga comprida fina    |                                     |

Nas questões de 7 a 16 marque somente uma alternativa.

7. Qual a sua **sensação térmica** em relação ao ambiente da sala neste momento?
  - ( ) Muito Quente      ( ) Quente      ( ) Ligeiramente Quente
  - ( ) Confortável      ( ) Ligeiramente frio      ( ) Frio
  - ( ) Muito Frio
8. Como você **preferiria** que o ambiente da sala estivesse neste momento?
  - ( ) Mais quente      ( ) Do mesmo jeito, sem mudanças      ( ) Mais frio
9. Você está **satisfeito** com o ambiente térmico neste momento?
  - ( ) Sim      ( ) Não
10. Você acha que esse seria um ambiente térmico **aceitável** para estar todos os dias?
  - ( ) Sim      ( ) Não
11. Num ambiente térmico como este:
  - ( ) Consigo desenvolver minha atividade de estudo normalmente
  - ( ) Minha atividade de estudo fica prejudicada
12. Qual a sua **sensação** em relação ao **movimento do ar** no lugar em que você está?
  - ( ) Muito parado      ( ) Um pouco parado      ( ) Boa circulação
  - ( ) Um pouco rápido      ( ) Muito rápido
13. Qual a sua **sensação** em relação à **umidade do ar** no lugar em que você está?
  - ( ) Muito seco      ( ) Um pouco seco      ( ) Adequada
  - ( ) Um pouco úmido      ( ) Muito úmido
14. Qual a sua **sensação** em relação ao **frescor do ar** no lugar em que você está?
  - ( ) Muito abafado      ( ) Um pouco abafado      ( ) Neutro
  - ( ) Um pouco fresco      ( ) Muito fresco
15. Indique sua **satisfação** com a qualidade do ar neste momento, marcando uma das alternativas abaixo:
  - a. Movimento do ar      ( ) Agradável      ( ) Desagradável
  - b. Umidade do ar      ( ) Agradável      ( ) Desagradável
  - c. Frescor do ar      ( ) Agradável      ( ) Desagradável
16. Qual a **condição** de umidade da sua pele e roupa neste momento?
  - ( ) Seca      ( ) Um pouco suada      ( ) Muito suada
17. Marque abaixo se alguma das sensações listadas ocorreu na última hora:
  - ( ) Impaciência devida ao desconforto térmico
  - ( ) Dificuldade de prestar atenção devida ao desconforto térmico
  - ( ) Sonolência devida ao desconforto térmico
  - ( ) Sede
  - ( ) Secura das mucosas da boca, nariz ou garganta
  - ( ) Ruborização da pele
  - ( ) Tiritar dos dentes
  - ( ) Calafrios e/ou contrações musculares
18. Ao assistir a aulas nesta sala, com que **freqüência** você tenta (ou pede para que alguém o faça) **abrir** ou **fechar** portas ou janelas a fim de **aumentar** ou **diminuir** a ventilação?
  - ( ) Nunca      ( ) Raramente      ( ) De vez em quando
  - ( ) Frequentemente      ( ) Sempre

19. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para tentar abrir ou fechar portas ou janelas, a fim de aumentar ou diminuir a ventilação, quando assiste a aulas nesta sala, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?
- ( ) Nenhum ( ) Pouco ( ) Suficiente ( ) Muito ( ) Total
20. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você tenta (ou pede para que alguém o faça) controlar a incidência do sol, através de portas, janelas, cortinas, pára-sóis ou venezianas?
- ( ) Curso noturno ( ) Nunca ( ) Raramente  
( ) De vez em quando ( ) Frequentemente ( ) Sempre
21. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para controlar a incidência do sol, através de portas, janelas, cortinas, pára-sóis ou venezianas, quando assiste a aulas nesta sala, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?
- ( ) Curso noturno ( ) Nenhum ( ) Pouco  
( ) Suficiente ( ) Muito ( ) Total
22. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você tenta (ou pede para que alguém o faça) aumentar seu conforto térmico ligando ou desligando ventiladores?
- ( ) Não há ventiladores ( ) Nunca ( ) Raramente  
( ) De vez em quando ( ) Frequentemente ( ) Sempre
23. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para tentar aumentar seu conforto térmico ligando ou desligando ventiladores, quando assiste a aulas nesta sala, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?
- ( ) Não há ventiladores ( ) Nenhum ( ) Pouco  
( ) Suficiente ( ) Muito ( ) Total
24. Se não há ventiladores, você acha que eles são necessários nesta sala?
- ( ) Sim ( ) Não
25. Você acha que esta sala necessita de aparelhos de ar-condicionado?
- ( ) Sim ( ) Não
26. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você sai da sala devido a um desconforto térmico?
- ( ) Nunca ( ) Raramente ( ) De vez em quando  
( ) Frequentemente ( ) Sempre
27. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para sair da sala, quando assiste a aulas aqui, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?
- ( ) Nenhum ( ) Pouco ( ) Suficiente ( ) Muito ( ) Total
28. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você muda de lugar devido a um desconforto térmico?
- ( ) Nunca ( ) Raramente ( ) De vez em quando  
( ) Frequentemente ( ) Sempre

29. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para mudar de lugar na sala, quando assiste a aulas aqui, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?  
 Nenhum     Pouco     Suficiente     Muito     Total
30. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você tenta (ou pede para que alguém o faça) mudar a disposição das cadeiras devido a um desconforto térmico?  
 Nunca     Raramente     De vez em quando  
 Frequentemente     Sempre
31. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para tentar mudar o *layout* da sala, quando assiste a aulas aqui, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?  
 Nenhum     Pouco     Suficiente     Muito     Total
32. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você coloca ou tira peças de roupa devido a um desconforto térmico?  
 Nunca     Raramente     De vez em quando  
 Frequentemente     Sempre
33. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para tirar ou colocar peças de roupa, quando assiste a aulas aqui, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?  
 Nenhum     Pouco     Suficiente     Muito     Total
34. Durante as aulas nesta sala, com que frequência você bebe água ou outros líquidos refrigerantes?  
 Nunca     Raramente     De vez em quando  
 Frequentemente     Sempre
35. Considerando o grau de restrição ou liberdade que você tem para beber água ou outros líquidos refrigerantes, durante as aulas assistidas aqui, como você descreveria seu grau de controle ou possibilidade de tomar essa atitude?  
 Nenhum     Pouco     Suficiente     Muito     Total
36. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você tenta ignorar o desconforto térmico, quando ele ocorre?  
 Nunca     Raramente     De vez em quando  
 Frequentemente     Sempre
37. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você se enrolhe ou se esfrega devido a um desconforto térmico?  
 Nunca     Raramente     De vez em quando  
 Frequentemente     Sempre
38. Ao assistir a aulas nesta sala, com que frequência você se abana devido a um desconforto térmico?  
 Nunca     Raramente     De vez em quando  
 Frequentemente     Sempre
39. Anote o horário em que você está terminando o preenchimento do formulário:
-