

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS -UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Sistematização da avaliação de conforto térmico
em ambientes edificados e sua aplicação num software**

Álvaro Cesar Ruas

**Campinas - SP
2002**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS -UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Sistematização da avaliação de conforto térmico
em ambientes edificados e sua aplicação num software**

Álvaro Cesar Ruas

Orientador : Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento

**Campinas - SP
2002**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS -UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Sistematização da avaliação de conforto térmico
em ambientes edificados e sua aplicação num software**

Álvaro Cesar Ruas

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

**Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientador/UNICAMP**

Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
UNICAMP

Profa. Dra. Irenilza de Alencar Nããs
UNICAMP

Prof. Dr. Edevar Luvizotto Júnior
UNICAMP

Profa. Dra. Arline Sydnéia Abel Arcuri
FUNDACENTRO

Campinas, 29 de outubro de 2002.

Dedico esse trabalho aos meus pais, Laís e Fernando, e à minha tia Cybelle pelo sacrifício para a minha educação e também à minha esposa Silvia e filhos Lucas e Mateus que são o maior incentivo para o meu aprimoramento.

Agradecimentos:

A DEUS, SENHOR da minha vida e amigo de todas as horas.

À FUNDACENTRO, que permitiu e apoiou esse trabalho.

À professora Lucila Chebel Labaki, pela boa orientação e ajuda nos momentos necessários.

Ao engenheiro Paulo Alves Maia, pelo cotidiano debate técnico que colaborou para o aprimoramento desse texto.

Ao colega Marco Antonio Bussacos, pela ajuda nos testes estatísticos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
RESUMO	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 Interação térmica do homem e o meio ambiente	9
3.1.1 Termorregulação humana	9
3.1.2 Balanço térmico do corpo humano	11
3.1.2.1 Perdas de calor sensível da pele	13
3.1.2.2 Perdas de calor latente da pele	16
3.1.2.3 Perda total de calor através da pele	17
3.1.2.4 Perdas de calor pela respiração	17
3.2 Avaliação do conforto térmico	20
3.2.1 Evolução do conhecimento	20
3.2.2 Influência do movimento do ar no conforto térmico	58
3.2.3 Situação no Brasil	67
3.3 Conforto térmico e produtividade	74
4 METODOLOGIA	81
4.1 Sistematização	81
4.2 Desenvolvimento do software Conforto 2.02	84
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
5.1 Sistematização	91
5.1.1 Modelo matemático principal	91

5.1.1.1	Equação dos Votos Médios Estimados (VME)	92
5.1.1.2	Equação da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI)	93
5.1.1.3	Equação da Porcentagem de Insatisfeitos devido ao <i>Draught</i> (PD)	93
5.1.2	Modelo matemático secundário	94
5.1.2.1	Cálculo do fator de área da vestimenta (f_{cl})	94
5.1.2.2	Cálculo do isolamento térmico básico da vestimenta (I_{cl})	95
5.1.2.3	Cálculo do coeficiente de troca térmica por convecção (h_c)	95
5.1.2.4	Cálculo da pressão de vapor d'água no ar (p_a)	96
5.1.2.5	Cálculo da temperatura superficial da vestimenta (t_{cl})	96
5.1.3	Modelo matemático auxiliar	98
5.1.3.1	Cálculo da temperatura radiante média (t_{rm})	99
5.1.3.2	Cálculo da umidade relativa do ar (ϕ)	101
5.1.3.2.1	Cálculo da pressão atmosférica (P)	102
5.1.3.2.2	Cálculo da pressão de vapor saturado (p_{vs})	102
5.1.3.2.3	Cálculo da pressão parcial de vapor d'água (p_a)	103
5.1.3.2.4	Cálculo da umidade absoluta (W_a)	103
5.1.3.2.5	Cálculo da umidade absoluta de saturação na t_{bu} (w_s^{tbu})	104
5.1.3.2.6	Cálculo da pressão de vapor saturado na t_{bu} (p_{vs}^{tbu})	104
5.1.4	Obtenção das variáveis de conforto	106
5.1.4.1	Variáveis pessoais	106
5.1.4.1.1	Taxa de metabolismo	106
5.1.4.1.2	Isolamento térmico das vestimentas	121
5.1.4.2	Variáveis ambientais	133
5.1.4.2.1	Considerações sobre métodos	133
a)	Escolha dos pontos de medição	133
b)	Posicionamento dos instrumentos em relação ao solo	134
5.1.4.2.2	Considerações sobre instrumentos	135
a)	Temperatura do ar	135
b)	Temperatura radiante média	135
c)	Umidade relativa do ar	136
d)	Velocidade relativa do ar	137
5.2	Software Conforto 2.02	138
5.2.1	Interface do programa	140
5.2.1.1	Tela “Avaliação de conforto térmico”	140
5.2.1.2	Tela “Cálculo da Temperatura Radiante Média”	144
5.2.1.3	Tela “Cálculo da Umidade Relativa”	146
5.2.1.4	Tela “Escolha do Metabolismo”	148
5.2.1.5	Tela “Metabolismo-Criação / Edição de banco de dados”	150
5.2.1.6	Tela “Isolamento Térmico da Roupa”	152
5.2.1.7	Tela “Verificação do desconforto devido ao Draught”	154
5.2.1.8	Tela “Simulação”	157
5.2.1.9	Conteúdo do menu Ajuda	159

5.2.2 Comparação dos resultados do Conforto 2.02 com a ISO 7730 (1994)	160
5.3 Discussão geral	166
6 CONCLUSÕES	170
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
ANEXOS	179
Anexo A - CD de instalação do software Conforto 2.02	180
ABSTRACT	181

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 Parte da tabela dos Votos Médios Estimados de Fanger</i>	35
<i>Tabela 3.2 Taxas de metabolismo</i>	46
<i>Tabela 3.3 Isolamento térmico para peças de roupa.</i>	46
<i>Tabela 3.3 Isolamento térmico para peças de roupa (continuação).</i>	47
<i>Tabela 3.4 Orientação para a escolha do fator de expectativa “e” para correção do VME em climas quentes.</i>	57
<i>Tabela 3.5 Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária recomendados pela NBR 6401 (1980) e ISO 7730 (1994).</i>	74
<i>Tabela 5.1 Metabolismo para diferentes atividades</i>	113
<i>Tabela 5.1 Metabolismo para diferentes atividades (continuação)</i>	114
<i>Tabela 5.1 Metabolismo para diferentes atividades (continuação)</i>	115
<i>Tabela 5.2 Metabolismo basal para pessoa padrão</i>	115
<i>Tabela 5.3 Taxa de metabolismo devido a postura corporal, valores excluem metabolismo basal</i>	115
<i>Tabela 5.4 Taxa de metabolismo devido a diferentes tipos de trabalho, valores excluem metabolismo basal.</i>	116
<i>Tabela 5.5 Taxa de metabolismo relacionada ao movimento do corpo, valores excluem metabolismo basal mas incluem metabolismo devido a postura em pé.</i>	116
<i>Tabela 5.5 Taxa de metabolismo relacionada ao movimento do corpo, valores excluem metabolismo basal mas incluem metabolismo devido a postura em pé. (continuação)</i>	117
<i>Tabela 5.6 Exemplo da estimativa da taxa de metabolismo de uma tarefa decompondo-a nos movimentos e esforços necessários a sua execução.</i>	117
<i>Tabela 5.7 Taxa de metabolismo, por função, de trabalhadores brasileiros do setor Automobilístico.</i>	119
<i>Tabela 5.8 Taxa de metabolismo, por função, de trabalhadores brasileiros do setor Metalúrgico e carregadores de caminhão.</i>	119
<i>Tabela 5.9 Taxa de metabolismo, por atividade, de trabalhadores brasileiros do setor Florestal e de Construção Civil.</i>	120
<i>Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário</i>	129
<i>Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário (continuação)</i>	130
<i>Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário (continuação)</i>	131
<i>Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário (continuação)</i>	132
<i>Tabela 5.11 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 58 W/m²</i>	161

<i>Tabela 5.12 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 116 W/m²</i>	162
<i>Tabela 5.13 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 174 W/m²</i>	163
<i>Tabela 5.14 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 232 W/m²</i>	164
<i>Tabela 5.15 Informações de interesse estatístico sobre as amostras Conforto 2.02 e ISO 7730(1994)</i>	165
<i>Tabela 5.16 Resumo dos dados sobre a aplicação do teste F' Snedecor.</i>	165
<i>Tabela 5.17 Resumo dos dados sobre a aplicação do teste t' Student.</i>	165

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{cl}	Área da vestimenta, $\{m^2\}$
A_{Du}	Área superficial do corpo (DuBois), $\{m^2\}$
C	Calor trocado por convecção, $\{W/m^2\}$
c_a	Calor específico do ar, $\{kJ/(kg.K)\}$
CET	Temperatura efetiva corrigida, $\{^{\circ}C\}$
C_{res}	Taxa de perda de calor convectivo na respiração, $\{W/m^2\}$
E_{dif}	Taxa de calor perdido por evaporação da água de difusão, $\{W/m^2\}$
E_{res}	Taxa de perda de calor evaporativo na respiração, $\{W/m^2\}$
E_{rsw}	Taxa de calor perdido por evaporação da transpiração, $\{W/m^2\}$
E_{sk}	Perda total de calor por evaporação, $\{W/m^2\}$
E_{sw}	Calor perdido pela evaporação do suor, $\{kcal/h\}$ (1 kcal/h = 1,16 W)
ET	Temperatura efetiva, $\{^{\circ}C\}$
ET*	Nova temperatura efetiva, $\{^{\circ}C\}$
f_{cl}	Fator de área da vestimenta
H	Calor produzido pelo metabolismo, $\{kcal/h\}$ (1 kcal/h = 1,16 W)
h	Coefficiente combinado de troca de calor por convecção e radiação, $\{W/(m^2.K)\}$
h_c	Coefficiente de troca de calor por convecção, $\{W/(m^2.K)\}$
h_e	Coefficiente de troca de calor por evaporação, $\{W/(m^2.kPa)\}$
h_{fg}	Calor latente de vaporização da água, $\{kJ/kg\}$
h_r	Coefficiente de troca de calor por radiação, $\{W/(m^2.K)\}$
I_a	Resistência da camada superficial de ar, $\{(m^2.^{\circ}C)/W\}$
I_{cl}	Isolamento térmico básico da vestimenta, $\{(m^2.^{\circ}C)/W\}$
I_{cle}	Isolamento térmico efetivo, $\{(m^2.^{\circ}C)/W\}$;
I_t	Isolamento térmico total da vestimenta, $\{(m^2.^{\circ}C)/W\}$
i_{cl}	Eficiência de permeabilidade ao vapor d'água só da camada de vestimenta
i_m	Índice de permeabilidade ao vapor d'água;
K_{res}	Constante de proporcionalidade (vazão mássica pulmonar) = 2,58 kg.m ² /MJ;
L	Relação de Lewis, $L = 16,5 \text{ }^{\circ}C/kPa$
l	Altura do corpo, $\{m\}$
M	Taxa de metabolismo, $\{W/m^2\}$
m	Massa do corpo, $\{kg\}$
m_{res}	Vazão mássica de ar pulmonar, $\{kg/s\}$
P	Pressão barométrica, $\{kPa\}$
p_a	Pressão parcial de vapor d'água no ar, $\{kPa\}$

p_{vs}	Pressão do vapor saturado no ar, {kPa}
p_{vs}^{tbu}	Pressão do vapor saturado na t_{bu} , {kPa}
PMV	Predicted Mean Vote (Voto Médio Estimado = VME).
PPD	Porcentagem Estimada de Insatisfeitos, {%
PD	Porcentagem de insatisfeitos devido ao <i>draught</i> , {%
$p_{sk,s}$	Pressão de vapor d' água na pele, {kPa}
Q_{res}	Taxa total de calor perdido pela respiração, {W/m ² }
Q_{sk}	Taxa total de calor perdido pela pele, {W/m ² }
R	Calor trocado por radiação, {W/m ² }
$R_{e,a}$	Resistência da camada de ar superficial à troca por evaporação, {(m ² .kPa)/W}
$R_{e,cl}$	Resistência da vestimenta à troca por evaporação, {(m ² .kPa)/W}
RQ	Quociente respiratório, razão entre o volume de CO ₂ produzido e o volume de O ₂ consumido
R_t	Resistência total à evaporação da pele até o ambiente, isto é incluindo a resistência da camada superficial de ar, {(m ² .kPa)/W}
S	Taxa de calor armazenada no corpo, (W/m ²)
SET	Temperatura efetiva padrão, {°C}
T_a	Temperatura de bulbo seco, {K}
T_{bu}	Temperatura de bulbo úmido, {K}
T_i	Temperatura interna média das edificações, {°C}
T_m	Temperatura externa média mensal, {°C}
T_n	Temperatura de neutralidade térmica, {°C}
T_{nop}	Temperatura operante de neutralidade térmica, {°C}
T_u	Intensidade de turbulência, {%
t_a, t_{bs}	Temperatura do ar = temperatura de bulbo seco, {°C}
t_{bu}	Temperatura de bulbo úmido, {°C}
t_{cl}	Temperatura superficial média da vestimenta, {°C}
t_{ex}	Temperatura do ar expirado, {°C}
t_{mrt}	Temperatura radiante média, {°C}
t_o	Temperatura operante, {°C}
t_s	Temperatura superficial média da pele, {°C}
UR, ϕ	Umidade relativa, {%
v_a	Velocidade do ar, {m/s}
v_{ar}	Velocidade relativa do ar, {m/s}
VME	Voto Médio Estimado
V_{O_2}	Oxigênio consumido em CNTP, {l _{O₂} /h}
Z	Altitude, {m}
W	Taxa de trabalho mecânico realizado, {W/m ² }
w	Fração de pele úmida
W_a	Umidade absoluta do ar ambiente, {kg vapor d'água/kg ar seco}
W_s^{tbu}	Umidade absoluta de saturação na t_{bu} , {kg vapor d'água/kg ar seco}
W_{ex}	Conteúdo de umidade do ar expirado, {kg vapor d'água/kg ar seco}
η	Rendimento do trabalho mecânico externo;

RESUMO

Ruas, Álvaro Cesar. Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 183 p. Tese de Doutorado.

A construção de edificações com características adequadas ao clima e ao tipo de ocupação é de fundamental importância para a obtenção de ambientes que atendam as expectativas humanas quanto ao conforto térmico e para racionalizar o uso de energia com sistemas de ventilação, refrigeração e aquecimento.

É fato que, em muitos casos, as edificações são projetadas principalmente em função de tendências estéticas ou exigências técnicas de produção, sem a preocupação em adequar o ambiente às características e limitações do Homem. Esse é um problema especialmente relevante nos ambientes de trabalho em que condições operacionais expõem trabalhadores a diferentes graus de desconforto térmico, o que certamente afeta a sua eficiência e pode nos casos extremos, hipertermia ou hipotermia, provocar danos fisiológicos.

A avaliação do conforto térmico é uma ferramenta importante a ser usada em conjunto com programas simuladores de desempenho térmico para melhor adequar o projeto dos prédios ao clima e aos trabalhos executados, bem como para, na fase pós-ocupação, identificar e equacionar problemas oriundos do projeto, da construção ou da manutenção da edificação e também alguns relativos à organização do trabalho.

O desconforto térmico é comum nos ambientes laborais brasileiros. A maioria das queixas refere-se ao calor, mas há também reclamações devido ao frio, que tem origem, principalmente, nos locais que manipulam e/ou estocam produtos resfriados ou congelados, como supermercados e frigoríficos.

Essa realidade pode ser em parte explicada pela escassez de literatura e insipiência da pesquisa sobre esse tema no Brasil, bem como por não termos método normalizado para avaliar a sensação térmica das pessoas e nem legislação que estabeleça condições de conforto ou limites de desconforto térmicos.

A situação atual é que os profissionais de projeto de edificações e de sistemas de ventilação e ar condicionado, bem como aqueles responsáveis pela segurança e higiene do trabalho não dispõem de conhecimento atualizado nem de ferramentas práticas para avaliação do conforto térmico dos ambientes edificados. Assim, adotando-se o método de avaliação de conforto térmico da ISO 7730 (1994), realizou-se a sistematização do conhecimento atualmente existente, abordando-se os modelos matemáticos inerentes ao método e os procedimentos para obtenção das variáveis de conforto. Baseando-se nessa sistematização foi desenvolvido o software Conforto 2.02 que avalia a sensação térmica das pessoas de acordo com o método da ISO 7730 (1994) e os preceitos da ISO 7726 (1998), ISO 8996 (1990) e ISO 9920 (1995).

Esse software, para a plataforma Windows, torna possível a simulação de intervenções nos ambientes, seja na fase de projeto ou de pós-ocupação, de forma a colaborar no processo de tomada de decisão para melhoria da sensação térmica, principalmente nos locais de trabalho. Uma outra aplicação é como ferramenta para estimativa “instantânea” da sensação térmica em pesquisas sobre conforto térmico. Isso contribuirá para a criação de ambientes que harmonizem as aspirações humanas, o clima e as atividades desenvolvidas.

Palavras chaves: conforto térmico, ISO 7730, Ergonomia.

1 INTRODUÇÃO

O interesse do homem em criar ambientes que satisfaçam as suas necessidades e expectativas tem feito com que muitos estudos sobre o conforto térmico tenham sido realizados no mundo desde a primeira década do último século. O objetivo dos trabalhos tem sido buscar conhecimento sobre os fatores que influenciam na sensação térmica das pessoas e como eles se relacionam para produzir o conforto térmico.

O conforto térmico como uma sensação humana situa-se no campo do subjetivo e acredita-se que a satisfação das pessoas com um ambiente dependa de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio, os fisiológicos, como a aclimatização, referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo resultantes da exposição continuada a determinada condição térmica e os fatores psicológicos relacionam-se a diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, fruto da experiência passada e da expectativa do indivíduo.

A complexidade de considerar-se os fatores fisiológicos e psicológicos em modelos matemáticos para estimar a sensação térmica das pessoas, tem levado os pesquisadores a desenvolver índices de conforto baseados só nos fatores físicos. Índice de conforto é um parâmetro que representa o efeito combinado das principais variáveis intervenientes; através dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas.

Esses índices foram desenvolvidos com base na teoria de balanço térmico do corpo humano e o ambiente em regime estacionário. A idéia é que a sensação de bem estar térmico está

ligada ao trabalho que o sistema termorregulador humano tem que desenvolver para manter o equilíbrio térmico do corpo. Isso significa que, quanto maior for o esforço desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto.

Portanto o conforto térmico depende de fatores que interferem no trabalho do sistema termorregulador como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar.

A taxa de metabolismo, característica da atividade física realizada, refere-se à quantidade de calor produzida internamente pelo corpo, o isolamento térmico da vestimenta representa a barreira imposta pela roupa às trocas de calor com o meio e a temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar determinam as transferências de calor por radiação, evaporação e convecção.

O efeito combinado de todos esses fatores é que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico embora, por motivo de classificação, os dois primeiros sejam chamados de variáveis pessoais e os quatro últimos de variáveis ambientais.

Dessa forma, a primeira condição para se obter conforto térmico é que o corpo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente. Essa condição é necessária mas não suficiente para que haja conforto térmico. Isso pode ser explicado pela eficiência do sistema termorregulador, que consegue manter o equilíbrio térmico do organismo num amplo intervalo de combinações das variáveis pessoais e ambientais, embora o conforto térmico só ocorra num restrito intervalo dessas combinações.

Assim o conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada.

Devido à subjetividade das sensações, quando se trata das condições ambientais para o conforto térmico de um grupo de pessoas, deve-se entender que isso corresponde às condições que propiciam bem estar ao maior número possível de pessoas, mas não necessariamente para todas.

Os primeiros esforços organizados para o estabelecimento de índices de conforto térmico foram realizados nos Estados Unidos da América no período de 1913 a 1923. Desde então e até hoje esse assunto vem sendo estudado em diferentes partes do mundo e vários métodos para avaliação de conforto térmico tem sido propostos.

O método mais conhecido e amplamente aceito é o Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), que foi desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger e publicado em FANGER(1970).

Fanger usou dados obtidos em experiências realizadas em câmaras climatizadas, com mais de 1300 pessoas, para estabelecer uma equação que permite, a partir do conhecimento das variáveis ambientais e pessoais, estimar a sensação térmica média de um grupo de pessoas (VME) quando exposto a uma determinada combinação dessas variáveis. O VME é dado na seguinte escala de sensações térmicas:

- +3 - muito calor
- +2 - calor
- +1 - leve calor
- 0 - neutralidade
- 1 - leve frio
- 2 - frio
- 3 - muito frio

A fim de conhecer a quantidade de pessoas termicamente descontentes com um ambiente, Fanger relacionou o valor do VME com a porcentagem estimada de insatisfeitos (PEI).

O método de Fanger foi adotado como base para o desenvolvimento de uma norma que especifica condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados, ISO 7730 (1984), e da sua atualização em 1994.

A necessidade crescente de minimização do consumo de energia com sistemas de ventilação, refrigeração e/ou aquecimento tem sido um dos principais fatores estimuladores das pesquisas sobre conforto térmico. Sob esse aspecto é de fundamental importância que a definição das características construtivas das edificações sejam adequadas ao clima e ao tipo de ocupação.

É fato que, em muitos casos, as edificações são projetadas principalmente em função de tendências estéticas ou exigências técnicas de produção, sem a preocupação em adequar o ambiente às características e limitações humanas. Esse é um problema especialmente relevante nos ambientes de trabalho, em que condições operacionais expõem trabalhadores a diferentes graus de desconforto térmico, o que certamente afeta a sua eficiência e produtividade e pode nos casos extremos, hipertermia ou hipotermia, provocar danos fisiológicos.

A avaliação do conforto térmico é uma ferramenta importante a ser usada em conjunto com programas simuladores de desempenho térmico para melhor adequar o projeto dos prédios ao clima e aos trabalhos executados, bem como para, na fase pós-ocupação, identificar e equacionar problemas oriundos do projeto, da construção ou da manutenção da edificação e também alguns relativos à organização do trabalho.

O desconforto térmico é comum nos ambientes laborais brasileiros. A maioria das queixas refere-se ao calor, mas há também reclamações devido ao frio, que tem origem, principalmente, nos locais que manipulam e/ou estocam produtos resfriados ou congelados, como supermercados e frigoríficos.

Essa realidade pode ser em parte explicada pela escassez de literatura e incipiente pesquisa sobre esse tema no Brasil, bem como por não termos método normalizado para avaliar a sensação térmica das pessoas e nem legislação que estabeleça condições de conforto ou limites de desconforto térmicos.

A legislação brasileira que trata desse assunto, BRASIL (1978), restringe-se a estabelecer, na Norma Regulamentadora 15, limites de tolerância para exposição ao calor. Esses

limites procuram evitar a condição extrema que é a de sobrecarga térmica e assim estão muito distantes da condição desejável que é a de conforto térmico. A única menção a condições de conforto térmico é feita na Norma Regulamentadora 17 que usa o índice das temperaturas efetivas para estabelecer o intervalo de conforto para atividades sedentárias. O índice das temperaturas efetivas foi desenvolvido em 1923, YAGLOU & HOUGHTEN (1923), e desde 1947 não há dúvida quanto a sua imprecisão ao estimar a sensação térmica, YAGLOU (1947).

Dessa forma, analisar um ambiente de trabalho somente sob a ótica da legislação atual pode significar condenar os trabalhadores a um extremo desconforto térmico.

No Brasil, só recentemente foi publicado um livro que trata sobre o método de avaliação de conforto térmico adotado internacionalmente, RUAS (1999a). Com relação a pesquisas brasileiras sobre métodos para a avaliação de conforto térmico (XAVIER, 2000 ; GONÇALVES, 2000 ; HACKENBERG, 2000 ; XAVIER, 1999 ; RUAS, 1999b ; ARAÚJO, 1996 ; RIBEIRO, 1945 ; SÁ, 1936 e SÁ, 1934) nota-se que houve uma intensificação dos trabalhos nos últimos anos embora a extensão territorial e variedade climática do país estabeleçam uma demanda muito maior.

Tratando-se de softwares para a avaliação de conforto térmico, é importante ressaltar a existência dos programas Confi, Heat e o Analysis 1.5. O primeiro desenvolvido em 1993 por John Martin Evans na Universidade de Buenos Aires, o segundo criado em 1994 por J. Malchaire na Universidade de Louvain na Bélgica e o último em 1996 pelo Núcleo de Pesquisa na Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Esses softwares calculam o VME e a PEI de acordo com a norma ISO 7730 (1984) e para isso necessitam a entrada dos valores de taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar.

O Heat avalia também o estresse térmico e possui rotinas internas para cálculo da temperatura radiante média e da umidade relativa utilizando, respectivamente, a temperatura do termômetro de globo e a temperatura de bulbo úmido natural. Esse software, quando comparado

com os dois outros citados, apresenta melhores informações de ajuda ao usuário, trazendo, no manual do programa, informações básicas sobre os índices de avaliação utilizados e sobre a obtenção dos valores de entrada. O programa foi desenvolvido para plataforma DOS e só está disponível na versão em inglês.

O Confi não possui rotinas para o cálculo da temperatura radiante média e nem da umidade relativa e no que se refere a taxa de metabolismo e ao isolamento térmico da vestimenta, a entrada dos valores pode ser feita tanto diretamente como através de duas tabelas extraídas dos anexos B e C da norma ISO 7730 (1984). Uma das tabelas contém taxas de metabolismo para seis tipos de atividade e a outra sete opções de roupas. Esse software tem versões em inglês e espanhol e foi desenvolvido para plataforma DOS .

O Analysys 1.5 também possibilita a entrada da taxa de metabolismo e do isolamento térmico da roupa através de duas tabelas que permitem ao usuário a escolha do valor desejado através de caixas de seleção. A tabela da taxa de metabolismo dispõe de sete opções e a do isolamento térmico da roupa possui vinte e um itens de vestuário que podem ser combinados conforme a roupa utilizada. O software dispõe de rotina para o cálculo da umidade relativa a partir da pressão parcial de vapor ou da temperatura de bulbo úmido psicrométrica. O programa não possui ajuda ao usuário e foi desenvolvido para a plataforma Windows 95.

Dessa forma os profissionais de projeto de edificações e de sistemas de ventilação e ar condicionado, bem como aqueles responsáveis pela segurança e higiene do trabalho não dispõem de conhecimento atualizado nem de ferramentas práticas para avaliação do conforto térmico dos ambientes edificados.

Assim é mister sistematizar o conhecimento atualmente existente, de forma a possibilitar a produção de ferramentas práticas, como softwares, que contribuam para a criação de ambientes que harmonizem as aspirações humanas, o clima e as atividades desenvolvidas. Isso tornará possível a simulação de interferências nos ambientes, seja na fase de projeto ou de pós-ocupação, de forma a colaborar no processo de tomada de decisão para melhoria da sensação térmica, principalmente nos locais de trabalho. Uma outra aplicação é como ferramenta para estimativa “instantânea” da sensação térmica em pesquisas brasileiras sobre conforto térmico.

2 OBJETIVOS

⇒ Sistematizar a avaliação de conforto térmico utilizando o conhecimento atualmente existente;

⇒ Desenvolver um software que permita aos profissionais responsáveis pela saúde e segurança no trabalho, bem como aqueles envolvidos no projeto e manutenção de edificações ou de sistemas de ventilação e ar condicionado, prever a sensação térmica de um grupo de pessoas quando exposto a um determinado ambiente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Interação térmica do homem e o meio ambiente

O corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage continuamente com o ambiente para conseguir o balanço térmico indispensável para a vida. Existe assim uma constante troca de calor entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física e influenciada por mecanismos de adaptação fisiológica, por condições ambientais e por fatores individuais.

A sensação de conforto térmico está intimamente relacionada com o esforço realizado pelo organismo para manter o balanço térmico. Assim, para maior entendimento desse processo, trata-se a seguir da termorregulação humana e do balanço térmico do corpo humano.

3.1.1 Termorregulação humana

O principal objetivo da termorregulação é impedir grandes variações na temperatura interna do corpo de maneira que os sistemas vitais possam operar adequadamente. Essa tarefa é coordenada pelo hipotálamo, que é a parte do cérebro responsável por várias funções automáticas como: balanço de água, atividades vasomotoras e humorais. O hipotálamo recebe impulsos, originados em células termossensíveis existentes na pele, nos músculos e em outras partes do

organismo, e manda através dos nervos comandos que acionam mecanismos de compensação, como a vasoconstrição e vasodilatação cutâneas e a sudação, que interferem nas trocas térmicas do corpo com o ambiente de forma a manter a temperatura interna. O processo pode ser assim exemplificado:

Quando se entra num ambiente quente, os sensores na pele verificam o diferencial de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam ao hipotálamo, que inicia o processo de vasodilatação para permitir que uma maior quantidade de sangue percorra os vasos superficiais, aumentando assim a temperatura da pele e propiciando uma maior dissipação de calor por convecção e radiação. Adicionalmente poderia haver um aumento da frequência cardíaca para aumentar a vazão de sangue para a superfície do corpo. Quando as ações anteriores não são suficientes para manter o equilíbrio térmico é iniciada a produção de suor para que o corpo possa perder calor com a sua evaporação.

De forma recíproca, quando se entra num ambiente frio é iniciada a vasoconstrição, que restringe a passagem do sangue na superfície da pele, privilegiando a circulação no cérebro e em outros órgãos vitais, de maneira a manter a temperatura necessária à realização das funções críticas do organismo. Esse processo também abaixa a temperatura da pele, diminuindo assim a troca de calor com o meio. Quando a vasoconstrição não consegue o equilíbrio térmico o sistema termorregulador provoca o tremor muscular que aumenta o metabolismo nos músculos e portanto a produção de calor interno.

A atividade vasomotriz representa a resposta inicial do corpo a uma situação desfavorável no que se refere ao seu equilíbrio térmico. No caso de ambientes quentes, a sudação é um mecanismo fundamental para intensificar a perda de calor para o ambiente. Nos ambientes frios o tremor muscular é o mecanismo que aumenta a produção de calor interno.

A temperatura do corpo não é igualmente distribuída em todo o organismo. Uma temperatura próxima dos 37 °C é mantida no interior do cérebro, do coração e nos órgãos abdominais, essa é a temperatura de núcleo. MACINTYRE (1980) cita que essa temperatura de núcleo, ajustada pelo sistema termorregulador, não é constante e depende da taxa de

metabolismo. O autor afirma que em atividades físicas severas, com alta taxa de metabolismo, essa temperatura pode ser elevada até 39,5 °C e que a febre também eleva a temperatura de núcleo.

Ao contrário da temperatura de núcleo, a temperatura nos membros, nos músculos e especialmente na pele (temperatura periférica) sofre oscilações. As variações nessa última determinam as modificações na troca de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente.

FANGER (1970) afirma que para uma determinada taxa de metabolismo, a temperatura média da pele e a quantidade de calor perdida por evaporação do suor são as únicas variáveis fisiológicas que influenciam no equilíbrio térmico do corpo e, portanto, o conforto tem que estar relacionado com a magnitude delas. Isso representa que, para cada taxa de metabolismo existe uma temperatura média da pele e uma quantidade de calor perdida por evaporação do suor que correspondem à sensação de conforto. Essa hipótese é fundamental no método dos Votos Médios Estimados desenvolvido por FANGER (1970).

3.1.2 Balanço térmico do corpo humano

O equilíbrio térmico é essencial para a vida humana e é obtido quando a quantidade de calor produzida no corpo é igual à quantidade de calor cedida para o ambiente através da pele e da respiração. O calor produzido é a diferença entre a taxa de metabolismo e o trabalho mecânico realizado. A ASHRAE (1997a) propõe a seguinte equação para expressar matematicamente esse processo:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} + S \quad (3.1)$$

sendo:

$$Q_{sk} = C + R + E_{rsw} + E_{dif} \quad (3.2)$$

$$Q_{res} = C_{res} + E_{res} \quad (3.3)$$

onde:

M	Taxa de metabolismo, W/m ² ;
W	Taxa de trabalho mecânico realizado, W/m ² ;
Q _{sk}	Taxa total de calor perdido pela pele, W/m ² ;
Q _{res}	Taxa total de calor perdido pela respiração, W/m ² ;
S	Taxa de calor armazenada no corpo, W/m ² ;
C + R	Perdas de calor sensível pela pele por convecção e radiação, W/m ² ;
E _{rsw}	Taxa de calor perdido por evaporação da transpiração, W/m ² ;
E _{dif}	Taxa de calor perdido por evaporação da água de difusão, W/m ² ;
C _{res}	Taxa de perda de calor convectivo na respiração, W/m ² ;
E _{res}	Taxa de perda de calor evaporativo na respiração, W/m ² ;

Um valor positivo para o termo S representa o aquecimento do corpo, da mesma forma que um valor negativo mostra o seu resfriamento; quando S é igual a zero, o corpo está em equilíbrio térmico.

O trabalho mecânico realizado pelos músculos (W) é normalmente expresso em termos de eficiência mecânica do corpo $\eta = W/M$. O valor de η é no máximo, em condições ótimas, 24% e para a maioria das atividades está próximo a zero. Por isso o trabalho mecânico é normalmente considerado nulo e a taxa de metabolismo igual ao calor produzido.

Todos os termos da equação de balanço térmico são dados na unidade de potência por área e referem-se a área superficial do corpo nu. Essa área normalmente é calculada pela equação de DuBois (ASHRAE, 1997a):

$$A_{Du} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725} \quad (3.4)$$

onde:

m	Massa do corpo, kg;
l	Altura do corpo, m.

Como a roupa aumenta a área superficial de uma pessoa, deve-se aplicar um fator de correção nos termos de transferência de calor da pele (C , R , E_{rsw} e E_{dif}) para considerar a área superficial de cada vestimenta. Esse fator, chamado fator de área da vestimenta, é calculado pela seguinte equação:

$$f_{\text{cl}} = \frac{A_{\text{cl}}}{A_{\text{Du}}} \quad (3.5)$$

onde:

f_{cl} Fator de área da vestimenta;
 A_{cl} Área da vestimenta, m^2 ;
 A_{Du} Área DuBois, m^2 .

A expressão matemática do balanço térmico do corpo humano representa uma solução combinada, racional/empírica, para descrever as trocas térmicas com o ambiente. A teoria fundamental de transferência de calor é usada para o cálculo das trocas de calor sensível e latente, enquanto que expressões empíricas são usadas para determinar o valor dos coeficientes de troca de calor. As equações que permitem calcular as perdas de calor do corpo serão estudadas a seguir.

3.1.2.1 Perdas de calor sensível da pele

O calor sensível da pele tem que passar pela roupa até chegar ao ambiente. Neste processo o calor tem que transpor duas etapas distintas e sucessivas : 1º) A transferência de calor da superfície da pele, atravessando a vestimenta, até a superfície externa da mesma; 2º) A transferência de calor da superfície da roupa para o ambiente.

Dessa forma, para a transferência do calor sensível para o ambiente, através da vestimenta, estão envolvidos os processos de condução, convecção e radiação. O cálculo pode ser realizado pela seguinte equação:

$$(C + R) = \frac{t_s - t_{cl}}{I_{cl}} \quad (3.6)$$

onde:

- C Calor trocado por convecção, W/m^2 ;
- R Calor trocado por radiação, W/m^2 ;
- t_s Temperatura superficial da pele, $^{\circ}C$;
- t_{cl} Temperatura superficial da vestimenta, $^{\circ}C$;
- I_{cl} Isolamento térmico básico da vestimenta, $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$.

As perdas de calor por convecção (C) e radiação (R) de um corpo vestido podem ser calculadas em função de coeficientes de troca de calor e diferenças de temperatura:

$$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (3.7)$$

$$R = f_{cl} \cdot h_r \cdot (t_{cl} - t_{rm}) \quad (3.8)$$

onde:

- f_{cl} Fator de área da vestimenta;
- h_c Coeficiente de troca de calor por convecção, $W/(m^2.K)$;
- h_r Coeficiente de troca de calor por radiação, $W/(m^2.K)$;
- t_{cl} Temperatura média da vestimenta, $^{\circ}C$;
- t_a Temperatura do ambiente, $^{\circ}C$;
- t_{rm} Temperatura radiante média, $^{\circ}C$.

As equações 3.7 e 3.8 podem ser combinadas para descrever a troca total de calor sensível por estes dois mecanismos, em termos de uma temperatura operante (t_o) e um coeficiente combinado de transferência de calor por convecção e radiação (h):

$$(C + R) = f_{cl} \cdot h \cdot (t_{cl} - t_o) \quad (3.9)$$

onde:

$$h = h_r + h_c \quad (3.10)$$

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_{mrt} + h_c \cdot t_a}{h_r + h_c} \quad (3.11)$$

Dessa forma a temperatura operante (t_o) pode ser matematicamente definida como a média entre a temperatura do ambiente e a temperatura radiante média, ponderada pelos respectivos coeficientes de transmissão de calor.

Havendo inconveniente em incluir a temperatura média da vestimenta (t_{cl}) nos cálculos, pode-se combinar as equações 3.6 e 3.9 para eliminá-la:

$$(C + R) = \frac{t_s - t_o}{I_{cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h}} \quad (3.12)$$

onde a resistência térmica global da vestimenta é representada por:

$$I_{cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h}$$

O termo I_{cl} representa a resistência da vestimenta à troca de calor sensível e $1/(f_{cl} \cdot h)$ a resistência da camada de ar que rodeia o corpo. Chamando essa última de I_a , a equação 3.12 pode ser escrita da seguinte forma:

$$(C + R) = \frac{t_s - t_o}{I_{cl} + I_a} \quad (3.13)$$

3.1.2.2 Perdas de calor latente da pele

A perda de calor por evaporação na pele depende da diferença entre a pressão de vapor d'água junto à pele e no ar ambiente, da permeabilidade da vestimenta e da quantidade de umidade na pele. Em termos de equação tem-se:

$$E_{sk} = \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h_e}} \quad (3.14)$$

onde:

- E_{sk} Perda total de calor por evaporação, W/m^2 ;
- w Fração de pele úmida;
- $p_{sk,s}$ Pressão de vapor d'água na pele, normalmente considerada saturada em t_s , kPa;
- p_a Pressão de vapor d'água no ambiente, kPa;
- $R_{e,cl}$ Resistência da vestimenta à troca por evaporação, $(m^2 \cdot kPa)/W$;
- h_e Coeficiente de troca de calor por evaporação, $W/(m^2 \cdot kPa)$.

A perda total por evaporação na pele é uma combinação da evaporação do suor segregado pelo mecanismo termorregulador (E_{rsw}) e da água provida da difusão natural através da pele (E_{dif}).

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (3.15)$$

A máxima perda de calor por evaporação na pele ocorre quando esta fica completamente úmida, ou $w = 1,0$. O menor valor de w é 0,06, por ser a pele uma membrana permeável e ocorrer a difusão de água (ASHRAE, 1997a).

O denominador da equação 3.14 representa a resistência total à evaporação que considera os efeitos da vestimenta ($R_{e,cl}$) e da camada de ar que a rodeia ($1/(f_{cl} \cdot h_e)$). Preferindo-se expressar essa última resistência em função do coeficiente de convecção (h_c), pode-se utilizar a

relação de Lewis ($L = h_e/h_c$) que para ambientes internos é aproximadamente igual a 16,5 °C/kPa (ASHRAE, 1997a). Dessa forma a equação 3.14 pode ser escrita da seguinte forma:

$$E_{sk} = \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot L \cdot h_c}} \quad (3.16)$$

3.1.2.3 Perda total de calor através da pele

Os itens anteriores trataram as perdas sensíveis e latentes como fenômenos distintos, mas na realidade, como mostrado pela relação de Lewis, eles estão muito relacionados. Assim a perda total de calor sensível e latente pela pele (Q_{sk}) pode ser calculada somando-se as equações 3.13 e 3.16:

$$Q_{sk} = \frac{t_s - t_o}{I_{cl} + I_a} + \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot L \cdot h_c}} \quad (3.17)$$

3.1.2.4 Perdas de calor pela respiração

Durante a respiração o ar é inspirado nas condições ambientes e expirado praticamente saturado e numa temperatura levemente inferior à temperatura interna do corpo. Esse aquecimento e umidificação do ar representam para o organismo a perda de calor sensível e latente. Essa perda é proporcional à quantidade de ar inalado, que por sua vez depende da atividade física (taxa de metabolismo).

As perdas de calor sensível (C_{res}) e latente (E_{res}) devidas à respiração são:

$$C_{res} = m_{res} \cdot c_a \cdot \frac{t_{ex} - t_a}{A_{Du}} \quad (3.18)$$

$$E_{res} = m_{res} \cdot h_{fg} \cdot \frac{W_{ex} - W_a}{A_{Du}} \quad (3.19)$$

onde:

- C_{res} Perda de calor sensível na respiração, W/m²;
- E_{res} Perda de calor latente na respiração, W/m²;
- m_{res} Vazão mássica de ar pulmonar, kg/s;
- c_a Calor específico do ar, kJ/(kg. °C);
- h_{fg} Calor latente de vaporização da água, kJ/kg;
- t_{ex} Temperatura do ar expirado, °C;
- t_a Temperatura do ar ambiente, °C;
- W_{ex} Conteúdo de umidade do ar expirado, kg vapor d'água/kg ar seco;
- W_a Conteúdo de umidade do ar ambiente, kg vapor d'água/kg ar seco;
- A_{Du} Área superficial do corpo (DuBois), m².

Essas equações podem ser reduzidas usando-se inter-relações empíricas e aproximações, como aquela proposta em ASHRAE (1997, p. 8.4) para estimar a vazão mássica pulmonar (m_{res}):

$$m_{res} = K_{res} \cdot M \quad (3.20)$$

onde:

- K_{res} Constante de proporcionalidade = $2,58 \cdot 10^{-6}$ kg.m²/J;
- M Taxa de metabolismo, W/m².

O ar é expirado numa temperatura próxima à do corpo e está praticamente saturado; assim é possível utilizar as seguintes equações empíricas, desenvolvidas em FANGER(1970), para estimar as condições normais dos ambientes internos:

$$t_{ex} = 32,6 + 0,066 \cdot t_a + 32 \cdot W_a \quad (3.21)$$

$$W_{ex} - W_a = 0,0277 + 0,000065 \cdot t_a - 0,8 \cdot W_a \quad (3.22)$$

O conteúdo de umidade do ar ambiente (W_a) pode ser representado em termos da pressão total ou barométrica (P) e da pressão parcial de vapor no ar (p_a):

$$W_a = 0,622 \cdot \frac{p_a}{P - p_a} \quad (3.23)$$

onde:

P e p_a são dados em kPa.

Duas aproximações são comuns para a simplificação das equações 3.18 e 3.19. A primeira é que t_{ex} é calculada pela expressão 3.21, considerando-se uma condição padrão de 20°C, 50% de umidade e pressão ao nível do mar, isso porque a perda de calor sensível pela respiração é relativamente pequena quando comparada com os outros termos da equação de balanço térmico. A segunda aproximação é que o segundo termo da equação 3.22 e o denominador da equação 3.23 são também calculados para a condição padrão, tendo em vista a pequena dependência de t_a mostrada na expressão 3.22. Usando-se essas simplificações e substituindo os valores de h_{fg} e c_a na condição padrão, as equações 3.18 e 3.19 podem ser combinadas para se obter a perda total de calor pela respiração:

$$Q_{res} = C_{res} + E_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) + 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_a) \quad (3.24)$$

onde:

Q_{res} Taxa total de calor perdido pela respiração, W/m^2 .

3.2 Avaliação do conforto térmico

3.2.1 Evolução do conhecimento

Os primeiros esforços organizados para o estabelecimento de critérios de conforto térmico, foram realizados no período de 1913 a 1923. Em 1923 a ASHVE, Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento e Ventilação, publicou o trabalho de HOUGHTEN & YAGLOU (1923) que estabelecia "linhas de igual conforto", definidas depois como de temperatura efetiva, e determinava a "zona de conforto". Nasce assim o Índice de Temperatura Efetiva.

Os experimentos que originaram esse índice foram desenvolvidos num laboratório que continha duas câmaras climatizadas com controles independentes de temperatura e umidade e eram interligadas por uma porta.

Numa das câmaras, chamada de controle, a temperatura era fixada num determinado valor e a umidade relativa mantida em 100% enquanto que na outra, chamada de teste, as temperaturas de bulbo seco e úmido eram alteradas, enquanto homens despidos até a cintura andavam de uma câmara para outra. Em cada entrada na câmara de teste eles reportavam qual das câmaras estava mais quente. O ar nas duas câmaras foi mantido praticamente parado.

As temperaturas na câmara de teste eram alteradas progressivamente, desde uma sensação de leve frescor em relação à câmara de controle, até a de leve calor. O objetivo dos testes foi determinar as combinações das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido que provocavam a mesma sensação térmica. Essas combinações originaram as chamadas linhas de igual conforto, que foram plotadas numa carta psicrométrica e chamadas de temperatura efetiva (ET). Essas linhas foram identificadas pelo correspondente valor da temperatura de bulbo seco no ponto do seu cruzamento com a linha de umidade relativa de 100 %.

Assim a sensação térmica num ambiente com temperatura efetiva de 25°C corresponde à sensação num ambiente com ar parado, umidade relativa de 100% e temperatura de 25°C. A ET é sempre numericamente inferior à temperatura de bulbo seco, exceto quando a umidade relativa for de 100%.

A "zona de conforto", ou o intervalo de conforto, foi estabelecida com experiências envolvendo 126 pessoas que usavam diferentes vestimentas, eram de ambos os sexos e representavam diferentes profissões. Os testes foram realizados numa câmara climatizada onde as pessoas ficavam sentadas lendo, escrevendo ou jogando cartas. A sensação térmica das pessoas era obtida através das respostas às seguintes perguntas:

- Essa condição é confortável ou desconfortável?
- Você deseja alguma mudança?
- Se desejar, você prefere mais quente ou mais frio?

Foram utilizados diferentes tempos de exposição às condições de teste; dessa forma doze pessoas foram expostas por três horas, quatorze por duas horas e cem por quinze minutos.

Para se definir o intervalo de conforto foram incluídas as temperaturas efetivas em que pelo menos 50 % das pessoas sentiam-se confortáveis.

Experiências adicionais foram realizadas para incorporar os efeitos da velocidade do ar (HOUGHTEN & YAGLOU, 1924) e os da vestimenta (YAGLOU & MILLER, 1925). A vestimenta usada nos testes era composta de meias e roupa de baixo de algodão, camisa de algodão de manga longa com o colarinho abotoado, terno de lã com colete e sapatos.

O resultado dessas experiências foi um novo intervalo de conforto que indicou haver influência das estações do ano no conforto térmico das pessoas, devido às diferenças nas vestimentas utilizadas. Esse intervalo encontrado foi considerado válido para o período de inverno.

Em 1929, novas experiências foram feitas para determinar o efeito do clima de verão no intervalo de conforto (YAGLOU & DRINKER, 1929). Nesse caso foram usados cinquenta e seis homens e trinta e cinco mulheres. Não foram feitas restrições quanto às vestimentas e os testes foram executados num período de três horas. A sensação térmica das pessoas foi obtida através do voto, usando a seguinte escala:

- 1- Frio
- 2 - Confortavelmente frio
- 3 - Muito confortável
- 4 - Confortavelmente quente
- 5 - Quente

O intervalo de conforto para o verão foi obtido incluindo todas as temperaturas votadas como confortáveis e não apenas as que satisfaziam pelo menos 50 % das pessoas.

As temperaturas efetivas foram então representadas em dois ábacos, um válido para pessoas despidas da cintura para cima, chamado de escala básica, e outro para pessoas normalmente vestidas, chamado de escala normal. Nesses ábacos, as temperaturas efetivas eram obtidas em função da velocidade do ar e das temperaturas de bulbo seco e úmido (Figuras 3.1 e 3.2).

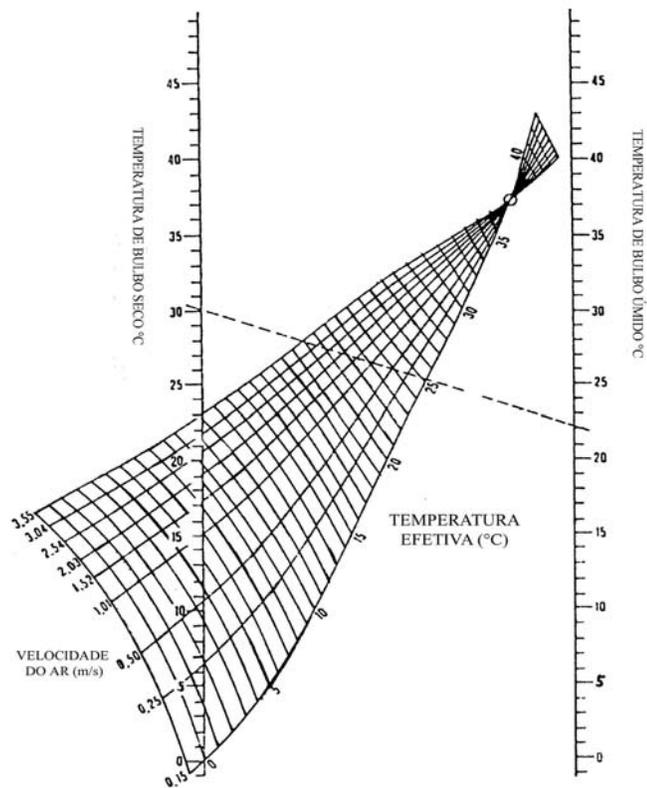


Figura 3.1 Escala de temperatura efetiva básica (para homens despídos da cintura para cima).

Fonte: Laboratori di Strumentazione Industriale, (1997), p.36.

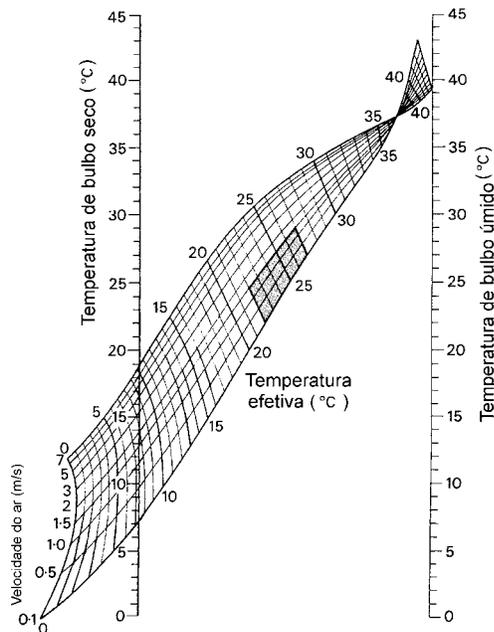


Figura 3.2 Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas).

Fonte: Szokolay, (1980), p.278.

MCINTYRE (1980) define temperatura efetiva como um índice arbitrário que combina num único número o efeito da temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar na sensação térmica humana.

Em 1932 foi proposta uma correção para o índice das temperaturas efetivas para incluir o efeito da radiação térmica (VERNON & WARNER, 1932). A temperatura efetiva corrigida (CET) é então obtida nos ábacos de temperatura efetiva, substituindo a temperatura de bulbo seco pela temperatura do termômetro de globo.

A escala de temperatura efetiva foi usada sem restrições para avaliar o conforto térmico até 1947, quando surgiram evidências que essa escala superestimava o efeito da umidade nas baixas temperaturas e subestimava o efeito da umidade nas altas temperaturas, (YAGLOU, 1947 e ROWLEY, JORDAN & SNYDER, 1947).

MCINTYRE (1980) cita Yaglou (1949) para explicar que esse problema relacionado à umidade foi causado pelo método usado na pesquisa original que estabeleceu as linhas de temperatura efetiva. Segundo ele, para que fosse possível perceber diferenças de temperatura pequenas como 0,3 K, a sensação térmica das pessoas foi colhida imediatamente após a sua entrada na câmara de teste; isso fez com que a importância da umidade no conforto térmico fosse superestimada pelas seguintes razões:

1° Ao passar para uma sala com maior umidade, a vestimenta adsorve umidade, e a resultante liberação de calor de adsorção é sentida como um efeito transiente de aquecimento. Da mesma forma, ao entrar num ambiente com umidade menor, ocorre a evaporação da umidade da pele e da vestimenta, provocando um efeito de resfriamento.

2° Ao entrar num segundo ambiente imediatamente após sair de um primeiro, a umidade da pele é apropriada para o primeiro, provocando uma transiente mudança na perda de calor por evaporação.

Em 1950 a ASHRAE, Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar condicionado e Aquecimento, iniciou o planejamento de um amplo programa de pesquisa para reavaliar os ábacos de conforto. Para tanto foi projetada e construída uma instalação de pesquisa ambiental do conforto térmico, no laboratório dessa associação em Cleveland (EUA).

Em 1960, experiências desenvolvidas no laboratório da ASHRAE em Cleveland (KOCH, JENNINGS & HUMPHREYS, 1960), mostraram que nos intervalos de umidade entre 20% e 90% e de temperatura de bulbo seco entre 20°C e 34°C, o efeito da umidade sobre a sensação de conforto é pequeno.

Nessas experiências o período de exposição às condições de teste foi de três horas e foram usadas vinte pessoas em atividade sedentária e vestindo roupa leve. A temperatura superficial das paredes da sala de teste foi mantida igual à temperatura do ambiente e a velocidade do ar menor ou igual a 0,1 m/s.

A comparação dos resultados dessas experiências com os de HOUGHTEN & YAGLOU (1923) mostra que a temperatura efetiva indica a sensação térmica imediatamente após a entrada no ambiente enquanto que os de KOCH, JENNINGS & HUMPHREYS (1960) refletem a sensação depois de três horas ou mais de exposição.

Em 1963, com a transferência do laboratório da ASHRAE de Cleveland (EUA) para a Universidade Estadual de Kansas (EUA), teve continuidade o programa de reavaliação dos intervalos de conforto vigentes.

O primeiro trabalho relevante então publicado foi o de ROHLES et al. (1966) que relatava a pesquisa desenvolvida por eles, no laboratório de Kansas, com 360 homens e 360 mulheres de idades entre 18 e 23 anos.

Nessa pesquisa foram formados setenta e dois grupos de dez pessoas, cinco homens e cinco mulheres, que foram expostos, por três horas, a diferentes condições de teste.

Os testes englobaram setenta e duas condições diferentes, que resultaram da combinação de nove temperaturas de bulbo seco, no intervalo de 66°F (18,9°C) a 82°F (27,8°C) com incremento de 2°F (1,1°C), com oito valores de umidade relativa, no intervalo de 15 % a 85 %, com incremento de 10 %.

As pessoas vestiam uma roupa padrão com resistência térmica de 0,52 clo¹ e executavam atividades sedentárias.

A sala de teste foi mantida com velocidade do ar inferior a 0,2 m/s e a temperatura superficial das paredes igual à temperatura de bulbo seco.

A sensação térmica das pessoas foi obtida através do voto escrito, que era colhido após uma hora de exposição e depois a cada meia hora até que fossem completadas as três horas. A escala usada foi a seguinte :

- 1 - Muito frio
- 2 - Frio
- 3 - Levemente frio
- 4 - Confortável
- 5 - Levemente quente
- 6 - Quente
- 7 - Muito quente

O resultado dessa pesquisa concordou com o anterior de KOCH, JENNINGS & HUMPHREYS (1960).

A pesquisa de ROHLES et al. (1966) foi repetida na Universidade da Dinamarca em 1968 (FANGER, 1970). Nessa oportunidade o objetivo era verificar a influência da

¹ 1 clo = 0,155 m² . K/W

nacionalidade e da idade no intervalo de conforto e para isso, foram usados nos testes 256 pessoas de ambos os sexos, sendo 128 com idade média de 23 anos e 128 com média de 68 anos.

De acordo com FANGER (1970), esses testes não demonstraram diferença significativa de condições de conforto entre jovens americanos e dinamarqueses, entre jovens e idosos e nem entre homens e mulheres.

O método utilizado nas pesquisas desenvolvidas até então basicamente verificava a influência da temperatura e umidade do ar na sensação de conforto térmico, uma vez que os outros fatores intervenientes, como a temperatura radiante média², a velocidade do ar, a vestimenta e a atividade física executada, eram mantidos constantes. Isso restringia a aplicação prática dos resultados dessas pesquisas, uma vez que eles só são válidos para condições semelhantes às usadas nos testes, ou seja atividade física sedentária, vestimenta com resistência térmica de 0,6 clo, velocidade do ar próxima a 0,1 m/s e temperatura radiante média igual à temperatura ambiente.

O estudo do conforto térmico foi ampliado com o trabalho de MCNALL et al. (1967) que determinou, usando quatrocentas e vinte pessoas de ambos os sexos e método similar ao de ROHLES et al. (1966), a temperatura de neutralidade térmica e o intervalo de conforto para homens e mulheres executando atividades leve, média e pesada.

A pesquisa sobre o conforto térmico teve um avanço significativo com a publicação do trabalho desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger, (FANGER, 1967), quando da sua visita ao laboratório da ASHRAE no período de outubro de 1966 a abril de 1967.

Nesse período Fanger, utilizando o procedimento experimental descrito em MCNALL et al. (1967), realizou testes que, em conjunto com os resultados de experiências anteriores (ROHLES et al., 1966 e MCNALL et al., 1967), permitiram relacionar, para a condição de

² Temperatura radiante média é a temperatura superficial uniforme de um ambiente imaginário, negro sob o aspecto de radiação, no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação que no ambiente real não uniforme.

conforto térmico, a atividade física, representada pelo calor produzido internamente pelo corpo humano, com a temperatura média da pele e com a quantidade de calor perdido por evaporação do suor. Essa relação é mostrada nas equações seguintes :

$$t_s = 35,7 - 0,032 H / A_{DU} \quad (3.25)$$

$$E_{sw} = 0,42 \cdot A_{DU} \cdot [(H / A_{DU}) - 50] \quad (3.26)$$

onde :

- t_s Temperatura média da pele, (°C);
- E_{sw} Calor perdido pela evaporação do suor, (kcal/h);
- H Calor interno produzido, (kcal/h);
- A_{DU} Área superficial do corpo, (m²).

Feito isso, e partindo da premissa de que para haver conforto térmico numa determinada atividade física, o corpo deve estar em equilíbrio térmico, com uma certa temperatura média de pele e perdendo certa quantidade de calor por evaporação do suor, Fanger elaborou uma equação de conforto que permitia, para uma determinada combinação das variáveis pessoais (tipo de atividade física e vestimenta), calcular todas as combinações das variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade relativa e temperatura do ar) que produzem o conforto térmico.

A equação de conforto de Fanger foi formulada a partir da seguinte expressão de equilíbrio térmico ou de balanço térmico do corpo humano em regime permanente, considerando o corpo humano como um compartimento homogêneo:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = R + C \quad (3.27)$$

onde:

- H Calor produzido internamente no corpo humano ;
- E_d Calor perdido por difusão do vapor d'água através da pele;
- E_{sw} Calor perdido por evaporação do suor;
- E_{re} Calor latente perdido na respiração;
- L Calor sensível perdido na respiração;

- K Calor transferido da pele para a superfície externa da vestimenta (condução através da vestimenta);
- R Calor perdido por radiação;
- C Calor perdido por convecção.

O detalhamento de cada um dos termos da equação 3.27, conforme explicado em FANGER (1967 e 1970), resultou na seguinte expressão para o equilíbrio térmico do corpo humano:

$$\begin{aligned} & \frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - 0,35 \cdot [1,92 \cdot t_s - 25,3 - p_a] - \frac{E_{sw}}{A_{Du}} - 0,0023 \cdot \frac{M}{A_{Du}} \cdot (44 - p_a) - \\ & 0,0014 \cdot \frac{M}{A_{Du}} \cdot (34 - p_a) = \frac{t_s - t_{cl}}{0,18 \cdot I_{cl}} = 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4 \right] + \\ & f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \tag{3.28}$$

onde :

- M Energia do metabolismo, (kcal/h);
- A_{Du} Área superficial do corpo, (m^2);
- η Rendimento do trabalho mecânico externo;
- t_s Temperatura média da pele, ($^{\circ}C$);
- p_a Pressão de vapor d'água no ar, (mmHg);
- E_{sw} Calor perdido por evaporação do suor, (kcal/h);
- t_{cl} Temperatura superficial da vestimenta, ($^{\circ}C$);
- f_{cl} Fator de área da vestimenta ;
- I_{cl} Resistência térmica da vestimenta, (clo);
- h_c Coeficiente de transferência de calor por convecção, ($kcal/h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C$);
- t_{rm} Temperatura radiante média, ($^{\circ}C$);
- t_a Temperatura do ambiente, ($^{\circ}C$).

A equação de conforto de Fanger foi obtida substituindo as expressões 3.25 e 3.26 na equação 3.28. Essa equação é mostrada a seguir:

$$\begin{aligned}
& \frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - 0,35 \cdot \left[43 - 0,061 \cdot \frac{M}{A_{Du}} \cdot (1-\eta) - p_a \right] - 0,42 \cdot \left[\frac{M}{A_{Du}} \cdot (1-\eta) - 50 \right] - \\
& 0,0023 \cdot \frac{M}{A_{Du}}(44 - p_a) - 0,0014 \frac{M}{A_{Du}}(34 - t_a) = \frac{35,7 - 0,032 \frac{M}{A_{Du}}(1-\eta) - t_{cl}}{0,18 \cdot I_{cl}} = \\
& 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[\left(t_{cl} + 273 \right)^4 - \left(t_{rm} + 273 \right)^4 \right] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)
\end{aligned} \tag{3.29}$$

Como mostrado em FANGER (1970), a aplicação das condições usadas nas experiências de ROHLES et al. (1966) e MCNALL et al. (1967) na equação de conforto apresentou, para atividades sedentárias, excelente concordância de resultados quanto à temperatura e inter-relação temperatura - umidade. Para outras atividades, a concordância de temperatura foi boa, as diferenças foram menores que 1°C, mas quanto à inter-relação temperatura - umidade encontrou-se diferenças que foram atribuídas ao restrito intervalo de umidades relativas investigado, de 25% a 65%.

A equação de conforto é complexa e de difícil utilização, por isso FANGER (1967) obteve com a ajuda de um computador uma série de combinações das variáveis pessoais e ambientais que satisfaziam a sua equação, ou seja resultavam em conforto térmico, e as representou, através de linhas de conforto, em gráficos. Esses gráficos foram chamados de Diagramas de Conforto ; um deles é mostrado na Figura 3.3.

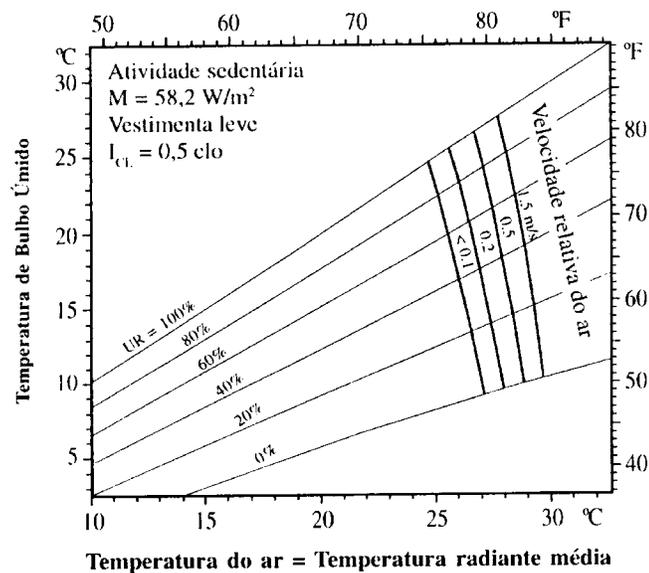


Figura 3.3 Diagrama de conforto de FANGER.

Fonte: Ruas, (1999), p.36.

Os diagramas de conforto representam as combinações das variáveis que resultam em conforto térmico, todavia, sob o ponto de vista prático, era necessário conhecer-se o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes que tivessem condições diferentes daquelas de conforto térmico. Assim FANGER (1970) definiu um critério para avaliar esse grau de desconforto, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica definida por ele. Esse critério ele chamou de Predicted Mean Vote-PMV (Voto Médio Estimado-VME).

A escala de sensação térmica definida por FANGER tem os seguintes níveis:

- 3 - muito frio
- 2 - frio
- 1 - leve sensação de frio
- 0 - neutralidade térmica
- + 1 - leve sensação de calor
- + 2 - calor
- + 3 - muito calor

Essa escala é simétrica em relação ao ponto 0 (zero), que corresponde a neutralidade térmica e apresenta valores de 1 a 3 que podem ser positivos, correspondendo às sensações de calor, ou negativos, correspondendo às sensações de frio.

A relação entre as sensações térmicas da escala estabelecida e as variáveis que influenciam o conforto térmico foi obtida partindo do princípio de que na medida em que as condições térmicas de um ambiente se afastam daquelas de conforto, o sistema termorregulador do corpo deve agir mais intensamente de forma a evitar variações significativas na temperatura interna. Esse maior trabalho do sistema termorregulador provoca maior desconforto.

Assim Fanger relacionou, para uma determinada atividade, a sensação de desconforto ao grau de atuação do sistema termorregulador, através de um índice que considerava o distanciamento das condições de conforto. Esse índice, denominado de Índice de Carga Térmica (ICT), é definido em FANGER (1970) como a diferença entre o calor produzido internamente para uma dada atividade e o calor que seria trocado em condições de neutralidade térmica, para a mesma atividade e mesmo ambiente.

A expressão matemática para o ICT foi formulada a partir da equação de conforto e é mostrada a seguir:

$$\begin{aligned}
 \text{ICT} = & \frac{M}{A_{Du}} \cdot (\eta - 1) - 0,35 \cdot \left[43 - 0,061 \cdot \frac{M}{A_{Du}} \cdot (\eta - 1) - p_a \right] - 0,42 \cdot \left[\frac{M}{A_{Du}} \cdot (\eta - 1) - 50 \right] - \\
 & 0,0023 \cdot \frac{M}{A_{Du}} (44 - p_a) - 0,0014 \cdot \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) - 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4 \right] - \\
 & f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)
 \end{aligned}
 \tag{3.30}$$

O ICT é igual a zero em condições de neutralidade térmica e cresce em valor absoluto a medida que o ambiente se afasta dessas condições.

Fanger considerou que o ICT era uma medida da atuação do sistema termorregulador e portanto que a sensação térmica era função desse índice. Dessa forma ele chamou o valor numérico da escala de sensações térmicas de PMV (Predicted Mean Vote ou Voto Médio Estimado) e estabeleceu a seguinte expressão matemática :

$$PMV = f(ICT, M) \quad (3.31)$$

onde :

ICT Índice de carga térmica.
M Energia do metabolismo.

A relação entre PMV, ICT e M foi encontrada por FANGER (1970) utilizando os resultados de experiências com 1396 pessoas que foram expostas, de forma controlada, a diversas combinações das variáveis ambientais e pessoais de conforto (ROHLES et al., 1966; MCNALL et al., 1967 e FANGER, 1970). Essa relação é mostrada abaixo :

$$PMV = \left[\left(0,352 \cdot e^{-0,042 \cdot \frac{M}{A_{Du}}} \right) + 0,032 \right] \cdot ICT \quad (3.32)$$

Fanger então substituiu a equação 3.30 na 3.32 e obteve a seguinte expressão para o Predicted Mean Vote ou Voto Médio Estimado :

$$PMV = \left[\left(0,352 \cdot e^{-0,042 \cdot \frac{M}{A_{Du}}} \right) + 0,032 \right] \cdot \left\{ \frac{M}{A_{Du}} \cdot (\eta - 1) - 0,35 \cdot \left[43 - 0,061 \cdot \frac{M}{A_{Du}} \cdot (\eta - 1) - p_a \right] - \right. \\ \left. 0,42 \cdot \left[\frac{M}{A_{Du}} \cdot (\eta - 1) - 50 \right] - 0,0023 \cdot \frac{M}{A_{Du}} (44 - p_a) - 0,0014 \cdot \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) - \right. \\ \left. 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4 \right] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (3.33)$$

A equação do voto médio estimado, a exemplo da equação de conforto, é complexa e de difícil manipulação; assim, para aplicação prática, Fanger preparou uma tabela que fornece o voto médio estimado para a combinação de 8 diferentes níveis de atividade, 7 possibilidades de vestimenta, 9 velocidades relativas do ar e 8 temperaturas do ambiente. Uma parte dessa tabela é mostrada na Tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 Parte da tabela dos Votos Médios Estimados de Fanger

Grau de atividade física = 58,2 W/m ²										
Vestimenta clo	Temp. Ambiente °C	Velocidade relativa do ar (m/s)								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0	26	- 1,62	- 1,62	- 1,96	- 2,34					
	27	- 1,00	- 1,00	- 1,36	- 1,69					
	28	- 0,39	- 0,42	- 0,76	- 1,05					
	29	0,21	0,13	- 0,15	- 0,39					
	30	0,80	0,68	0,45	0,26					
	31	1,39	1,25	1,08	0,94					
	32	1,96	1,83	1,71	1,61					
	33	2,50	2,41	2,34	2,29					
0,25	24	- 1,52	- 1,52	- 1,80	- 2,06	- 2,47				
	25	- 1,05	- 1,05	- 1,33	- 1,57	- 1,94	- 2,24	- 2,48		
	26	- 0,58	- 0,61	- 0,87	- 1,08	- 1,41	- 1,67	- 1,89	- 2,66	
	27	- 0,12	- 0,17	- 0,40	- 0,58	- 0,87	- 1,10	- 1,29	- 1,97	- 2,41
	28	0,34	0,27	0,07	- 0,09	- 0,34	- 0,53	- 0,70	- 1,28	- 1,66
	29	0,80	0,71	0,54	0,41	0,20	0,04	- 0,10	- 0,58	- 0,90
	30	1,25	1,15	1,02	0,91	0,74	0,61	0,50	0,11	- 0,14
	31	1,71	1,61	1,51	1,43	1,30	1,20	1,12	0,83	0,63
0,50	23	- 1,10	- 1,10	- 1,33	- 1,51	- 1,78	- 1,99	- 2,16		
	24	- 0,72	- 0,74	- 0,95	- 1,11	- 1,36	- 1,55	- 1,70	- 2,22	
	25	- 0,34	- 0,38	- 0,56	- 0,71	- 0,94	- 1,11	- 1,25	- 1,71	- 1,99
	26	0,04	- 0,01	- 0,18	- 0,31	- 0,51	- 0,66	- 0,79	- 1,19	- 1,44
	27	0,42	0,35	0,20	0,09	- 0,08	- 0,22	- 0,33	- 0,68	- 0,90
	28	0,80	0,72	0,59	0,49	0,34	0,23	0,14	- 0,17	- 0,36
	29	1,17	1,08	0,98	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34	0,19
	30	1,54	1,45	1,37	1,30	1,20	1,13	1,06	0,86	0,73
0,75	21	- 1,11	- 1,11	- 1,30	- 1,44	- 1,66	- 1,82	- 1,95	- 2,36	- 2,60
	22	- 0,79	- 0,81	- 0,98	- 1,11	- 1,31	- 1,46	- 1,58	- 1,95	- 2,17
	23	- 0,47	- 0,50	- 0,66	- 0,78	- 0,96	- 1,09	- 1,20	- 1,55	- 1,75
	24	- 0,15	- 0,19	- 0,33	- 0,44	- 0,61	- 0,73	- 0,83	- 1,14	- 1,33
	25	0,17	0,12	- 0,01	- 0,11	- 0,26	- 0,37	- 0,46	- 0,74	- 0,90
	26	0,49	0,43	0,31	0,23	0,09	0,00	- 0,08	- 0,33	- 0,48
	27	0,81	0,74	0,64	0,56	0,45	0,36	0,29	0,08	- 0,05
	28	1,12	1,05	0,96	0,90	0,80	0,73	0,67	0,48	0,37
1,00	20	- 0,85	- 0,87	- 1,02	- 1,13	- 1,29	- 1,41	- 1,51	- 1,81	- 1,98
	21	- 0,57	- 0,60	- 0,74	- 0,84	- 0,99	- 1,11	- 1,19	- 1,47	- 1,63
	22	- 0,30	- 0,33	- 0,46	- 0,55	- 0,69	- 0,80	- 0,88	- 1,13	- 1,28
	23	- 0,02	- 0,07	- 0,18	- 0,27	- 0,39	- 0,49	- 0,56	- 0,79	- 0,93
	24	0,26	0,20	0,10	0,02	- 0,09	- 0,18	- 0,25	- 0,46	- 0,58
	25	0,53	0,48	0,38	0,31	0,21	0,13	0,07	- 0,12	- 0,23
	26	0,81	0,75	0,66	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22	0,13
	27	1,08	1,02	0,95	0,89	0,81	0,75	0,71	0,56	0,48
1,25	16	- 1,37	- 1,37	- 1,51	- 1,62	- 1,78	- 1,89	- 1,98	- 2,26	- 2,41
	18	- 0,89	- 0,91	- 1,04	- 1,14	- 1,28	- 1,38	- 1,46	- 1,70	- 1,84
	20	- 0,42	- 0,46	- 0,57	- 0,65	- 0,77	- 0,86	- 0,93	- 1,14	- 1,26
	22	0,07	0,02	- 0,07	- 0,14	- 0,25	- 0,32	- 0,38	- 0,56	- 0,66
	24	0,56	0,50	0,43	0,37	0,28	0,22	0,17	0,02	- 0,06
	26	1,04	0,99	0,93	0,88	0,81	0,76	0,72	0,61	0,54
	28	1,53	1,48	1,43	1,40	1,34	1,31	1,28	1,19	1,14
	30	2,01	1,97	1,93	1,91	1,88	1,85	1,83	1,77	1,74
1,50	14	- 1,36	- 1,36	- 1,49	- 1,58	- 1,72	- 1,82	- 1,89	- 2,12	- 2,25
	16	- 0,94	- 0,95	- 1,07	- 1,15	- 1,27	- 1,36	- 1,43	- 1,63	- 1,75
	18	- 0,52	- 0,54	- 0,64	- 0,72	- 0,82	- 0,90	- 0,96	- 1,14	- 1,24
	20	- 0,09	- 0,13	- 0,22	- 0,28	- 0,37	- 0,44	- 0,49	- 0,65	- 0,74
	22	0,35	0,30	0,23	0,18	0,10	0,04	0,00	- 0,14	- 0,21
	24	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,52	0,49	0,37	0,31
	26	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	1,01	0,98	0,89	0,84
	28	1,67	1,62	1,58	1,56	1,52	1,49	1,47	1,40	1,37

Fonte : FANGER (1970), p. 115, modificada.

Fanger também relacionou o voto médio estimado com a porcentagem estimada de insatisfeitos. Essa relação é representada pela curva da Figura 3.4.

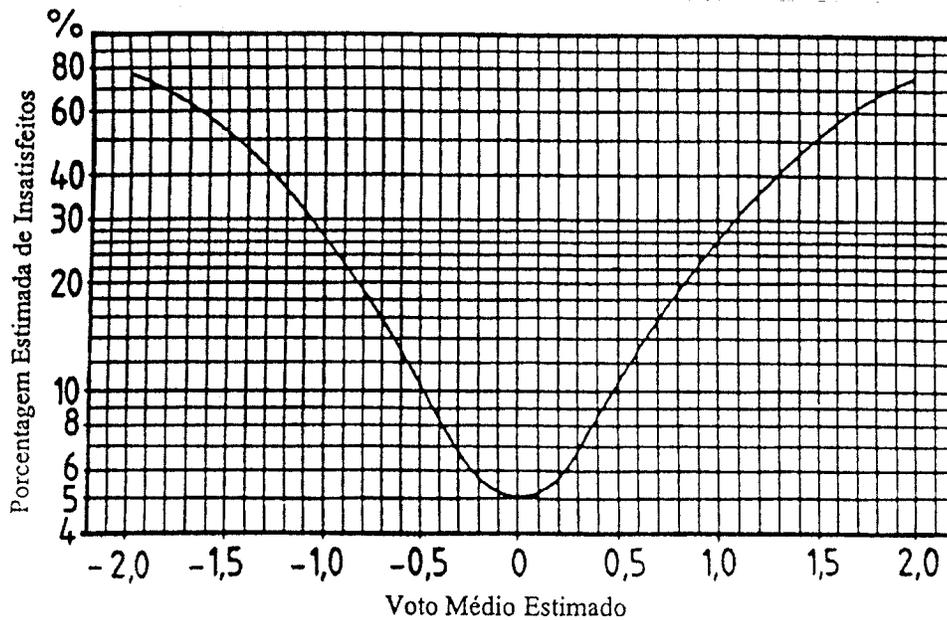


Figura 3.4 Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV.
Fonte : Fanger (1970), p. 131.

A análise da curva da Figura 3.4 permite verificar que:

- É impossível obter num ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente a todos os integrantes de um grande grupo. A condição de neutralidade térmica ($PMV = 0$) corresponde a 5% de insatisfeitos.
- A curva é simétrica em relação ao ponto de $PMV = 0$, significando que sensações equivalentes de calor e de frio (mesmo PMV em valores absolutos), correspondem a igual porcentagem de insatisfeitos.

A pesquisa de ROHLES et al. (1966) foi posteriormente repetida, (ROHLES & NEVINS, 1971), com oitocentos homens e oitocentas mulheres de idades entre 18 e 24 anos.

O método usado nessa pesquisa foi o mesmo da anterior, só que nessa oportunidade foram testadas cento e sessenta condições que resultaram da combinação de vinte temperaturas de bulbo seco, no intervalo de 60°F (15,6°C) a 98°F (36,7°C) com incremento de 2°F (1,1°C), com oito valores de umidade relativa, no intervalo de 15 % a 85 % com incremento de 10 %. A vestimenta padrão utilizada tinha resistência térmica de 0,6 clo (roupa de baixo, calça, camisa manga longa e meia de algodão, sem sapatos).

As conclusões dessa pesquisa foram as seguintes :

1° Para as condições testadas, a distribuição dos votos foi normal.

2° Os homens precisam de aproximadamente uma hora e meia para se adaptarem ao ambiente enquanto as mulheres conseguem isso muito mais rapidamente.

3° Para um determinado ambiente térmico, os homens sentem mais calor que as mulheres durante a primeira hora de exposição e assim, isso deve ser considerado nos ambientes em que a permanência é menor ou igual a uma hora.

4° Existe uma inter-relação linear entre temperatura, umidade e sensação térmica que depende do sexo. A influência da temperatura na sensação térmica dos homens é quase sete vezes maior que a da umidade, enquanto que no caso das mulheres a influência da temperatura na sensação térmica é nove vezes maior que a da umidade.

Em 1971 foi proposta uma nova escala de temperatura efetiva (ET*), (GAGGE, STOLWIJK & NISHI, 1971), baseada num modelo fisiológico da regulação térmica humana o qual tem a superfície molhada da pele, a temperatura interna do corpo e a temperatura média da pele como principais parâmetros associados à sensação térmica. Esse modelo, que considera que a regulação da temperatura corporal é controlada pela temperatura interna do corpo e pela temperatura média da pele, foi chamado de "modelo dos dois nós".

A ET^* corresponde à temperatura uniforme de um ambiente imaginário com umidade relativa de 50% e ar parado, no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação, convecção e evaporação, que no ambiente real, considerando o mesmo teor de superfície molhada e temperatura média da pele.

A ET^* é representada graficamente em função da temperatura do ar, da temperatura radiante média e da umidade. A representação é através de linhas onde o teor de umidade da pele é constante. Essas linhas são numericamente identificadas pelo correspondente valor da temperatura do ar no ponto do seu cruzamento com a linha de umidade relativa de 50 %. Os gráficos são específicos para cada combinação de vestimenta, atividade física e velocidade do ar, tendo em vista que é impossível criar um ábaco universal devido a dependência da ET^* dessas variáveis; a Figura 3.5 exemplifica mostrando, num mesmo gráfico, as linhas de ET^* para duas atividades diferentes.

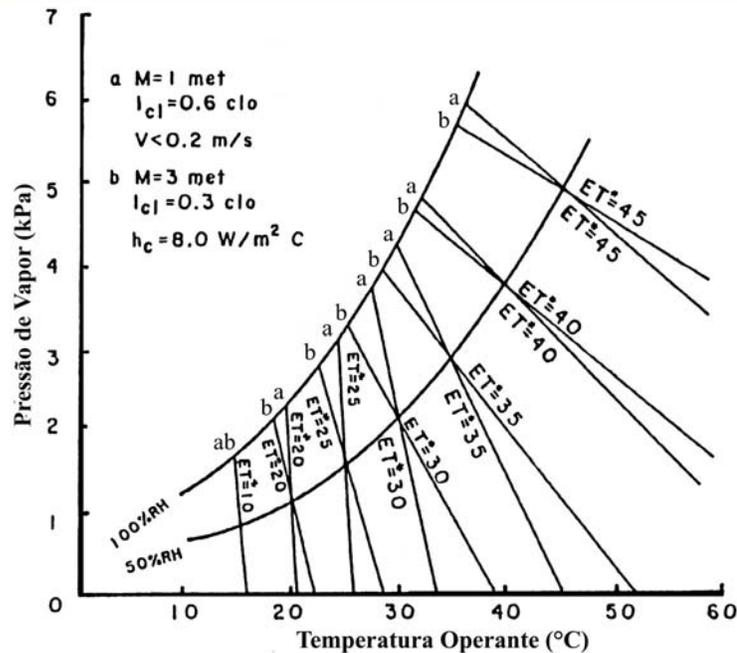


Figura 3.5 Gráfico mostrando as linhas de ET^* para (a) $M = 1$ met e (b) $M = 3$ met.
Fonte: ASHRAE (1997), p.8.19.

As normas ASHRAE 55 (1974, 1981 e 1992) adotaram a ET^* para delimitar o intervalo de conforto.

A obtenção da ET^* para uma determinada condição exige a solução de múltiplas equações que dificultam a sua aplicação prática. Assim condições padrão, representativas de ambientes internos típicos, foram usadas para definir a Temperatura Efetiva Standard (SET) (GAGGE, NISHI & GONZALEZ, 1972).

A SET é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário com ar parado, umidade relativa de 50% e temperatura igual à temperatura radiante média, no qual uma pessoa com vestimenta padrão para aquela atividade, com a mesma temperatura média e teor de superfície molhada da pele, teria a mesma perda de calor que no ambiente real. A atividade é a mesma no ambiente real e no imaginário e a vestimenta é padrão para aquela atividade.

O isolamento térmico da vestimenta padrão é matematicamente relacionado ao metabolismo; assim para atividades com metabolismo de $58,2 \text{ W/m}^2$, $116,4 \text{ W/m}^2$ e 174 W/m^2 corresponderiam, respectivamente, vestimentas padrão com isolamento térmico básico de 0,67 clo, 0,39 clo e 0,26 clo.

O valor de ET^* é igual ao da SET para o caso de atividade sedentária ($M=58,2 \text{ W/m}^2$), vestimenta leve (0,67 clo) e baixa velocidade do ar. Assim, como exemplifica MCINTYRE (1980), uma pessoa sentada, vestindo roupa leve num ambiente com baixa velocidade do ar ($< 0,2 \text{ m/s}$) e temperatura de 24°C está numa SET igual a 24°C . Se essa pessoa tirar a roupa a SET cai para 20°C , porque a temperatura média da sua pele passa a ser igual a de uma pessoa com vestimenta padrão num ambiente com temperatura do ar de 20°C .

A ET^* foi correlacionada à escala de sensações térmicas da ASHRAE, (ROHLES, HAYTER & MILLIKEN, 1975), o que possibilitou construir uma curva para estimar a porcentagem de insatisfeitos em função da ET^* . Essa curva não apresentava a simetria de

insatisfação por calor e por frio encontrada em FANGER (1970); essa diferença foi explicada como reflexo do uso de um intervalo de temperaturas mais amplo que o de Fanger.

Em 1984 o modelo de Fanger, PMV e PPD, foi adotado como base para a norma internacional, ISO 7730 (1984). Essa norma aplica-se a indivíduos sadios e tem como objetivo apresentar um método para prognosticar a sensação térmica e a proporção de pessoas insatisfeitas quando expostas a ambientes térmicos moderados, isto é, aqueles nos quais a combinação das variáveis ambientais e pessoais de conforto resultam num PMV dentro do intervalo de -2 a +2. Ela é indicada para o projeto de ambientes novos, como também na avaliação dos já existentes.

A ISO 7730 (1984) define conforto térmico como o estado de espírito que exprime satisfação com o ambiente térmico e considera que a insatisfação pode ocorrer em razão do aquecimento ou resfriamento do corpo como um todo ou de partes determinadas, o que recebe a designação de desconforto localizado.

O desconforto localizado pode ser causado por altas velocidades do ar, por grandes diferenças entre as temperaturas nas alturas da cabeça e do tornozelo, por grande assimetria de temperatura radiante ou pelo contato com superfícies frias ou quentes. A ISO 7730 (1984) recomenda limites para esses tipos de desconforto nas atividades leves.

Os limites de conforto especificados nessa norma foram baseados na premissa que um ambiente só é confortável se pelo menos 80% dos ocupantes estão satisfeitos.

Na ISO 7730 (1984), o PMV e os intervalos de conforto para o verão e para o inverno são dados em função de um índice térmico chamado de temperatura operante (t_o).

A t_o é definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual uma pessoa trocaria o mesmo calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme. A t_o pode ser calculada pela equação abaixo :

$$t_o = A.t_a + (1-A).t_{rm} \quad (3.34)$$

Sendo:

$$\begin{cases} A = 0,5 \text{ para } v_a < 0,2\text{m/s} ; \\ A = 0,6 \text{ para } 0,2 < v_a < 0,6\text{m/s} ; \\ A = 0,7 \text{ para } 0,7 < v_a < 1,0\text{m/s}. \end{cases}$$

onde :

A Coeficiente;
 t_a Temperatura do ar, (°C);
 t_{rm} Temperatura radiante média, (°C);
 v_a Velocidade do ar, (m/s).

A partir de 1984 várias pesquisas foram feitas para testar o modelo adotado pela ISO 7730 (1984) uma vez que existiam dúvidas quanto à validade dos seus resultados para aplicações de campo e para diferentes regiões climáticas. Isso foi devido ao fato dessa norma ter sido baseada exclusivamente em dados obtidos em laboratório e em regiões climáticas de latitude média.

As experiências de DE DEAR & AULICIEMS(1985) realizadas em seis prédios de escritórios, situados em diferentes regiões climáticas da Austrália, concluíram que a técnica proposta pela ISO não pode ser usada universalmente, uma vez que as temperaturas de neutralidade térmica obtidas foram de 0,5 a 3,2°C inferiores às previstas pelo PMV (Predicted Mean Vote).

É importante ressaltar que a comparação dos resultados das pesquisas de campo com os de laboratório tem que ser realizada com cuidado, tendo em vista as limitações da instrumentação e dos métodos adotados até então nas pesquisas de campo. Os experimentos de campo evoluíram significativamente com o trabalho de SCHILLER et al. (1988), realizado em dez prédios de escritórios, com e sem ar condicionado, em São Francisco durante o inverno de 1987 e o verão seguinte.

A comparação das sensações térmicas obtidas nessa pesquisa com uma estimativa feita através da norma ISO 7730 (1984) foi apresentada em SCHILLER (1990) e BRAGER (1992). A conclusão desses trabalhos foi de que as sensações térmicas são subestimadas de 0,5 a 1,0 unidades pelo PMV, sendo que a maior diferença é observada nas temperaturas inferiores à neutra. A temperatura neutra observada foi 2,4°C inferior à estimada pela ISO e a porcentagem de insatisfeitos correspondente à neutralidade foi de 12% contra os 5% estabelecidos na norma.

De acordo com OLESEN (1993) essas diferenças entre os resultados das pesquisas de campo e a norma ISO 7730 (1984), baseada em dados laboratoriais, deve ser esperada, visto que em campo é difícil estimar com exatidão as variáveis pessoais (vestimenta e atividade física).

Olesen acrescenta também que as pesquisas de campo não incluem no cálculo da resistência térmica das vestimentas o isolamento provocado pelas cadeiras, quando na posição sentado. Considerando que esse isolamento pode representar um adicional de 0,15 clo numa vestimenta de verão de 0,5 clo, então o seu efeito seria equivalente a um aumento de 1,5 °C na temperatura operante.

Olesen também explica que, embora os trabalhos de campo em escritórios tenham adotado uma atividade física entre 1,1 e 1,2 met³, essa atividade varia no tempo e cita WYON (1975) para afirmar que o trabalho mental pode elevar uma atividade sedentária até 1,3 met. Um aumento de 0,1 met na energia do metabolismo de uma pessoa em atividade sedentária e vestindo roupa leve (0,5 clo) tem o mesmo impacto que um aumento de 0,7°C na temperatura operante.

DE DEAR & FOUNTAIN (1994) repetiram a experiência de SCHILLER et al. (1988) em doze edifícios de escritórios com ar condicionado em Townsville, norte tropical da Austrália. O objetivo do experimento foi obter dados em uma outra região climática e compará-los com uma estimativa feita com a norma ISO 7730 (1984) e com os resultados de SCHILLER et al. (1988).

³ met – unidade de taxa de metabolismo. 1 met = 58,2 W/m² ; é igual a energia produzida por unidade de área superficial do corpo de uma pessoa descansando na posição sentada.

DE DEAR & FOUNTAIN (1994) estimaram a energia do metabolismo das atividades de escritório, em média, igual a 1,3 met e consideraram um adicional de 0,15 clo na resistência térmica das vestimentas devido ao isolamento provocado pelas cadeiras. Esse adicional está de acordo com o intervalo de 0,1 a 0,3 clo, encontrado posteriormente por MCCULLOUGH; OLESEN & HONG (1994).

Os resultados dessa experiência apontaram uma temperatura de máxima aceitabilidade 2°C superior à encontrada por SCHILLER (1988) o que mostrou ótima concordância com a temperatura neutra estimada pela norma ISO 7730 (1984), embora essa temperatura encontrada tenha correspondido a 10% de insatisfeitos enquanto a norma relaciona a neutralidade a 5% de descontentes.

DE DEAR & FOUNTAIN (1994) não encontraram diferença nas temperaturas neutras de homens e mulheres, mas verificaram maior frequência de insatisfação com o ambiente por parte das mulheres, o que representa uma pequena diferença nas sensações térmicas. Isso concorda com o trabalho de MODERA (1993) que observou, para condição de neutralidade térmica, a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as respostas fisiológicas de homens e mulheres em relação à atividade. Modera concluiu que, para atividades sedentárias, essa diferença tem pouco significado para a engenharia.

As clássicas experiências em laboratório que formam a base da ISO 7730 (1984) (ROHLES et al., 1966; MCNALL et al., 1967 e FANGER, 1970) foram repetidas em países de climas diferentes, (TANABE , KIMURA & HARA, 1987 ; CHUNG & TONG, 1990 e DE DEAR, LEOW & AMEEN, 1991), sendo que os resultados não apontaram diferenças significativas, $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$, em relação às temperaturas neutras obtidas anteriormente.

As experiências realizadas por ROWE, LAMBERT & WILKE (1995) e por ROWE (1995) em Sydney, região de clima temperado da Austrália, concluíram que a proporção de insatisfeitos é alta quando a temperatura excede 26 °C, limite superior de conforto para o verão,

segundo a norma ISO 7730 (1984). Os experimentos foram feitos em edifícios de escritório, com e sem ar condicionado.

Por outro lado, algumas pesquisas realizadas em regiões de clima tropical (BUSCH, 1992; JAMY, 1995 e KARYONO, 1995) indicaram que as pessoas acostumadas a esses climas são mais tolerantes ao calor que as de clima temperado. Essa conclusão está relacionada aos intervalos de conforto encontrados, que superaram o limite superior para o verão especificado pela ISO 7730 (1984).

TANABE & KIMURA (1994) apresentaram uma revisão dos efeitos da temperatura do ar, da umidade e da velocidade do ar no conforto térmico em climas quentes e úmidos. Esse trabalho foi baseado em experiências laboratoriais japonesas e concluiu que o PMV superestima a sensação térmica quando a velocidade do ar é superior a 0,5m/s e que o PMV não expressa adequadamente a sensação de conforto em condições de umidade alta porque a porcentagem de insatisfeitos é significativamente maior quando a umidade é 80% do que a 40% e 60%.

Em 1994 a norma internacional foi atualizada (ISO 7730, 1994). Essa nova versão especifica que um ambiente é aceitável no que se refere ao conforto térmico se a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto no corpo como um todo for menor que dez por cento ($PPD < 10\%$) e os insatisfeitos devido ao *draught*, desconforto localizado causado pelo ar em velocidade e/ou temperatura inadequadas, forem menos que quinze por cento. Ela cita que devido às diferenças individuais, é impossível estabelecer condições de conforto térmico que satisfaçam a todos num grande grupo.

Essa norma incluiu a limitação da umidade relativa ao intervalo entre 30 e 70% e modificou as recomendações para a velocidade média do ar em atividades sedentárias que passaram a ser dadas por um gráfico que relaciona, para 15% de insatisfeitos, velocidade relativa, temperatura e intensidade de turbulência do ar. Há também uma equação que permite calcular a porcentagem de insatisfeitos devido ao *draught* em função dessas variáveis. Essa equação é

aplicável a pessoas em atividade leve, principalmente sedentária, com sensação térmica, no corpo como um todo, próxima da neutralidade.

A ISO 7730 (1994) traz o modelo matemático que permite calcular o PMV utilizando as variáveis ambientais e pessoais, mas também possui um conjunto de tabelas que possibilita obtê-lo diretamente para diferentes combinações de taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura operante e velocidade relativa do ar.

Assim, medindo-se ou estimando-se essas variáveis num ambiente, consegue-se com a ISO 7730 (1994) prever a sensação térmica de um grupo de pessoas (PMV) e a correspondente Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD) que pode ser calculada ou obtida graficamente através do PMV.

Para a medição das variáveis ambientais é indicada a ISO 7726 (1998) que especifica as características mínimas dos instrumentos e os métodos a serem utilizados, exceto para o caso da velocidade relativa do ar. Essa velocidade é a que efetivamente atua sobre o corpo humano, sendo, portanto, a resultante de duas componentes: uma é a velocidade do ar incidente sobre a pessoa, considerando-a parada, e a outra é em razão do movimento do corpo na realização de uma tarefa, considerando agora o ar parado.

A velocidade relativa do ar pode ser medida com um anemômetro omnidirecional com características especificadas na ISO 7726 (1998) ou calculada. A ISO 7730 (1994) estima que a velocidade relativa do ar (v_{ar}) devido ao movimento do corpo é zero para as atividades sedentárias ($M \leq 1$ met) e $v_{ar} = 0,3 \cdot (M - 1)$ para $M > 1$ met, sendo v_{ar} dada em m/s.

Para a estimativa das variáveis pessoais a ISO 7730 (1994) traz as seguintes tabelas :

Tabela 3.2 Taxas de metabolismo

Atividade	Metabolismo	
	(W/m ²)	(met)
Reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório)	70	1,2
Em pé, atividade leve (compras, laboratório, indústria leve)	93	1,6
Em pé, atividade média (trabalho com máquina, doméstico)	116	2,0
Andando em superfície nivelada		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Fonte: ISO 7730 (1994), p. 6.

Tabela 3.3 Isolamento térmico para peças de roupa.

Peças de roupa	Isolamento térmico clo
Roupa de baixo	
calcinha	0,03
ceroula longa	0,10
camiseta sem manga	0,04
camiseta com manga curta	0,09
camiseta com manga longa	0,12
calcinha e sutiã	0,03
Camisa-blusa	
mangas curtas	0,15
leve, mangas longas	0,20
normal, mangas longas	0,25
camisa de flanela, mangas longas	0,30
blusa leve, mangas longas	0,15
Calça	
leve	0,20
normal	0,25
flanela	0,28
shorts	0,06

Fonte: ISO 7730 (1994), p. 26.

Tabela 3.3 Isolamento térmico para peças de roupa (continuação).

Peças de roupa	Isolamento térmico clo
Vestido-saia	
saia leve (verão)	0,15
saia pesada (inverno)	0,25
vestido leve, mangas curtas	0,20
vestido de inverno, mangas longas	0,40
Sueter	
colete sem manga	0,12
sueter leve	0,20
sueter	0,28
sueter pesado	0,35
Paletó	
leve, paletó de verão	0,25
paletó	0,35
guarda-pó	0,30
Alto isolamento, fibra-pele	
calça	0,35
paletó	0,40
colete	0,20
Roupa para ambientes externos	
casaco	0,60
jaqueta	0,55
casaco com capuz	0,70
macacão, fibra-pele	0,55
Diversas	
meias	0,02
meias grossas, altura do tornozelo	0,05
meias grossas, longas	0,10
meias femininas de nylon	0,03
sapatos (sola fina)	0,02
sapatos (sola grossa)	0,04
botas	0,10
luvas	0,05

ISO 7730 (1994), p. 26.

A taxa de metabolismo de um determinado trabalho é estimada enquadrando-o numa das atividades listadas na Tabela 3.2 ou para o caso de trabalho composto por atividades diferentes, ponderando-se as taxas de cada atividade executada em relação ao tempo por um período de uma hora.

O isolamento térmico de uma vestimenta é estimado somando-se os isolamentos das peças que a compõem extraídos da Tabela 3.3.

Para informações mais detalhadas sobre taxa de metabolismo e isolamento térmico das vestimentas são recomendadas, respectivamente, as normas ISO 8996 (1990) e ISO 9920 (1995).

A ISO 8996 (1990) descreve três métodos para a obtenção da taxa de metabolismo. O primeiro usa tabelas onde o metabolismo é estimado em função da descrição das atividades. O segundo método usa a taxa de batimentos cardíacos, que é registrada durante a execução da atividade e linearmente relacionada à produção de calor metabólico. O terceiro método utiliza o consumo de oxigênio e a produção de gás carbônico durante a atividade para calcular o calor metabólico produzido.

A ISO 9920 (1995) apresenta métodos para estimar as características térmicas das vestimentas (resistência a troca de calor sensível e latente) a partir de valores correspondentes a peças de vestuário conhecidas. Esses valores são listados em tabelas e foram obtidos em câmaras climatizadas com a realização de medições em manequim térmico. A influência do movimento do corpo e da penetração do ar no isolamento térmico e na resistência à troca de calor latente também é tratada nessa norma.

O Voto Médio Estimado (VME) adotado pela ISO 7730 (1994) é um índice de base racional obtido a partir da avaliação, em laboratório (câmaras climatizadas), das trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente e das condições fisiológicas para o conforto térmico.

Alguns pesquisadores discordam da utilização universal desse índice; um exemplo disso é o trabalho de HUMPHREYS & NICOL (1998) que questiona a adoção direta dos resultados obtidos em laboratório nos ambientes reais devido a diferenças de motivação, de expectativa e de contexto social que podem influenciar na aceitabilidade térmica de um ambiente. Eles atribuem a isso o fato de algumas pesquisas de campo terem indicado que as pessoas aceitam como confortáveis ambientes que a ISO 7730 (1994) considera desconfortáveis. Isso para eles é um indicativo que as pessoas adaptam-se aos seus próprios ambientes.

A crença de que as pessoas não são passivas em relação às condições térmicas dos ambientes que ocupam, como sugere a metodologia usada nos experimentos de laboratório, mas

interagem de forma a buscar o conforto térmico, é uma das razões que contribuíram para o surgimento de uma outra “corrente de pesquisa” que tem sido chamada de Adaptativa. A suposição fundamental dessa corrente é expressa por NICOL & HUMPHREYS (2001) pelo seguinte princípio: “Se uma mudança ocorre de forma a produzir o desconforto, as pessoas reagem de maneira a tentar restaurar o conforto”.

A escola Adaptativa considera que a sensação térmica sofre a influência de três diferentes processos de adaptação: o fisiológico, o psicológico e o comportamental.

O ajustamento comportamental refere-se a todas as modificações que uma pessoa pode fazer, consciente ou inconscientemente, de forma a alterar a troca térmica entre o seu corpo e o ambiente. Isso inclui desde modificações de vestimenta, atividade, postura e local de permanência, bem como abertura ou fechamento de janelas e/ou dispositivos para sombreamento, operação de controles de sistemas de ventilação, aquecimento e refrigeração e até ajustamentos culturais como padrões de roupa e programação das atividades conforme o clima (sesta dos mexicanos).

A adaptação fisiológica refere-se a alterações na resposta fisiológica do organismo que atenuam os efeitos causados por determinada condição térmica e são resultantes da exposição continuada a essa condição. Essa adaptação engloba não só as alterações que se tornam parte da herança genética de um grupo de indivíduos, como também a aclimatização que provoca mudanças temporárias.

A adaptação psicológica diz respeito a modificações na percepção e na reação a estímulos sensoriais, função da vivência térmica e da expectativa existente sobre as condições térmicas de um ambiente.

Dessa forma modelos adaptativos tem sido desenvolvidos, com base nos resultados de experimentos de campo (ambientes reais) em que as pessoas desenvolvem as suas atividades cotidianas e vestem as suas próprias roupas. Nesses experimentos o pesquisador não interfere no

ambiente e as pessoas expressam a sensação e preferência térmica em escalas como as da ISO 10551, (1995); concomitantemente são medidas as variáveis ambientais.

HUMPHREYS (1976) apresentou uma revisão de 36 pesquisas de campo realizadas em vários países e encontrou uma dependência estatisticamente significativa entre a temperatura de neutralidade térmica (T_n) e a temperatura interna média das edificações (T_i). A equação de regressão encontrada foi a seguinte:

$$T_n = 2,56 + 0,83 \cdot T_i \quad (3.35)$$

Em 1978, HUMPHREYS (1978) comparou as temperaturas de neutralidade térmica (T_n) encontradas naqueles experimentos com as temperaturas externas médias mensais (T_m) dos locais onde eles foram realizados. A T_m foi calculada como a média aritmética entre a média das mínimas e a média das máximas para um mês. O pesquisador encontrou influência significativa da temperatura externa na temperatura de neutralidade térmica, especialmente nas edificações naturalmente ventiladas. As equações de regressão propostas foram as seguintes:

Edificações naturalmente ventiladas:

$$T_n = 11,9 + 0,534 \cdot T_m \quad (3.36)$$

Edificações com refrigeração ou aquecimento:

$$T_n = 23,9 + 0,295 \cdot (T_m - 22) \cdot \exp(-((T_m - 22)/33,94)^2) \quad (3.37)$$

Posteriormente outras equações foram propostas:

AULICIEMS & DE DEAR (1986) apud NICOL (1995)

$$T_n = 17,6 + 0,31 \cdot T_m \quad (3.38)$$

NICOL (1995)

Edificações naturalmente ventiladas:

$$T_n = 12,1 + 0,534 \cdot T_m \quad (3.39)$$

Edificações com refrigeração ou aquecimento:

$$T_n = 17 + 0,38 \cdot T_m \quad (3.40)$$

HUMPHREYS & NICOL (1995)

Edificações com ou sem refrigeração ou aquecimento

$$T_n = 12,9 + 0,534 \cdot T_m \quad (3.41)$$

NICOL & HUMPHREYS (2001)

Edificações sem refrigeração ou aquecimento

$$T_n = 13,5 + 0,54 \cdot T_m \quad (3.42)$$

Em 1998 foi publicada uma extensa revisão de literatura sobre adaptação térmica no ambiente construído, BRAGER & DE DEAR (1998), que concluiu:

- O processo fisiológico de aclimatização não é relevante para a adaptação térmica nas condições moderadas normalmente encontradas nas edificações, contudo os ajustamentos comportamentais e a expectativa são importantes e devem ser melhor estudados;
- As pessoas reagem diferentemente nos ambientes naturalmente ventilados e nos condicionados. Os ocupantes de edificações naturalmente ventiladas preferem temperaturas que seguem a tendência do clima externo, são menos exigentes (menor expectativa) e mais tolerantes a oscilações na temperatura. Nos prédios com ar condicionado há uma maior expectativa quanto a um ambiente

refrigerado e uniforme e isso torna as pessoas mais sensíveis a condições que se afastem do esperado.

- Análises sugerem que os modelos baseados no balanço térmico do corpo, como o VME, só conseguem contabilizar parcialmente essa diferença de reação quanto ao conforto térmico, porque só permitem considerar os ajustamentos comportamentais, faltando a importante parcela da expectativa.

O mais amplo projeto sobre o desenvolvimento de modelos adaptativos foi o ASHRAE RP 884, realizado por DE DEAR, BRAGER & COOPER (1997) com financiamento da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

O ASHRAE RP 884 realizou um controle de qualidade e padronização nos dados disponíveis de experimentos de campo realizados em diferentes regiões climáticas ao redor do mundo e reuniu uma amostra com cerca de 21000 dados que foram obtidos em 160 edificações situadas em oito países da América, Ásia, Oceania e Europa. Os dados foram separados em função da edificação dispor ou não de sistema de ar condicionado e do período de realização do experimento, verão ou inverno. Os experimentos foram realizados, na sua grande maioria, em prédios de escritório em que eram desenvolvidas atividades sedentárias (metabolismo entre 1,1 e 1,4 met).

Das várias análises realizadas nesse trabalho, os principais resultados relatados pelos autores foram:

- Quanto à temperatura de neutralidade, não houve diferença para prédios com e sem ar condicionado, tendo sido encontrado para o verão 24 °C e para o inverno 22,5 °C, esses valores coincidem com os recomendados pela ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (1992);
- Quanto à estimativa da neutralidade pelo VME, o modelo mostrou-se adequado quando considerada toda a amostra de prédios, erro médio de estimativa menor que 0,5 K quando comparado com o observado, contudo o desvio padrão do erro chegou a 3,8 K, o que indica que o modelo estima adequadamente numa grande

amostra mas pode não ter a mesma resposta para um único prédio. Analisando-se só os edifícios naturalmente ventilados, o erro médio de estimativa foi de 1 K e o desvio padrão 5 K. Os autores consideram que isso mostra a influência de fatores não contabilizados pelo VME como a expectativa e vivência térmica;

- Quanto à sensibilidade térmica, verificou-se que quando se relaciona a sensação térmica com índices simples, como a temperatura operante, obtém-se que os ocupantes de prédios com ar condicionado são duas vezes mais sensíveis a mudanças de temperatura do que as pessoas nos edifícios naturalmente ventilados. Contudo essa sensibilidade diminui quando é usado um índice mais complexo como o VME. Uma interpretação para isso é que nos prédios naturalmente ventilados os ajustamentos comportamentais realizados pelas pessoas (roupa e velocidade do ar), que são contabilizados pelo VME e não pela temperatura operante, permitem acomodar uma maior variação na temperatura interna sem provocar um impacto negativo na sensação térmica;
- Quanto ao efeito do clima na percepção térmica do ambiente, verificou-se que caracterizando o clima como a média diária entre a temperatura externa máxima e mínima (medida na sombra) obtém-se correlação positiva entre essa temperatura e a de neutralidade. Enquanto a correlação existe tanto para prédios com ar condicionado como para os ventilados naturalmente, nesses últimos a neutralidade é duas vezes mais sensível a temperatura externa. Isso é obvio considerando que a temperatura interna está fortemente relacionada com a temperatura externa nas edificações ventiladas naturalmente.
- Quanto à temperatura de preferência, só pode ser obtida de uma parte da amostra tendo ficado para a maioria dos prédios no intervalo entre 21 e 27 °C. A diferença entre a temperatura de neutralidade e a de preferência, denominada pelos autores de discrepância de significado, foi em geral de 0,5 °C. Foi encontrada correlação linear significativa entre a discrepância de significado e a temperatura externa só nos prédios com ar condicionado. A equação para esses prédios mostra que a temperatura de neutralidade e a de preferência coincidem quando a temperatura média externa é de 13,6 °C. Quando a temperatura média externa é menor que 13,6 °C, a temperatura preferida é maior que a neutra e

quando a temperatura média externa é maior que 13,6 °C, a temperatura preferida é menor que a neutra;

- Quanto à dependência da temperatura de neutralidade do clima externo, foram desenvolvidas equações de regressão linear que relacionam a temperatura de neutralidade (T_{nop}), dada na forma de temperatura operante, e o clima externo, representado pela média diária da nova temperatura efetiva externa ($ET^*_{externa}$). O coeficiente da regressão da equação que considera todos os prédios sugere que a temperatura de neutralidade muda 1 K a cada 6 K de mudança na temperatura externa. Já o coeficiente da equação para os prédios sem ar condicionado mostra que a temperatura de neutralidade muda 1 K a cada 4 K de mudança na temperatura externa. O coeficiente para os edifícios com ar condicionado é menos que metade do coeficiente dos prédios sem ar condicionado. As equações de regressão obtidas foram as seguintes:

Para todos os prédios:

$$T_{nop} = 20,9 + 0,16 \cdot ET^*_{externa} \quad (3.43)$$

Para os prédios sem ar condicionado:

$$T_{nop} = 18,9 + 0,255 \cdot ET^*_{externa} \quad (3.44)$$

Para os prédios com ar condicionado:

$$T_{nop} = 21,5 + 0,11 \cdot ET^*_{externa} \quad (3.45)$$

Para os prédios com ar condicionado e considerando a discrepância de significado:

$$T_{nop} = 22,6 + 0,04 \cdot ET^*_{externa} \quad (3.46)$$

- Quanto à comparação dos modelos RP 884 e o VME (“modelos RP 884” foi a denominação dada pelos autores ao modelo adaptativo obtido, equações 3.44 e 3.46 acima): para os prédios com ar condicionado a diferença entre os dois modelos foi de aproximadamente 0,1 K o que levou os autores a afirmar: “O VME teve notável sucesso na estimativa da temperatura de conforto dos edifícios com ar condicionado do banco de dados do RP 884”. Já para os prédios naturalmente ventilados a concordância entre os dois modelos não foi tão boa; a reta de regressão do modelo RP 884 tem quase o dobro de inclinação da reta do VME, havendo coincidência entre as duas com aproximadamente 20 °C de temperatura externa. Isso representa que quando a temperatura externa é 15 °C a estimativa da temperatura de conforto pelo VME é de 23,5 °C enquanto que pelo modelo RP 884 o resultado é 22,7 °C. Quando a temperatura externa é 30 °C a estimativa da temperatura de conforto pelo VME é de 25,2 °C, enquanto que pelo modelo RP 884 o resultado é 26,5 °C.
- Quanto à diferença de precisão do VME nos prédios com e sem ar condicionado, de acordo com os autores essa diferença demonstra que o VME é um modelo parcialmente adaptativo pois embora consiga contabilizar os ajustamentos comportamentais (roupa e velocidade do ar), não conseguiu estimar com exatidão a temperatura de conforto nos prédios naturalmente ventilados o que indica a existência de fatores, que não são físicos, influenciando na sensação das pessoas. Como não há evidência, nem nos experimentos de laboratório nem nos experimentos de campo do RP 884, que a aclimatização possa ser um fator decisivo neste caso, então por eliminação, acredita-se que os fatores psicológicos, expectativa e vivência térmica, sejam os responsáveis por essa diferença entre o estimado pelo VME e o observado nos prédios naturalmente ventilados;
- Quanto aos intervalos de conforto encontrados no RP 884, embora a ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (1992) recomendem para atividade sedentária um intervalo entre 3 e 4 K, obteve-se, para as edificações com ar condicionado e 80% de satisfação, ± 2 K em relação à temperatura de conforto e para 90 %, \pm

1,2 K. Para os prédios sem ar condicionado e 80% de satisfação, encontrou-se $\pm 3,5$ K em relação à temperatura de conforto e para 90 %, $\pm 2,5$ K.

De acordo com BRAGER & DE DEAR (2001), baseando-se nos resultados do projeto RP 884 foi incluída na proposta de revisão da ASHRAE 55 (1992) uma opção adaptativa que foi introduzida na seção 5.3, “Método opcional para a determinação de condições térmicas aceitáveis nos espaços naturalmente condicionados”. Essa seção é aplicável nas seguintes condições:

- Espaços naturalmente condicionados onde as condições térmicas são principalmente reguladas pelos ocupantes através da abertura e fechamento de janelas. As janelas devem ser de fácil acesso e operação;
- Os espaços podem dispor de sistema de aquecimento, mas esse método não se aplica quando esse sistema estiver em operação;
- Os espaços não podem ter sistema mecânico de refrigeração;
- Os espaços podem ter ventilação mecânica, mas a abertura e fechamento de janelas deve ser o principal meio para regular as condições térmicas;
- Os ocupantes do espaço devem realizar atividades próximas a sedentária (de 1 a 1,3 met⁴), e devem ser livres para adaptar a sua roupa às condições internas e/ou externas.

Na proposta de revisão da ASHRAE 55 (1992) foi feita uma modificação na equação de regressão para prédios naturalmente ventilados do RP 884 (equação 3.44), para substituir a ET*externa pela temperatura externa média mensal (Tm), calculada como a média aritmética entre a média das mínimas e a média das máximas para o mês em questão. A equação de regressão resultante é mostrada a seguir e o seu uso limita-se a Tm entre 10 e 33 °C.

$$T_{nop} = 17,8 + 0,31 \cdot T_m \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3.47)$$

⁴ met – unidade de taxa de metabolismo. 1 met = 58,2 W/m² ; é igual a energia produzida por unidade de área superficial do corpo de uma pessoa descansando na posição sentada.

Pelo modelo adaptativo proposto para a ASHRAE 55 o intervalo de conforto para 80% de satisfeitos é de $\pm 3,5$ °C em relação à temperatura de conforto calculada pela equação 3.47 e para 90% de satisfeitos é de $\pm 2,5$ °C.

Os modelos adaptativos propostos recentemente são basicamente equações de regressão que relacionam a temperatura de neutralidade do ambiente a uma única variável que é a temperatura média do ambiente externo e isso restringe o seu uso a condições similares aquelas em que essas equações foram obtidas. Sobre isso FANGER & TOFTUM (2001) dizem “Uma deficiência óbvia do modelo adaptativo é não incluir a vestimenta e a atividade e nem os quatro clássicos parâmetros térmicos que tem um impacto indiscutível sobre o balanço térmico humano e, portanto, sobre a sensação térmica”.

FANGER & TOFTUM (2001) acreditam que o resultado obtido no ASHRAE RP 884, de que o VME superestima a sensação térmica das pessoas acostumadas em climas quentes e em prédios sem ar condicionado, deve-se primeiro ao fato de que essas pessoas têm expectativa diferente daquelas que vivem em climas amenos e/ou costumam freqüentar prédios com ar condicionado e segundo, a existência de uma inconsciente diminuição da atividade física das pessoas que estão sentindo calor que não foi contabilizada nos experimentos do ASHRAE RP 884.

Dessa forma esses autores propõem que um fator de expectativa “e” seja multiplicado ao VME para que essa variável psicológica seja considerada. O fator e proposto varia de 1 a 0,5, o valor 1 é para prédios com ar condicionado. Para os edifícios sem ar condicionado esse fator depende da duração da estação quente e da possibilidade de comparação do ambiente com locais condicionados. Os autores propõem a Tabela 3.4 para orientar na escolha do fator de expectativa e:

Tabela 3.4 Orientação para a escolha do fator de expectativa “e” para correção do VME em climas quentes.

Expectativa	Classificação das edificações	Fator de expectativa e
Alta	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde o ar condicionado é comum. O período de calor é breve e só ocorre durante o verão	0,9 – 1,0
Média	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde existem alguns prédios com ar condicionado. O período de calor ocorre durante o verão	0,7 – 0,9
Baixa	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde existem poucos prédios com ar condicionado. O período de calor ocorre durante todo o ano.	0,5 – 0,7

Fonte: FANGER & TOFTUM, (2001).

De acordo com FANGER & TOFTUM (2001), aplicando-se uma redução na taxa de metabolismo de 6,7 % para cada unidade de VME acima da neutralidade e utilizando-se o fator de expectativa e obtém-se o VME ajustado para expectativa, que apresenta ótima concordância com os resultados observados nos experimentos realizados em prédios não condicionados de climas quentes do ASHRAE RP 884.

3.2.2 Influência do movimento do ar no conforto térmico

O movimento do ar num ambiente interfere no conforto térmico das pessoas devido a sua influência nos processos de troca de calor do corpo com o meio por convecção e por evaporação. Essa influência pode ser benéfica, quando o aumento da velocidade do ar provoca uma desejável aceleração nos processos de perda de calor do corpo, ou prejudicial, quando a perda de calor é indesejável e provoca o resfriamento excessivo do corpo com um todo, ou de uma de suas partes, efeito internacionalmente conhecido como *draught*.

Desde o início dos anos setenta importantes trabalhos têm sido desenvolvidos nos Estados Unidos, Europa e Japão com o objetivo de investigar os efeitos do movimento do ar no conforto térmico. A maioria desses estudos foi realizada em câmaras climatizadas, com enfoque principalmente em atividades sedentárias. Os experimentos foram desenvolvidos com métodos específicos, mas o objetivo comum foi descobrir a sensação térmica das pessoas quando expostas

a diferentes combinações de temperatura e movimento do ar. De uma forma geral o procedimento experimental seguiu a seguinte seqüência: 1º) recepção das pessoas participantes do experimento, com verificação do estado de saúde e orientação quanto ao uso de escala de sensação térmica e/ou escala de preferência térmica, 2º) entrada na câmara climatizada e estabilização numa condição de neutralidade térmica, 3º) período de exposição a uma determinada condição ambiental que é mantida constante por um tempo específico ou sistematicamente alterada pelos pesquisadores ou pelos participantes, 4º) aplicação de questionário relativo à sensação térmica, 5º) fim do experimento ou alteração da condição ambiental (temperatura ou velocidade do ar) e início de nova exposição. As estratégias adotadas no período de exposição foram diferentes: em alguns casos os pesquisadores estabeleciam a temperatura do ar e as pessoas testadas podiam controlar a velocidade para obter o conforto térmico, em outros a velocidade era definida pelos pesquisadores e a temperatura pelas pessoas e no terceiro caso os pesquisadores tinham controle sobre tudo.

Assim, em 1972, na Dinamarca foi realizado um estudo para verificar se o conforto térmico independe de como as variáveis pessoais e ambientais foram combinadas ou se há alguma preferência (OLESEN et al., 1972). Foram testadas 16 combinações de variáveis utilizando: roupas de 0,1 clo e 0,6 clo, atividades de 58 W/m² e 116 W/m², velocidades relativas do ar de 0,1 m/s e 0,8m/s (fluxo aplicado no corpo todo, direção horizontal frontal, turbulência (TU) igual a 2%), temperaturas ambiente reguladas de forma a proporcionar conforto térmico (14,8 °C a 31,1 °C), temperatura radiante média igual ao ambiente e 5° C inferior. As conclusões foram as seguintes: a) na condição de conforto térmico numa determinada atividade, a pessoa tem uma temperatura média da pele e uma perda de calor por evaporação do suor que independe de como as variáveis formam combinadas, b) não há dificuldade para obter o conforto térmico com velocidade do ar de 0,8 m/s (sem turbulência, TU=2%).

Em 1974, também na Dinamarca, foi desenvolvida uma pesquisa para analisar se é possível obter o conforto expondo pessoas a um fluxo de ar uniforme (TU de 2 e 4%) com velocidade de 0,8 m/s e se a temperatura ambiente preferida a uma dada velocidade do ar depende da direção do fluxo de ar (FANGER et al., 1974). Foi utilizada roupa de 0,6 clo, atividade sedentária e fluxos de ar, no corpo todo, aplicados nas seguintes direções: horizontal

frontal, horizontal lateral, horizontal por trás, vertical de baixo e vertical de cima. Concluiu-se que: a) Não há dificuldade em obter o conforto térmico, independente da direção do fluxo, b) As pessoas preferem uma temperatura ambiente que parece ser independente da direção do fluxo (o intervalo preferido foi de 23 a 28 °C), c) A influência quantitativa da velocidade do ar no conforto apresentou excelente concordância com a equação de conforto de Fanger, d) a turbulência do ar mostrou ter influência no conforto porque as pessoas preferiram, com turbulência de 4%, uma temperatura em média 0,7 °C superior àquela escolhida com turbulência de 2%.

Ainda em 1974 foi desenvolvido nos Estados Unidos um importante trabalho (ROHLES et al., 1974) que expôs pessoas em atividade sedentária a nove combinações de temperatura e velocidade do ar, em intervalos de 22,2 a 29,5°C e de 0,2 a 0,8 m/s. O ar foi insuflado uniformemente pelo teto perfurado. Os pesquisadores não observaram o *draught* e encontraram grande inter-relação entre temperatura média da pele, sensação térmica, temperatura e velocidade do ar. Baseados nos resultados encontrados eles recomendaram a ampliação do intervalo de conforto no verão com o aumento da velocidade do ar até 0,8 m/s. Essa recomendação foi posteriormente incorporada na norma ASHRAE 55 (1981).

Em 1978 no Reino Unido foram feitos testes com pessoas em atividade sedentária e vestindo roupa leve ($\approx 0,5$ clo) para verificar se é possível obter conforto em altas temperaturas aumentando-se a velocidade do ar e se há uma temperatura máxima acima da qual o aumento da velocidade do ar não propicia condições satisfatórias (MCINTYRE, 1978). Nos testes, a temperatura da câmara foi estabelecida pelo pesquisador, o intervalo usado foi de 22 a 30°C, e para obter o conforto, a pessoa testada regulava a velocidade de um ventilador de teto que insuflava ar, verticalmente sobre a mesma, através de uma caixa perfurada. Algumas conclusões desse trabalho foram: 1) o movimento do ar sobre uma pessoa é percebido devido o aumento do resfriamento pelo ar e também pela pressão produzida. Esse último efeito, geralmente é indesejável nas atividades sedentárias e isso fez com que as velocidades escolhidas fossem menores que as que produziriam neutralidade térmica. 2) a percepção da intensidade da corrente de ar é proporcional ao quadrado da velocidade; 3) o limite superior da temperatura para conforto

é de 28°C. Acima desse valor a velocidade do ar necessária para diminuir o desconforto é muito perturbadora.

Partindo da suposição de que a intensidade da turbulência do ar influenciava o conforto térmico, foi realizado na Dinamarca um trabalho de campo para identificar as flutuações na velocidade do ar em ambientes típicos ventilados (THORSHAUGE, 1982). Foram analisados doze ambientes com volumes entre 30 e 930 m³ e foram encontradas velocidades médias no intervalo entre 0,05 e 0,5 m/s e intensidades de turbulência entre 20 e 100%. O pesquisador obteve uma relação linear entre a velocidade média e o desvio padrão de velocidades.

Cinco anos mais tarde, nova pesquisa foi realizada para identificar as características da turbulência que ocorrem nas zonas de ocupação de ambientes ventilados típicos da Dinamarca (HANZAWA et al., 1987). Nessa oportunidade foram estudados vinte locais com volumes entre 30 e 850 m³. Os principais resultados foram: 1) velocidades médias entre 0,05 e 0,4 m/s e intensidades de turbulência de 10 a 70% no nível do tornozelo (0,1 m) e de 10 a 60% no nível da cabeça (1,1m), 2) a intensidade da turbulência é função da velocidade média, quando a velocidade média aumenta a intensidade da turbulência diminui, 3) existe uma relação linear entre a velocidade média e o desvio padrão.

A dúvida com relação a aplicabilidade do limite de velocidade de 0,8 m/s estabelecido pela ASHRAE 55 (1981) para ambientes com alta intensidade de turbulência, como a provocada por ventiladores de teto, motivou o estudo de ROHLES et al. (1983). Os testes foram feitos com pessoas em atividade sedentária, vestindo roupa leve (0,5 clo) e compreenderam temperaturas de 24, 26, 28 e 29°C, velocidades de 0,15, 0,25, 0,46 e 1,02 m/s e turbulência entre 30 e 50%. Concluiu-se no estudo que: 1) com ventiladores de teto (alto nível de turbulência) e velocidade média de 1 m/s, o limite de conforto pode ser estendido para 29°C, 2) com ventiladores de teto e alta temperatura é possível obter o mesmo nível de conforto que em temperaturas menores sem ventilação.

O trabalho de JONES et al. (1986) analisou o efeito do movimento do ar no conforto térmico de pessoas em atividade não sedentária. Nos experimentos testaram-se velocidades de

0,21 e 1,2 m/s com vestimentas de 0,6 clo e 1,09 clo. A taxa de metabolismo foi de 133 W/m^2 e a temperatura foi ajustada para cada combinação de vestimenta e velocidade do ar de forma a proporcionar um Voto Médio Estimado (VME) no intervalo entre -1 e $+1$ (intervalo de 10 a 26 °C). As principais conclusões foram: 1) obtém-se similar, senão melhor, nível de conforto na atividade de 133 W/m^2 com a combinação de alta velocidade do ar e alta temperatura do que com baixa velocidade do ar e baixa temperatura para cada tipo de vestimenta, esse resultado indica que o resfriamento suplementar causado pelo aumento da velocidade do ar é desejável tanto sob o aspecto econômico como de conforto, 2) na atividade de 133 W/m^2 as pessoas são mais sensíveis à temperatura do que é estimado pelo VME.

Com o objetivo de estabelecer a base científica necessária para prever a resposta humana à velocidade do ar, com as flutuações encontradas na prática, é que foi realizado o trabalho de FANGER e CHRISTENSEN (1986). Os testes consistiram em submeter pessoas em atividade sedentária a temperaturas de 20, 23 e 26°C e a velocidades do ar no intervalo entre 0,05 e 0,4 m/s. O ar foi insuflado por um difusor horizontal de teto que, posicionado atrás das pessoas, direcionava o fluxo na altura do pescoço. A turbulência ficou entre 30 e 60%. A roupa foi escolhida conforme a temperatura (de 0,58 a 0,91 clo). A cada 5 minutos as pessoas respondiam um questionário sobre a sua sensação térmica, quando expostas a uma condição em que a velocidade do ar era gradualmente aumentada a cada período de 15 minutos. Algumas conclusões desse trabalho foram: 1) a porcentagem de insatisfeitos aumenta com as flutuações da velocidade do ar, 2) a sensibilidade das pessoas ao *draught* faz com que os limites de velocidade do ar estabelecidos nas normas ISO 7730 (1984) e ASHRAE 55 (1981) não sejam adequados pois mesmo abaixo desses limites pode haver até 25% de insatisfeitos. Um resultado desse trabalho foi o desenvolvimento de um gráfico, para atividades sedentárias, que permite estimar a porcentagem de insatisfeitos devido ao *draught* em função da temperatura e velocidade média do ar.

Em 1987, no Japão, foi realizado um estudo para investigar se é possível obter o conforto nas altas temperaturas do verão através do aumento do movimento do ar (TANABE e KIMURA, 1987). As pessoas participantes nos experimentos vestiam roupa leve (0,5 clo) e executavam atividades sedentárias. Nos testes os pesquisadores estabeleciam a temperatura da

câmara, no intervalo de 27 a 31°C, e alteravam aleatoriamente a velocidade do ar até que as pessoas escolhessem a velocidade preferida. O ar foi insuflado horizontalmente, por trás das pessoas, com velocidade que variou entre 0,13 e 1,6 m/s. A intensidade de turbulência ficou entre 30 e 47%. Concluiu-se no estudo que: 1) O VME não prevê adequadamente a sensação térmica com altas velocidades do ar porque não considera a maior perda por evaporação do suor nessas condições; com velocidades superiores a 0,5 m/s a sensação térmica é muito menor que a prevista pelo VME, 2) no intervalo de temperatura avaliado, a velocidade do ar preferida foi no mínimo 1,0 m/s (27°C) e no máximo 1,6 m/s (31°C), a sensação térmica média nessas velocidades foi – 0,5, indicando que as pessoas preferiram ambientes levemente frios.

A investigação da influência da turbulência na sensação de *draught* foi analisada pelo trabalho de FANGER et al. (1988). Nesse estudo, pessoas em atividade sedentária foram expostas a velocidades de ar entre 0,05 e 0,4 m/s e a níveis de turbulência baixa (<12%), média (entre 20% e 35%) e alta (>55%). A temperatura foi mantida em 23°C e o ar foi insuflado por trás das pessoas. As pessoas respondiam um questionário a cada 5 minutos sobre a sua sensação térmica quando expostas a uma condição em que a velocidade do ar era gradualmente aumentada a cada período de 15 minutos. As principais conclusões foram: 1) para uma dada temperatura e velocidade do ar a porcentagem de insatisfeitos é diretamente proporcional à intensidade de turbulência, 2) para uma dada porcentagem de insatisfeitos uma velocidade média do ar significativamente maior pode ser utilizada se a turbulência for baixa, 3) o fenômeno *draught* é uma particularidade das atividades sedentárias. Um resultado desse trabalho foi o desenvolvimento de um modelo matemático para prever a porcentagem de insatisfeitos devido a *draught* em função da temperatura do ar, da velocidade do ar e da intensidade da turbulência. Esse modelo foi adotado posteriormente pela ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (1992).

Visando determinar o limite superior de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido capaz de produzir conforto com o movimento do ar produzido por ventilador de teto é que foi realizado o trabalho de SCHEATZLE et al. (1989). Os experimentos repetiram o método usado por ROHLES et al. (1983), só que desta vez aplicou-se as mesmas velocidades médias do ar (entre 0,15 e 1,02 m/s com TU \approx 33%) a sete combinações de temperatura (de 25,5 a 35°C) e umidade relativa (de 24 a 73%). Os resultados com velocidade do ar de 1,02 m/s confirmaram os

obtidos por ROHLES et al. (1983), que propuseram um limite superior ao estabelecido na norma ASHRAE 55, (1981). Para condições de alta umidade (UR =73%) e velocidade do ar de 1,02 m/s a temperatura máxima em que se conseguiu conforto térmico foi 28°C.

FOUNTAIN et al. (1994) desenvolveram testes para verificar a velocidade do ar preferida por pessoas em atividade sedentária e vestindo roupa leve (0,5 clo), quando expostas a temperaturas de 25, 26, 27 e 28°C. As pessoas podiam controlar a velocidade do ar, que foi insuflado de três formas diferentes: através de difusor no piso, por difusor montado numa mesa e com ventilador de mesa; a turbulência ficou entre 30 e 60 %. As principais conclusões do trabalho foram: 1) o modelo da porcentagem de insatisfeitos devido a *draught*, da ASHRAE 55 (1992) não prevê adequadamente o limite superior de velocidade do ar preferido pelas pessoas, 2) o intervalo das velocidades do ar preferidas pelas pessoas aumenta com a temperatura; 3) foi proposto um modelo que prevê a porcentagem de satisfeitos em função da temperatura e velocidade do ar em ambientes quentes. Esse modelo é aplicável quando as pessoas podem controlar a velocidade do ar.

O trabalho de TOFTUM (1994) foi realizado para verificar a aplicabilidade do modelo de *draught* proposto pela ISO 7730 (1994) para atividades não sedentárias (trabalhos manuais) em ambientes moderadamente frios. Para isso ele expôs dez pessoas, (homens, idade média 23 anos) que executavam atividades com taxas de metabolismo de 58, 104 e 129 W/m², a temperaturas entre 11 e 20 °C, velocidades do ar entre 0,1 e 0,4 m/s e turbulência entre 10 e 40%. O isolamento térmico da vestimenta ficou entre 0,5 clo (20°C) e 1,3 clo (11°C). O resultado do trabalho demonstrou que o modelo subestima a sensação de *draught* e por isso, o autor propôs uma modificação no modelo para adequá-lo à utilização em atividades não sedentárias. O modelo proposto por TOFTUM (1994) é o seguinte:

$$PD = (t_{sk} - t_a)(v_a - 0,05)^{0,6223} (3,143 + 0,37 \cdot v_a \cdot Tu) [1 - 0,013 \cdot (M - W - 70)] \quad (3.48)$$

$$t_{sk} = 32,3 + 0,079 \cdot t_a - 0,019 \cdot (M - W) \quad (3.49)$$

onde:

- PD Porcentagem de insatisfeitos devido o draught, (%);
- t_{sk} Temperatura média da pele, ($^{\circ}\text{C}$);
- t_a Temperatura do ar, ($^{\circ}\text{C}$)
- v_a Velocidade média do ar, (m/s);
- Tu Turbulência, (%);
- M Taxa de metabolismo, (W/m^2);
- W Trabalho mecânico realizado, (W/m^2).

Em 2001 foi publicada uma pesquisa (GRIEFAHN et al., 2001) que objetivou verificar se o modelo de *draught* proposto pela ISO 7730 (1994) para atividades sedentárias e o de TOFTUM (1994) (modelo ISO 7730 modificado) para atividades não sedentárias estimam adequadamente a porcentagem de insatisfeitos quando aplicado a taxas de metabolismo entre 58 e 157 W/m^2 no intervalo de temperaturas entre 11 e 23 $^{\circ}\text{C}$, de velocidades do ar entre 0,1 e 0,4 m/s e de turbulência $< 30\%$, $\approx 50\%$, $> 70\%$. Dos experimentos participaram 107 pessoas (33 mulheres e 74 homens idades entre 18 e 51 anos) que se vestiram para obter o conforto térmico (de 0,4 a 1,5 clo, sempre com os braços descobertos). As taxas de metabolismo mais altas foram obtidas com as pessoas em pé e operando um equipamento ergométrico de braço. Foram feitos testes com o ar sendo aplicado de diferentes direções: horizontal, vertical e diagonal. A velocidade relativa do ar devido à operação do equipamento ergométrico não foi considerada. As pessoas foram expostas a uma condição ambiental por 60 minutos e preencheram um questionário a cada 5 minutos sobre a sensação térmica do corpo como um todo e sobre partes específicas. A avaliação da porcentagem de insatisfeitos foi feita utilizando o último questionário, para garantir que a estabilidade de sensação fora alcançada. Os resultados dos teste realizados com atividade sedentária mostraram que o modelo da ISO 7730 (1994) subestima a sensação de *draught* para velocidades até 0,3 m/s e superestima para velocidade de 0,4 m/s. Os autores afirmam que a sensação de *draught* é subestimada devido ao fato de que nos experimentos de FANGER et al. (1988), base do modelo da ISO 7730 (1994), a velocidade média do ar foi aumentada a cada 15 minutos, não permitindo que a estabilidade fosse alcançada. Comparando-se agora os resultados obtidos com o modelo TOFTUM (1994), verificou-se que o modelo forneceu uma boa estimativa para os testes com taxa de metabolismo $< 70 \text{ W}/\text{m}^2$, mas subestimou a sensação de *draught* para taxas de metabolismo maiores. Houve contudo,

comparando-se todos os resultados, uma relação linear entre o estimado e o observado, o que fez com que autores realizassem uma correção na equação de Toftum para melhor adequá-la às estimativas nos intervalos testados. O modelo proposto por GRIEFAHN et al. (2001) foi o seguinte:

$$PD = (t_{sk} - t_a)(v_a - 0,05)^{0,6223} (3,143 + 0,37 \cdot v_a \cdot Tu) [1 - 0,061 \cdot (M - W - 70)] \quad (3.50)$$

onde:

- PD Porcentagem de insatisfeitos devido o draught, (%);
- t_{sk} Temperatura média da pele, (°C);
- t_a Temperatura do ar, (°C);
- v_a Velocidade média do ar, (m/s);
- Tu Turbulência, (%);
- M Taxa de metabolismo, (W/m²);
- W Trabalho mecânico realizado, (W/m²).

Conclusões sobre a influência do movimento do ar no conforto térmico

Existe uma carência de estudos sobre o efeito do movimento do ar em pessoas desenvolvendo atividades não sedentárias com temperaturas superiores a 21 °C. Essas atividades abrangem a maioria do trabalho industrial e o único trabalho encontrado com essa característica (JONES et al., 1986) concluiu que obtém-se similar, senão maior, nível de conforto com a combinação de alta velocidade do ar e alta temperatura do que com baixa velocidade do ar e baixa temperatura e que na atividade de 133 W/m² as pessoas são mais sensíveis à temperatura do que é estimado pelo VME.

Alguns resultados especialmente interessantes para o caso de ambientes não condicionados foram os dos trabalhos de ROHLES et al. (1983), TANABE e KIMURA (1987) e SCHEATZLE et al. (1989), que testaram, para atividades sedentárias, temperaturas superiores ao intervalo de conforto de verão e condições de intensidade de turbulência do ar semelhantes às normalmente encontradas nos ambientes ventilados, e concluíram que velocidades da ordem de 0,8 m/s ou maiores podem ser adotadas para compensar temperaturas superiores a 26 °C, como adotado pela ASHRAE 55 (1992).

Com relação a sensação de *draught* nas atividades sedentárias, os trabalhos de FANGER e CHRISTENSEN (1986) e FANGER et al. (1988) demonstraram que para uma determinada combinação de temperatura e velocidade do ar, a porcentagem de insatisfeitos é diretamente proporcional à intensidade de turbulência. Quanto ao gráfico recomendado pela ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (1992) para evitar o *draught*, os trabalhos de FOUNTAIN et al. (1994) e de GRIEFAHN et al. (2001) contestam a exatidão dos resultados fornecidos por ele afirmando que o modelo utilizado superestima a sensação de *draught* para velocidades iguais ou superiores a 0,4 m/s. Um resultado interessante dos trabalhos de TOFTUM (1994) e de GRIEFAHN et al. (2001), relativo às atividades não sedentárias, foi que embora a porcentagem de insatisfeitos devido à sensação de *draught* diminua com o aumento da taxa de metabolismo, esse desconforto pode ocorrer nessas atividades. Esses autores propõem diferentes alterações no modelo recomendado pela ISO 7730 (1994) para adequá-lo à estimativa dos insatisfeitos devido ao *draught* em atividades não sedentárias.

3.2.3 Situação no Brasil

No Brasil as pesquisas de XAVIER (2000), GONÇALVES (2000), HACKENBERG (2000), XAVIER (1999), RUAS (1999), ARAÚJO (1996), RIBEIRO (1945), SÁ (1936) e SÁ, (1934) foram as únicas encontradas sobre índices para avaliação de conforto térmico.

Os trabalhos de SÁ (1934 e 1936) foram realizados no Instituto de Tecnologia do Rio de Janeiro, com 13 alunos de idades entre 14 e 17 anos, e objetivaram verificar se as sensações térmicas dos brasileiros são equivalentes as dos americanos dadas pelo índice das temperaturas efetivas. A conclusão dos trabalhos foi de que a temperatura efetiva não é aplicável aos brasileiros porque a mesma sensação de neutralidade térmica, obtida de diferentes combinações de umidade relativa, temperatura e velocidade do ar, corresponde a diferentes temperaturas efetivas o que contraria a definição do índice.

A pesquisa de RIBEIRO (1945) foi desenvolvida no Instituto de Higiene de São Paulo, com 47 alunas de idades entre 18 e 29 anos, e visou verificar a correlação entre a sensação térmica dos brasileiros e os índices da catatermometria e o das temperaturas efetivas. O índice da catatermometria relacionava o conforto térmico com a capacidade do ambiente em resfriar o corpo humano e isso era medido com catatermômetros, seco e úmido. O catatermômetro é um termômetro a álcool com um bulbo grande na extremidade inferior e um pequeno na extremidade superior. Esse termômetro possuía uma marca superior em 38 °C e outra inferior em 35 °C. A medição era feita aquecendo-se o bulbo inferior, em água quente, até que o álcool atingisse o bulbo superior, após isso o instrumento era pendurado no ambiente e cronometrava-se o tempo gasto para a coluna descer da marca superior até a inferior. Os valores obtidos nos catatermômetros seco e úmido eram usados em ábacos que forneciam o índice do cata seco e do cata úmido que representavam a capacidade de resfriamento do ambiente.

Na pesquisa de Ribeiro a temperatura do ar variou entre 19 e 24°C, a umidade relativa entre 50 e 81% e a temperatura de neutralidade encontrada foi de 21 °C. A correlação da sensação térmica média encontrada com os índices, mostrou melhor resultado para o cata seco (-0,94) enquanto que o valor para temperatura efetiva foi + 0,85.

A análise das experiências de SÁ e de RIBEIRO mostra que, a despeito das dificuldades existentes para obtenção de informações no período de 1934 a 1945, o conhecimento sobre avaliação de conforto térmico no Brasil estava atualizado.

A pesquisa de ARAÚJO (1996) foi desenvolvida em edificações escolares de Natal/RN com a participação de 933 alunos de 2º e 3º graus; as pessoas tinham idade principalmente entre 15 e 18 anos (87%). A amostra era composta por 50,9 % de homens e 49,1 % de mulheres. As edificações não dispunham de sistemas de condicionamento do ar e as variáveis ambientais estiveram dentro dos seguintes intervalos: temperatura do ar de 24,1 a 31,2 °C, temperatura de globo de 24,2 a 31,6 °C, umidade relativa de 55 a 93% e velocidade do ar de 0,01 a 1,6 m/s. O objetivo do trabalho foi determinar os parâmetros das variáveis ambientais que propiciam o conforto térmico a esses alunos, bem como, compará-los com os intervalos de conforto propostos por OLGYAY, por GIVONI e pelos índices de Temperatura Efetiva, Temperatura Efetiva Padrão e Votos Médios Estimados. A sensação térmica das pessoas foi medida numa escala de cinco pontos (muito quente, quente, conforto, frio, muito frio) e os parâmetros de conforto foram obtidos analisando-se independentemente o comportamento do grau de satisfação das pessoas em função de cada variável ambiental. A autora definiu os intervalos de conforto como parâmetros limítrofes entre as sensações de conforto e as sensações de quente e frio. Os intervalos encontrados foram os seguintes: temperatura de bulbo seco entre 25,1 e 28,1°C, temperatura de globo entre 25,3 e 28,5°C, umidade relativa entre 69 e 92% e velocidade do ar entre 0,12 e 0,83 m/s.

O trabalho de RUAS (1999b) explica o método para avaliar o conforto térmico estabelecido na norma ISO 7730 (1994), efetua um relato sucinto sobre as normas por ela referenciadas e analisa, teoricamente, a aplicação prática dessas normas, discutindo os erros provenientes das estimativas da taxa de metabolismo e do isolamento térmico das vestimentas e a sua influência na avaliação do conforto térmico. Esse trabalho conclui que, tendo em vista a grande influência da taxa de metabolismo e do isolamento térmico das vestimentas no conforto térmico, o uso das tabelas da ISO 7730 (1994), ISO 8996 (1990) e ISO 9920 (1995) para a sua estimativa pode sujeitar o processo a erros consideráveis, resultando numa previsão irreal da sensação térmica. Esses erros devem-se ao fato de que a escolha de valores tabelados dificulta a consideração de diferenças individuais, de equipamentos utilizados, de técnica e ritmo de trabalho. Além do mais, a subjetividade inerente ao processo faz com que as diferenças entre os observadores, relativas principalmente ao nível de treinamento, influenciem nas avaliações.

O estudo de XAVIER (1999) foi realizado nas salas de aula da Escola Técnica Federal de Santa Catarina e com a participação de 573 alunos desempenhando atividade exclusivamente escolar ($M = 70W/m^2$). O experimento foi desenvolvido durante os meses de abril a julho e a temperatura operante observada variou dentro do intervalo de 18,9 a 27,4°C. A conclusão da pesquisa foi que, embora a temperatura de neutralidade térmica⁵ encontrada (23,24°C) esteja bem próxima daquela estimada através da ISO 7730 (23,61°C), a porcentagem de insatisfeitos correspondente (19,96%) é superior ao previsto pela norma (5%).

HACKENBERG (2000) desenvolveu pesquisa em ambientes industriais, condicionados, com ventilação forçada e com ventilação natural, visando avaliar a sensação térmica dos trabalhadores em edificações com características construtivas diferentes e situadas em regiões climáticas também diferentes (Joinville-SC e Campinas-SP). O trabalho também objetivou verificar a influência das variáveis ambientais e pessoais nas respostas dos trabalhadores e a aplicabilidade dos questionários da ISO 10551 em cultura diferente da que lhe deu origem.

HACKENBERG colheu dados no verão e no inverno e usou o método de avaliação de conforto térmico da ISO 7730 (1994). As variáveis ambientais foram medidas de acordo com a ISO 7726 (1998), as variáveis pessoais foram estimadas através das normas ISO 8996 (1990) e ISO 9920 (1995) e a pesquisa de opinião dos trabalhadores foi de acordo com a ISO 10551 (1995). A amostra foi de 2080 trabalhadores.

Na pesquisa de inverno as temperaturas externas variaram de 6,9 a 26,4°C e os resultados foram os seguintes:

Nos ambientes condicionados foram encontradas sensações de conforto a leve desconforto e a temperatura do ar mostrou ter forte influência na satisfação (temperatura interna entre 19,5 e 27,6 °C). Nos ambientes com ventilação forçada foram encontradas sensações de conforto a desconforto moderado e a satisfação foi influenciada pela velocidade do ar e resistência térmica da vestimenta (temperatura interna entre 16,8 e 29,6 °C). Nos ambientes com ventilação natural foram encontradas sensações de conforto a desconforto moderado e a

⁵ Temperatura de neutralidade térmica é aquela correspondente à mínima porcentagem de insatisfeitos.

satisfação foi influenciada em todos ambientes pela resistência térmica da vestimenta e em alguns pela atividade, temperatura e umidade relativa (temperatura interna entre 18,5 e 27,6 °C).

Na pesquisa de verão as temperaturas externas variaram de 18 a 35°C e os resultados foram os seguintes:

Nos ambientes condicionados foram encontradas sensações de conforto a desconforto moderado e a satisfação foi influenciada pela atividade e resistência térmica da vestimenta (temperatura interna entre 19,6 e 27,3 °C). Nos ambientes com ventilação forçada foram encontradas sensações de desconforto e diferentes fatores influenciaram na insatisfação (temperatura interna entre 27,8 e 36,6 °C). Numa empresa no período da manhã a maior influência foi da baixa velocidade do ar, seguida da resistência térmica da vestimenta e à tarde a maior influência foi da atividade, seguida da velocidade do ar e resistência térmica da vestimenta. Numa outra empresa destacou-se a alta temperatura do ar, seguida pela resistência térmica da vestimenta, umidade relativa e atividade. Nos ambientes com ventilação natural foram encontradas sensações de grande desconforto e em alguns casos, à tarde, stress térmico. A insatisfação foi influenciada principalmente pela atividade e nos períodos mais críticos, pela baixa velocidade do ar e resistência térmica das vestimentas (temperatura interna entre 23,7 e 37,5 °C)

GONÇALVES (2000) objetivou comparar os intervalos de conforto térmico encontrados na literatura com os obtidos em pesquisa de campo com população universitária da região metropolitana de Belo Horizonte. Os dados foram colhidos no período de março a outubro de 1999, em salas de aula, e houve a participação de 570 pessoas. As medições das variáveis ambientais foram realizadas depois de pelo menos 1 hora de permanência das pessoas na sala e as variáveis pessoais foram estimadas, por tabelas, de acordo com informações obtidas em questionário. Esse questionário continha também questões sobre a sensação térmica, sobre a satisfação com o ambiente, sobre a aceitação e possibilidade de estudo no local.

Os resultados obtidos pelo autor foram os seguintes:

	<u>Valor ótimo</u>	<u>Intervalo de conforto</u>
Temperatura operante	23,1 °C	21,1 a 24,9 °C
Temperatura bulbo seco	22,7 °C	20,8 a 24,7 °C
Temperatura bulbo úmido	16,7°C	14,8 a 19,4°C
Temperatura de globo	21,3°C	21,3 a 25,1°C
Umidade relativa	67%	64 a 93%
Velocidade do ar	1 m/s	0,4 a 1,7 m/s

GONÇALVES conclui que o modelo proposto por Fanger é aplicável para a população estudada embora a porcentagem de insatisfeitos encontrada para condição de neutralidade ($\approx 27\%$) seja bem superior aos 5 % obtido por Fanger para essa condição.

A pesquisa de XAVIER (2000) visou desenvolver algoritmo analítico para a determinação da sensação de conforto térmico, a partir de dados oriundos de estudos de campo e dos mecanismos de troca de calor entre o homem e o ambiente. O trabalho também verificou a influência dos mecanismos físicos de troca de calor na sensação de conforto térmico, bem como analisou a zona de conforto para pessoas em atividade sedentária. Os experimentos foram realizados em Florianópolis-SC, Brasília-DF e Recife-PE, analisando pessoas de ambos os sexos desempenhando atividades sedentárias em ambientes condicionados e não condicionados de escritórios e salas de aula. A amostra compreendeu 279 conjuntos de medições ambientais, 3521 conjuntos de dados pessoais e 841 conjuntos de variáveis individuais. As variáveis ambientais foram medidas de acordo com ISO 7726 (1998), as variáveis pessoais foram estimadas através da ISO 7730 (1994) e ASHRAE (1977a) e a pesquisa de opinião dos trabalhadores foi feita de acordo com ISO 10551 (1995). Foi realizada medição indireta da taxa de metabolismo através do consumo de oxigênio em 30 pessoas conforme ISO 8996 (1990) e os dados usados para desenvolver um algoritmo para estimativa da taxa de metabolismo em função da idade e massa corporal. Segundo o autor esse algoritmo é válido para pessoas com idade entre 18 e 50 anos e massa corporal entre 50 e 90 kg, desenvolvendo atividades sedentárias.

XAVIER encontrou uma clara similaridade de tendência entre o PMV e as sensações relatadas, quando a taxa metabólica é determinada em função das características individuais; porém as pessoas são mais sensíveis do que prevê o PMV pois tanto as sensações de calor como as de frio foram mais intensas do que o previsto pelo PMV. Foi feita uma análise de regressão

múltipla entre as sensações relatadas e os mecanismos físicos de troca de calor que resultou numa expressão para estimar a sensação térmica de pessoas em atividade sedentária.

XAVIER fez também uma análise causal que considerou como variável efeito a sensação térmica e como variáveis causa os mecanismos de troca de calor e a taxa de metabolismo. Isso mostrou que mais de 60% dos efeitos sobre a sensação térmica são ocasionados pela inter-relação entre os processos de troca de calor, 30% por efeito direto desses processos e 10% devido a outras causas. O autor conclui que isso demonstra a importância de se considerar a ação integrada dos processos de troca de calor nas pesquisas de conforto térmico.

Com relação a porcentagem de pessoas insatisfeitas, XAVIER optou por considerar que estão confortáveis aqueles que votaram no intervalo entre +1 e -1, sendo que, daqueles que escolheram +1 ou -1, só 50% foram considerados confortáveis. Partindo dessa premissa, o autor criou um algoritmo para a estimativa da porcentagem de insatisfeitos através do qual se obtém para a situação de plena satisfação, 25% de insatisfeitos enquanto que a mesma situação para ISO 7730 (1994) corresponde a 5% de insatisfeitos. Sobre a temperatura interna de conforto para atividades sedentárias o autor recomenda 22° C e a faixa aceitável entre 20° C e 24° C.

Da literatura nacional que trata da avaliação de conforto térmico, RUAS (1999a) FROTA & SCHIFFER (1995); MACINTYRE (1990); MESQUITA, GUIMARÃES & NEFUSSI (1985); JABARDO (1984), GUIMARÃES & NEFUSSI (1979) e SILVA (1979), a única atualizada é RUAS que apresenta conceitos sobre o conforto térmico e explica o método dos Votos Médios Estimados que é a base da ISO 7730 (1994).

Quanto à normalização, o Brasil não dispõe de especificação de método para avaliar a sensação térmica das pessoas e a única norma relacionada ao assunto é a NBR 6401 (1980), que estabelece parâmetros para o projeto de instalações de ar condicionado para conforto. Nela estão especificados intervalos de temperatura do ambiente e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividade sedentária. Embora a norma não faça referência quanto à influência da temperatura radiante média, da velocidade do ar, da vestimenta e da atividade física no conforto,

os intervalos recomendados para atividades sedentárias não estão em desacordo com a ISO 7730 (1994), como pode ser visto na Tabela 3.5:

Tabela 3.5 Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária recomendados pela NBR 6401 (1980) e ISO 7730 (1994).

	NBR 6401(1980)		ISO 7730 (1994)	
	⁽¹⁾ t_{bs} (°C)	⁽²⁾ UR (%)	⁽³⁾ t_o (°C)	⁽²⁾ UR (%)
Verão	23 a 25	40 a 60	23 a 26	30 a 70
Inverno	20 a 22	35 a 65	20 a 24	30 a 70

(1) t_{bs} = temperatura de bulbo seco

(2) UR = umidade relativa

(3) t_o = temperatura operante

No que se refere à legislação, o Brasil possui a lei federal nº 6514 de 22 de dezembro de 1977 que no seu artigo 178 estabelece “As condições de conforto térmico dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro dos limites fixados pelo Ministério do Trabalho”, contudo a legislação elaborada pelo Ministério do Trabalho, BRASIL (1978), ainda não definiu de forma clara e abrangente esses limites, restringindo-se a estabelecer, na Norma Regulamentadora 15, limites de tolerância para exposição ao calor. Esses limites procuram evitar a condição extrema que é a de sobrecarga térmica e assim estão muito distantes da condição desejável que é a de conforto térmico. A única menção a condições de conforto térmico é feita na Norma Regulamentadora 17 que usa o índice das temperaturas efetivas para estabelecer o intervalo de conforto para atividades sedentárias. O índice das temperaturas efetivas foi desenvolvido em 1923, YAGLOU & HOUGHTEN (1923), e desde 1947 não há dúvida quanto a sua imprecisão ao estimar a sensação térmica, YAGLOU (1947).

3.3 Conforto térmico e produtividade

O homem é um sistema termodinâmico aberto que produz calor internamente e interage continuamente com o meio para manter a sua temperatura interna dentro de um restrito intervalo. É também um ser racional que busca a satisfação das suas necessidades e expectativas. A associação dessas duas idéias permite concluir que as condições ambientais que proporcionam o conforto térmico são também condições que favorecem a obtenção da sua maior produtividade.

Estabelecer uma inter-relação entre o conforto térmico e a produtividade é uma tarefa complexa pois ambos dependem de vários fatores que quando combinados não necessariamente geram o mesmo efeito em pessoas diferentes. Um outro complicador é que para identificar essa relação é preciso controlar esses fatores e definir critérios objetivos de medida do desempenho humano, característicos do tipo de atividade desenvolvida.

NASA (1968) apresenta graficamente os resultados de catorze experimentos, desenvolvidos por diferentes pesquisadores, que mostram o tempo de exposição ao calor necessário para causar decréscimo na performance de militares quando da realização de tarefas que exigem esforço mental. Os participantes foram artificialmente aclimatizados e solicitados a realizar diferentes tarefas. As condições térmicas dos testes foram caracterizadas pelo índice das temperaturas efetivas⁶ (ET). Os resultados apresentados no gráfico indicam que esse tempo depende do tipo de tarefa e é tanto menor quanto maior for a temperatura. Foram identificados decréscimos na performance a partir da temperatura efetiva de 35 °C e uma hora de exposição, a partir da temperatura efetiva de 32 °C e duas horas de exposição e a partir da temperatura efetiva de 30 °C e três horas de exposição.

GOLDMAN (1994) também apresentou um gráfico com resultados de trinta e três experimentos, realizados por diferentes pesquisadores, que analisaram a influência das condições térmicas do ambiente no decréscimo da performance de pessoas mentalmente solicitadas. Foram utilizadas tarefas que exigiam: solução de problemas, tempo de reação, inteligência, atenção, tomada de decisão e habilidades psicomotoras, com rotinas matemáticas de computadores e telegrafia. As condições térmicas dos testes foram caracterizadas pelo índice das temperaturas

efetivas (ET). Embora a análise comparativa dos resultados seja difícil porque não houve uniformidade entre os experimentos com relação aos testes aplicados nem com relação às pessoas testadas (treinamento, educação, habilidade inata, etc), pode-se verificar que na temperatura efetiva de 32 °C houve maior concentração dos decréscimos de performance estatisticamente confiáveis.

WOODS et al. (1981) desenvolveram uma pesquisa numa lavanderia de hospital para verificar a inter-relação entre o ambiente térmico e a produtividade de trabalhadores em atividade moderada (2 met). O local dispunha de sistema de aquecimento para o inverno e de resfriamento para o verão. Participaram do experimento 11 trabalhadores (9 mulheres). A roupa utilizada pelos empregados tinha isolamento térmico de aproximadamente 0,3 clo. A medida de produtividade consistiu no tempo médio gasto para a execução das tarefas. Foram medidas a temperatura de bulbo seco, a temperatura de orvalho, a temperatura de globo e a velocidade do ar. A temperatura efetiva standard⁷ (SET) foi escolhida para representar a sensação térmica na correlação com a produtividade. Os autores não encontraram inter-relação entre a produtividade e o ambiente térmico. O mais evidente fator que pode ter influenciado no resultado é que o ambiente térmico não foi desconfortável o suficiente para produzir efeitos detectáveis pela estratégia de medição de produtividade adotada na pesquisa. A SET em 65% do tempo ficou entre 19°C e 23°C e em 90% entre 17°C e 25°C o que corresponde no máximo a sensação de leve desconforto na escala da ISO 7730 (1994).

MEESE et al. (1984) realizaram experimentos em fábrica da África do Sul utilizando uma câmara climatizada móvel com o objetivo de verificar os efeitos das condições térmicas do ambiente na performance dos trabalhadores. Os testes foram divididos em série de verão e de inverno e houve a participação de aproximadamente 1000 trabalhadores, homens e mulheres (brancos e negros). Na série de inverno os participantes foram expostos às seguintes condições: t = 6 °C e UR = 65%, t = 12 °C e UR = 45%, t = 18 °C e UR = 45%, t = 24 °C e UR = 35%. Na série de verão as combinações foram: t = 20 °C e UR = 40%, t = 26 °C e UR = 30%, t = 32 °C e

⁶ Temperatura de um ambiente fictício com ar parado e saturado que produz a mesma sensação térmica que o ambiente real.

⁷ Temperatura uniforme de um ambiente fictício com 50% de umidade e ar parado, em que uma pessoa vestindo roupa padrão para aquela atividade, trocaria a mesma quantidade de calor por radiação, convecção e evaporação que no ambiente real não uniforme.

UR = 20%, $t = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ e UR = 15%. A velocidade do ar na câmara foi menor que 0,15 m/s e a temperatura radiante média igual a temperatura ambiente. O isolamento térmico das vestimentas foi de aproximadamente 0,6 clo série verão e 0,9 clo série inverno (isolamento efetivo). Cada teste teve a participação de quatro pessoas que realizaram dezessete tarefas manuais leves durante um turno de trabalho. Foi usada a performance na temperatura de 24°C como padrão comparativo na série de inverno e na série de verão a performance na temperatura de 20°C . Os principais resultados obtidos pelos autores foram: a) a performance da maioria das tarefas foi consideravelmente reduzida pelo frio; b) dos 36 critérios de performance utilizados, encontrou-se efeitos negativos significativos devido ao frio em 26 critérios para os negros e em 22 para os brancos; c) um surpreendente número de tarefas foi significativamente afetado pela temperatura de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$; d) na série de verão verificou-se que o intervalo de máximo conforto foi de 20 a 22°C e somente na temperatura de $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ a performance foi significativamente menor.

NELSON, NILSSON & HOPKINS (1987) afirmam que as condições térmicas do ambiente afetam a produtividade nas atividades sedentárias e contribuem para a fadiga dos trabalhadores. Esses autores fazem essa afirmação citando experimentos realizados em câmaras climatizadas: NELSON, NILSSON & JOHNSON (1984) e NELSON, NILSSON & HOPKINS (1984). Na primeira pesquisa participaram 144 pessoas (71 homens e 73 mulheres) que foram solicitados a escrever, durante cinquenta minutos, histórias baseadas em figuras. A umidade da câmara foi mantida em 40% e foram usadas temperaturas de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Foram aplicados check-lists para verificar o humor e a fadiga das pessoas; a produtividade foi medida pelo número de palavras e temas escritos. Na segunda pesquisa participaram 648 pessoas (todos homens, idade média de 22,5 anos) que foram solicitados a realizar testes de coordenação motora e compreensão de texto, durante cento e sessenta minutos. As pessoas foram expostas a temperaturas entre $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade entre 20% e 70%, que correspondiam a cinco combinações dentro do intervalo de conforto, duas mais frias e duas mais quentes. Foi aplicado questionário para verificar a sonolência e check-list para verificar o humor e a fadiga. Foram realizados testes nos períodos da manhã e da tarde. Os resultados mostraram que a sonolência e a fadiga aumentam com o aumento da temperatura e no que se refere ao humor, houve um leve aumento da agressividade, quando a sensação não era de conforto, e a ansiedade diminuiu quando a sensação não era de frio.

LORSCH & ABDU (1994a) relatam duas pesquisas em escritórios de empresas seguradoras que apresentaram resultados conflitantes em relação ao aumento de produtividade com a melhoria das condições do ambiente de trabalho. Em uma das pesquisas, que foi realizada sem o conhecimento dos trabalhadores, a produtividade de 116 funcionários foi analisada por sete meses antes e por seis meses depois da mudança para um novo prédio, que possuía postos de trabalho individuais com controle de aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação e som. A comparação mostrou um aumento de produtividade entre 4,4% e 28,4% (média 15,7%) após a mudança. Nesse trabalho também se verificou que o desligamento do sistema de refrigeração e aquecimento provoca a diminuição na produtividade entre 2,7% e 22,9% (média 12,7%); esse sistema foi desligado aleatoriamente em 58 postos de trabalho por duas semanas. Na outra pesquisa que envolveu 5000 empregados a produtividade foi avaliada, pelos próprios trabalhadores, antes e depois da remodelagem do local de trabalho. Essa remodelagem incluiu substituição de mobiliário, rearranjo do espaço, aumento da privacidade e melhoria dos sistemas de ventilação, aquecimento, refrigeração e iluminação. O resultado da pesquisa mostrou que, embora a rotatividade de funcionários tenha diminuído 86%, a produtividade também decresceu 14,1%.

LORSCH & ABDU (1994b) relataram trabalhos sobre a variação da performance humana em ambientes de escritório e industriais em função da temperatura. Do relato feito é possível concluir-se: a) nos ambientes industriais o calor está associado à diminuição de produção e aumento de acidentes; b) nos ambientes de escritório a influência do calor depende do tipo de tarefa realizada; foi encontrada diminuição da performance, com o aumento do calor, de atividades que exigem compreensão de textos, memória, coordenação motora, rápido exame visual e nas tarefas secundárias quando da exigência simultânea de múltiplas habilidades.

SENSHARMA, WOODS & GOODWIN (1998) revisaram 53 trabalhos, a maioria realizada em escritórios, com o objetivo de identificar os critérios de medida de produtividade mais utilizados e a sua relação com fatores ambientais definidos pela performance dos sistemas de ventilação e ar condicionado. Esses autores classificaram os critérios em tradicionais e não tradicionais e encontraram a quantidade de trabalho executado no tempo, bem como a qualidade e a quantidade + qualidade como critérios tradicionais e o tempo de ausência do posto de trabalho

e a avaliação pessoal da produtividade como critérios não tradicionais. Eles afirmaram que, na literatura analisada, os resultados sobre a relação conforto térmico e produtividade são divergentes porque não foram feitas avaliações detalhadas e simultâneas do sistema de ventilação, exposição e sensação humana e o seu impacto na produtividade. Eles acrescentam que na maioria das pesquisas só um ou dois dos parâmetros de conforto térmico recebeu atenção, normalmente a temperatura e/ou umidade do ar. Os autores atribuem as divergências a definição de critérios de medida de produtividade impróprios ou a inadequada identificação ou avaliação dos fatores que influenciam esses critérios.

Ao contrário do que acontece no caso das atividades sedentárias, a verificação da influência negativa de condições térmicas desconfortáveis na capacidade física dos trabalhadores é muito mais óbvia, quando a atividade é moderada ou pesada. Isso tem sido documentado em trabalhos como o de RAMSEY (1984).

A inexistência de condições adequadas de trabalho nem sempre é um fator determinante da produtividade. Sobre isso KRAUT (1972), citado por GOMES (1978), relata a sua experiência sobre a influência da nutrição no rendimento dos trabalhadores industriais na época da Segunda Grande Guerra. Ele conta que havendo uma diminuição na alimentação, houve uma diminuição da produção com a manutenção do peso corporal dos trabalhadores, mas que, num certo momento, tendo sido mantida a alimentação reduzida e tendo sido oferecido um prêmio por produtividade, houve um aumento da produtividade com a diminuição do peso dos empregados.

Um exemplo histórico da complexidade da análise dos fatores que influem na produtividade é o da adoção pela indústria dos Estados Unidos da América, e porque não dizer pelo mundo Ocidental, do taylorismo-fordismo, primeiro modelo científico de organização do trabalho, que tinha como algumas de suas premissas: o trabalhador é impulsionado pelo espírito competitivo e basta recompensá-lo de acordo com a sua produção; é preciso criar o posto de trabalho e depois encontrar a pessoa certa para ocupá-lo, mostrando que o princípio era adaptar o homem ao trabalho e não o contrário.

Sobre essa época MENDES (1997) diz o seguinte: “O seu período de desenvolvimento contribuiu significativamente para o crescimento da produtividade de muitos países, mas em contra-partida repercutiu terrivelmente sobre a saúde e qualidade de vida dos trabalhadores, tendo em vista as prolongadas jornadas de trabalho, a fadiga física e mental e, especialmente, o esvaziamento do conteúdo significativo das tarefas”.

COUTO (1995) diz que o taylorismo-fordismo ainda perdura em muitas empresas brasileiras e que essa forma de administrar criou o especialista, pessoa que faz apenas uma tarefa durante toda a jornada de trabalho e que movimentava um grupo muscular específico, resultando na explosão do número de casos de tenossinovites e outras lesões por esforços repetidos e traumas cumulativos nos membros superiores.

O estudo da inter-relação entre a produtividade e as condições térmicas do ambiente tem como problema central o subjetivismo humano que impõe uma relação variável entre as necessidades, as expectativas e as motivações das pessoas. GOLDMAN (1994) cita que um bom salário tem sido considerado como o principal fator motivador da produtividade mas que existem outros fatores que podem ser mais importantes como: condições confortáveis de trabalho, boas relações interpessoais, estabilidade no emprego, prestígio, senso de realização, independência de ação, trabalho desafiador, reconhecimento pessoal e variação no trabalho.

Dessa forma a análise de estudos de campo que procuram relacionar a produtividade com as condições térmicas do ambiente não pode estar dissociada da organização do trabalho pois ela pode estabelecer paradigmas que privilegiam a influência de fatores que têm reflexo positivo na produtividade mas que provocam danos, muitas vezes irreparáveis, na saúde dos trabalhadores.

4 METODOLOGIA

4.1 Sistematização

O método de avaliação de conforto térmico escolhido para a sistematização foi o proposto pela ISO 7730 (1994), tendo em vista que é o mais amplamente testado e aceito internacionalmente. Esse método avalia o conforto térmico nos ambientes edificados pelo índice dos Votos Médios Estimados (VME), pela correspondente Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) e pela Porcentagem de insatisfeitos devido ao *draught*⁸ (PD).

A estimativa da sensação térmica de um grupo de pessoas pelo índice dos Votos Médios Estimados (VME) é dada numa escala de sete pontos (+3 muito calor, +2 calor, +1 leve calor, 0 neutralidade, -1 leve frio, -2 frio, -3 muito frio) e pode ser feita através de equações matemáticas, a partir do conhecimento de variáveis pessoais (taxa de metabolismo e isolamento térmico da vestimenta) e de variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar).

A exatidão dos resultados da avaliação de conforto térmico por esse método depende da exatidão dos valores das variáveis ambientais e pessoais, por isso a sistematização abordou, tanto o equacionamento matemático inerente ao índice dos VMEs, como também as informações sobre

⁸ Desconforto, característico de atividades sedentárias, causado pelo resfriamento localizado do corpo devido ao movimento do ar.

os métodos e as características dos instrumentos necessários para obter as variáveis ambientais e pessoais.

As equações foram separadas no que se chamou de modelo matemático principal, secundário e auxiliar. No principal reuniu-se as equações base, responsáveis pelos resultados principais (VME, PEI e PD), no secundário as expressões matemáticas necessárias à solução dessas equações base e no auxiliar as equações que ajudam o usuário a calcular dados de entrada como a temperatura radiante média e a umidade relativa. A Figura 4.1 ilustra essa subdivisão das equações.

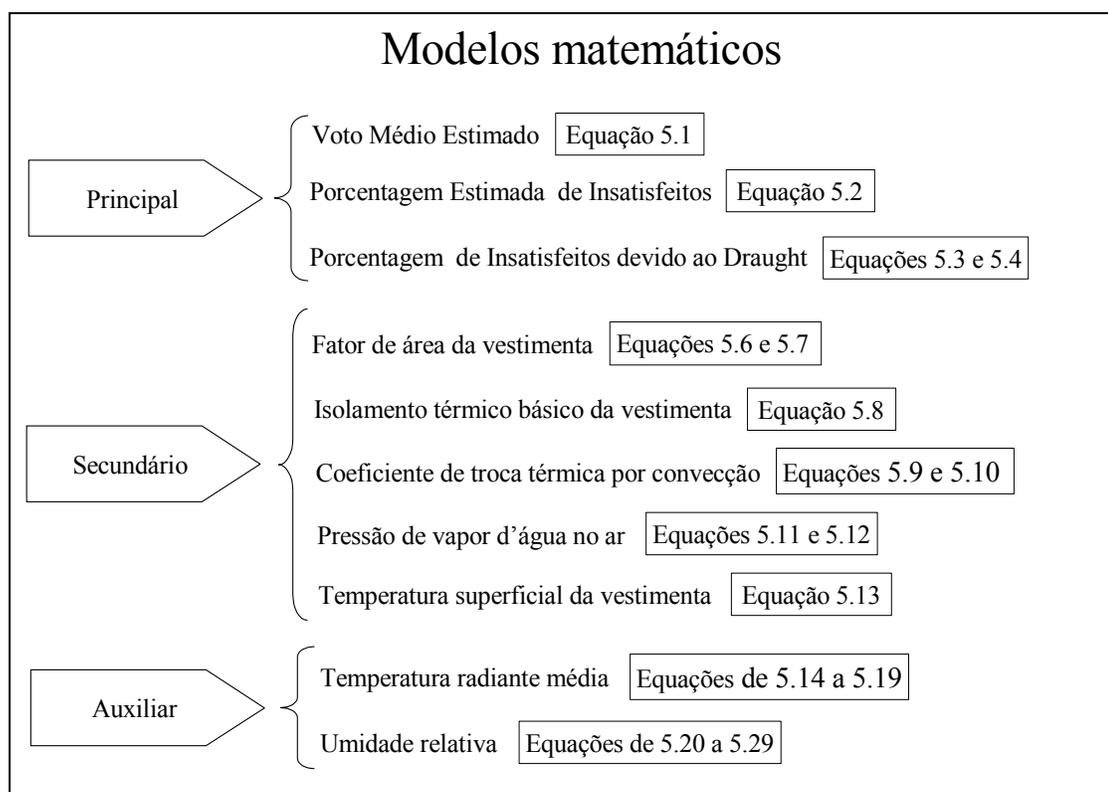


Figura 4.1 Representação esquemática da subdivisão das equações inerentes ao índice dos Votos Médios Estimados.

As informações relativas à obtenção das variáveis pessoais e ambientais foram reunidas visando principalmente a sua aplicação em ambientes reais.

Dessa forma, baseando-se principalmente na norma ISO 7726 (1998), trata-se dos métodos e dos requisitos dos instrumentos para medição, ou quando for o caso para cálculo, da temperatura radiante média, velocidade relativa, temperatura e umidade relativa do ar.

Com relação às variáveis pessoais, tendo em vista que normalmente não estão disponíveis os recursos técnicos necessários para medi-las, a sistematização disponibiliza informações para estimá-las.

Para a estimativa da taxa de metabolismo, compilou-se da ISO 8996 (1990), ASHRAE (1997a), GOMES (1978) e COUTO (1995) dados de metabolismo de tarefas típicas. Esses dados permitem calcular a taxa de metabolismo médio de um ciclo de trabalho através da média ponderada do metabolismo das tarefas que compõem esse ciclo, em relação ao tempo. A fim de permitir também a estimativa do metabolismo de tarefas não listadas na compilação, adotou-se o método proposto pela ISO 8996 (1990) em que a tarefa é decomposta em função dos movimentos necessários para a sua execução e a taxa de metabolismo calculada somando-se ao metabolismo basal as parcelas de metabolismo devido à postura e aos movimentos corporais.

Quanto a variável isolamento térmico da roupa, utilizou-se o isolamento térmico básico como determina a equação dos Votos Médios Estimados. Dessa forma o isolamento de uma roupa é calculado pelo somatório dos isolamentos das peças que a compõem. A fonte de informação utilizada para o isolamento térmico das peças de vestuário foi a ISO 9920 (1995), já que não se dispõe de dados sobre roupas brasileiras.

A Figura 4.2 apresenta um resumo das principais fontes de informação escolhidas para obtenção das variáveis pessoais e ambientais.

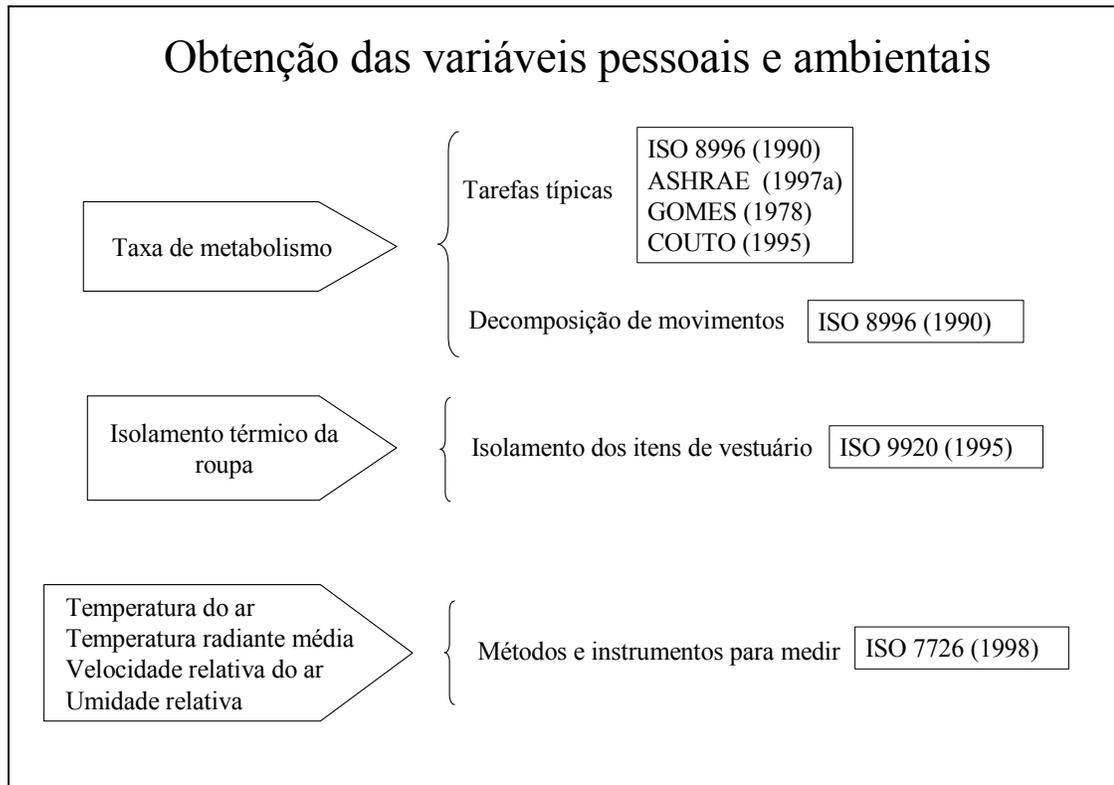


Figura 4.2 *Resumo esquemático das principais fontes de informação escolhidas para obtenção das variáveis pessoais e ambientais.*

4.2 Desenvolvimento do software Conforto 2.02

O desenvolvimento do Conforto 2.02 partiu da premissa de que a avaliação de conforto térmico seguiria os preceitos da ISO 7730 (1994) e que o software deveria conter informações suficientes para possibilitar o seu uso por pessoas não especialistas em avaliação de conforto térmico. Era também requisito que o programa funcionasse nos sistemas operacionais Windows de 32 bits, já que esses são os mais utilizados no Brasil.

Assim a criação do software seguiu as seguintes etapas:

1. Definição da linguagem de programação;
2. Planejamento da interface com o usuário;
3. Criação da interface;
4. Elaboração e depuração do código do programa;
5. Verificação dos resultados dos modelos matemáticos;
6. Teste e aprimoramento da interface;
7. Elaboração dos arquivos de ajuda ao usuário;
8. Elaboração da versão final de instalação do software Conforto 2.02.

A linguagem de programação escolhida foi o Visual Basic, uma vez que ela possui a capacidade matemática necessária e foi criada para o desenvolvimento de aplicativos para o Windows, inclusive para as versões de 32 bits como o Windows 95/98, NT e 2000.

O planejamento da interface foi feito definindo-se quais recursos o software deveria conter e como seriam acessados. A interface do software representa o conjunto dos elementos visuais que permitem a interação do usuário com o programa; como exemplo desses elementos pode-se citar: telas, imagens, menus, botões e caixas de diálogo.

Baseando-se no desejo de que o software fosse uma ferramenta para avaliação de ambientes reais, foram considerados necessários os seguintes requisitos:

- Ter a capacidade de armazenar num único arquivo, os registros de múltiplos pontos avaliados;
- Ter a capacidade de simular alterações nas variáveis ambientais e pessoais dos pontos avaliados, sem perder os registros originais, e armazenar os registros das alterações interessantes em arquivo independente;
- Possibilitar a impressão dos dados registrados diretamente do software;
- Disponibilizar os dados registrados na forma de texto para elaboração de relatórios;
- Possuir os recursos de manipulação de arquivos que são padrão do Windows;
- Ter rotina auxiliar para calcular a temperatura radiante média;
- Ter rotina auxiliar para calcular a umidade relativa do ar;

- Ter rotina auxiliar para a estimativa do isolamento térmico das vestimentas;
- Ter rotina auxiliar para a estimativa da taxa de metabolismo de um ciclo de trabalho;
- Ter rotina auxiliar para a estimativa da taxa de metabolismo de uma tarefa pela decomposição dos movimentos necessários para a sua execução;
- Possibilitar a criação, edição e uso pelo software de arquivos de dados de taxa de metabolismo de tarefas características dos locais avaliados;
- Dispor de informações de ajuda ao usuário.

Para atender os requisitos necessários criou-se uma interface composta de oito telas, sendo duas de avaliação e seis auxiliares. As telas de avaliação foram denominadas “Avaliação de conforto térmico” e “Simulação” e as auxiliares foram chamadas “Verificação do desconforto devido ao *Draught*”, “Cálculo da temperatura radiante média”, “Cálculo da umidade relativa”, “Isolamento térmico da roupa”, “Escolha do metabolismo” e “Metabolismo-Criação / Edição de banco de dados”. Definiu-se que as telas auxiliares seriam acessadas através de botões existentes nas telas de avaliação.

A tela “Simulação”, foi criada com os mesmo recursos da tela “Avaliação de conforto térmico” e com opções de menu que facilitam testar modificações nos ambientes avaliados e armazenar essas informações em arquivos independentes.

Foram criados menus nas telas “Avaliação de conforto térmico” e “Simulação” para disponibilizar os recursos para manipulação de arquivos, impressão, acesso aos registros armazenados e ajuda ao usuário.

O desenvolvimento da interface baseou-se nas informações reunidas no item 5.1 Sistematização. As Figuras de 5.1 a 5.11 mostram as telas e comandos do programa.

A elaboração do código do software baseou-se no fato de que o Visual Basic normalmente só processa um código em resposta a um evento produzido pelo usuário, ou seja, se o usuário der um clique num botão, selecionar uma opção, alterar ou inserir um dado haverá um

procedimento de evento relacionado cujo código determinará o que o programa deve fazer. Dessa forma o planejamento do código deu-se nas seguintes etapas:

- Identificação dos controles que deverão responder a eventos;
- Definição dos eventos específicos de cada controle;
- Elaboração do código para os procedimentos de evento de forma que o programa execute o que se deseja.

Para a elaboração do código foram utilizados os modelos matemáticos principal, secundário e auxiliar tratados no item 5.1 Sistematização.

Além do código relacionado aos procedimentos de evento, foi necessário desenvolver duas estruturas independentes para o gerenciamento dos bancos de dados de registro das avaliações e das taxas de metabolismo criados pelo programa e armazenados em arquivos de acesso aleatório. Foi preciso também elaborar código para configurar a resolução do monitor em 800 x 600 pixels⁹ durante a execução do software, já que a interface assim exige.

A depuração do código foi realizada concomitantemente a sua elaboração, bem como na fase de teste da interface. Foram criadas rotinas para evitar que o usuário digite letras ou símbolos em locais destinados a números e também mensagens de alerta para informar a falta ou preenchimento incorreto de algum dos campos.

Para verificar a precisão dos cálculos realizados pelo software Conforto 2.02, compararam-se os resultados de temperatura radiante média, umidade relativa do ar e Voto Médio Estimado obtidos com o programa, com valores existentes em normas técnicas, correspondentes às mesmas condições. Para o caso da temperatura radiante média utilizaram-se como referência os exemplos existentes no anexo B da ISO 7726 (1998), para a umidade relativa a referência foi a tabela de umidades relativas do apêndice C da ASHRAE 41.6 (1994) e para os

⁹ Pixel – Menor elemento que o hardware e o software podem manipular para criar elementos gráficos.

Votos Médios Estimados, as tabelas de VME da norma ISO 7730 (1994) correspondentes às taxas de metabolismo de 58 W/m², 116 W/m², 174 W/m² e 232 W/m².

Foi realizada também uma comparação estatística dos valores de Voto Médio Estimado apresentados pela ISO 7730 (1994) e os fornecidos pelo Conforto 2.02. Para isso adotou-se o nível de significância de 0,05 e aplicou-se o teste F'Snedecor, bi-caudal, para verificar a igualdade de variâncias e o teste t'Student, bi-caudal, para testar a igualdade das médias. Os dados foram analisados com a ajuda do software estatístico SAS[®] e as equações utilizadas foram as seguintes:

Teste F:

$$F = \frac{\max(s_1^2, s_2^2)}{\min(s_1^2, s_2^2)} \quad (4.1)$$

onde:

s_1^2 Variância da amostra 1;

s_2^2 Variância da amostra 2.

Teste t:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4.2)$$

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (4.3)$$

onde:

- \bar{x}_1 Média da amostra 1;
- \bar{x}_2 Média da amostra 2;
- s Desvio padrão ponderado;
- n_1 Número de dados da amostra 1;
- n_2 Número de dados da amostra 2;
- s_1^2 Variância da amostra 1;
- s_2^2 Variância da amostra 2;

Terminada a fase de verificação dos resultados dos modelos matemáticos, passou-se para a etapa de teste da interface do programa que foi realizada disponibilizando o software, no Laboratório de Conforto da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, para o uso em trabalhos de avaliação de conforto térmico de disciplinas de graduação e pós-graduação. O período de teste foi de agosto de 2001 a setembro de 2002 e as sugestões dos alunos, feitas ao responsável pelo laboratório, foram na medida do possível incorporadas ao programa.

A ajuda ao usuário foi elaborada de forma a fornecer informações tanto sobre a instalação e uso do programa como sobre avaliação de conforto térmico, de forma a possibilitar que pessoas não especialistas nesse assunto, possam utilizar o software adequadamente.

Para a instalação, criou-se uma tela que fica visível antes de iniciar o processo e fornece informações quanto aos requisitos mínimos de hardware e orientações sobre os procedimentos que devem ser seguidos.

As orientações quanto ao uso do programa, acessíveis após a instalação através do menu Ajuda, são transmitidas através de imagens que reproduzem as oito telas que compõem o software e explicam a função dos comandos e menus.

O menu Ajuda contém também conhecimento teórico atualizado, com referências bibliográficas, sobre avaliação de conforto térmico. Considerou-se relevante abordar os seguintes tópicos:

- Conceituação de conforto térmico
- Relação existente entre conforto e equilíbrio térmico do corpo humano
- Trocas de calor entre o corpo e o ambiente
- Variáveis que determinam o conforto
- Avaliação do conforto térmico
 - Método dos Votos Médios Estimados
 - Porcentagem Estimada de Insatisfeitos
 - Intervalo de conforto
- Métodos e instrumentos para obtenção das variáveis de conforto
- Desconforto localizado
 - Conceituação
 - Assimetria de radiação
 - Diferenças verticais na temperatura do ar
 - Contato com superfícies quentes ou frias
 - Draught*

A versão de instalação do programa Conforto 2.02 foi elaborada com o auxílio do software Setup Generator Pro[®], tendo em vista que ele tem capacidade para gerar arquivos compactos e com interface em português. O arquivo executável do Conforto 2.02 foi compilado em código nativo com opção de otimização para máxima velocidade de execução.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Sistematização

A sistematização aborda as equações inerentes ao método dos Votos Médios Estimados bem como os métodos e as características dos instrumentos necessários à obtenção das variáveis pessoais e ambientais.

O algoritmo foi subdividido em modelo matemático principal, secundário e auxiliar. No principal mostra-se as equações base, responsáveis pelos resultados principais (VME, PEI e PD), no secundário as expressões matemáticas necessárias à solução dessas equações base e no auxiliar as equações que ajudam o usuário a calcular dados de entrada que normalmente não são medidos diretamente, como: temperatura radiante média e umidade relativa.

5.1.1 Modelo matemático principal

A ISO 7730 (1994) recomenda o uso do método dos VME quando as variáveis estão dentro dos seguintes intervalos:

Taxa de metabolismo $\Rightarrow M = 46 \text{ W / m}^2$ a 232 W / m^2 (0,8 met a 4 met);

Isolamento térmico da	⇒	$I_{cl} = 0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ a $0,310 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (0 clo a 2 clo);
Temperatura do ar	⇒	$t_a = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ a $30 \text{ }^\circ\text{C}$;
Temperatura radiante média	⇒	$t_{rm} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$;
Velocidade relativa do ar	⇒	$v_{ar} = 0 \text{ m/s}$ a 1 m/s .

5.1.1.1 Equação dos Votos Médios Estimados (VME)

$$\begin{aligned} \text{VME} = & (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 (M - W) - p_a] - \\ & 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014 M (34 - t_a) - \\ & 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \} \end{aligned} \quad (5.1)$$

onde :

VME	Voto Médio Estimado;
M	Energia do metabolismo, (W/m^2);
W	Trabalho externo, (W/m^2);
f_{cl}	Fator de área da vestimenta ;
t_a	Temperatura do ar, ($^\circ\text{C}$) ;
t_{rm}	Temperatura radiante média, ($^\circ\text{C}$) ;
p_a	Pressão parcial de vapor, (Pa) ;
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção, ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) ;
t_{cl}	Temperatura superficial da vestimenta, ($^\circ\text{C}$).

Essa equação é composta das seguintes parcelas:

$0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028 \Rightarrow$ Parcela que correlaciona carga térmica e sensação (VME);

$(M-W) \Rightarrow$ Calor produzido internamente, pode ser considerado igual a M já que W é igual a zero para a maioria das atividades;

$3,05 \cdot 0,001 \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] \Rightarrow$ Parcela relativa a perda de calor por evaporação da umidade originada por difusão;

$0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \Rightarrow$ Parcela relativa a perda de calor por evaporação do suor numa condição de conforto térmico;

$1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) \Rightarrow$ Parcela relativa a perda de calor latente pela respiração;

$0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \Rightarrow$ Parcela relativa a perda de calor sensível pela respiração;

$3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] \Rightarrow$ Parcela relativa a perda de calor por radiação;

$f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \Rightarrow$ Parcela relativa a perda de calor por convecção.

5.1.1.2 Equação da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI)

$$PEI = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot VME^4 + 0,2179 \cdot VME^2)} \quad (5.2)$$

onde :

VME Voto Médio Estimado;

PEI Porcentagem Estimada de Insatisfeitos, (%).

5.1.1.3 Equação da Porcentagem de Insatisfeitos devido ao Draught (PD)

A equação 5.3 é válida somente para atividades sedentárias (taxa de metabolismo de aproximadamente 70 W/m^2).

$$PD = (34 - t_a) \cdot (v - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v \cdot Tu + 3,14) \quad (5.3)$$

$$Tu = \frac{S_v}{v} \cdot 100 \quad (5.4)$$

onde :

PD	Porcentagem de insatisfeitos devido ao draught, (%);
t_a	Temperatura do ambiente, (°C);
v	Velocidade média do ar, (m/s);
Tu	Intensidade de turbulência, (%);
s_v	Desvio padrão das velocidades.

5.1.2 Modelo matemático secundário

Para a solução da equação 5.1, a partir dos dados inseridos pelos usuários, é necessário realizar cálculos secundários utilizando as seguintes equações:

5.1.2.1 Cálculo do fator de área da vestimenta (f_{cl})

A área superficial de troca térmica é maior quando uma pessoa está vestida do que quando ela está nua, assim define-se fator de área da vestimenta como a razão entre as áreas com e sem vestimenta.

MCCULLOUGH, JONES & HUCK (1985) realizaram um amplo trabalho sobre isolamento térmico das vestimentas e propuseram a seguinte relação entre o fator de área das vestimentas e o isolamento térmico básico:

$$f_{cl} = 1,00 + 1,97 I_{cl} \quad (5.5)$$

onde :

f_{cl} Fator de área da vestimenta;

I_{cl} Isolamento térmico básico da vestimenta, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

Embora a equação proposta por MCCULLOUGH, JONES & HUCK (1985) tenha sido adotada pela ISO 9920 (1995), no modelo dos VME deve-se usar as equações seguintes para manter fidelidade ao modelo desenvolvido por FANGER (1970):

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290 I_{cl} \Rightarrow \text{para } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W \quad (5.6)$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 I_{cl} \Rightarrow \text{para } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W \quad (5.7)$$

onde :

f_{cl} Fator de área da vestimenta;

I_{cl} Isolamento térmico básico da vestimenta, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

5.1.2.2 Cálculo do isolamento térmico básico da vestimenta (I_{cl})

$$I_{cl} = \Sigma I_{cle} \quad (5.8)$$

onde :

I_{cl} Isolamento térmico básico da vestimenta, (clo);

I_{cle} Isolamento térmico efetivo dos itens de vestuário, dados na Tabela 5.10, (clo).

5.1.2.3 Cálculo do coeficiente de troca térmica por convecção (h_c)

$$h_c = 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} \Rightarrow \text{para } 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1 \sqrt{v_{ar}} \quad (\text{convecção natural}) \quad (5.9)$$

$$h_c = 12,1 \sqrt{v_{ar}} \Rightarrow \text{para } 12,1 \sqrt{v_{ar}} > 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} \quad (\text{convecção forçada}) \quad (5.10)$$

onde :

- h_c Coeficiente de transferência de calor por convecção, (W/m² . °C);
- t_a Temperatura do ar, (°C);
- v_{ar} Velocidade relativa do ar, (m/s);
- t_{cl} Temperatura superficial da vestimenta, (°C).

5.1.2.4 Cálculo da pressão de vapor d'água no ar (p_a)

$$p_{vs} = e^{16,6536 - (4030,183 / t_a + 235)} \quad (5.11)$$

$$p_a = \phi \cdot 10 \cdot p_{vs} \quad (5.12)$$

onde :

- p_{vs} Pressão de vapor saturado, (kPa);
- t_a Temperatura do ar, (°C);
- ϕ Umidade relativa, (%);
- p_a Pressão parcial de vapor d'água, (Pa).

5.1.2.5 Cálculo da temperatura superficial da vestimenta (t_{cl})

A temperatura superficial da vestimenta deve ser calculada pela seguinte equação:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 (M - W) - I_{cl} \{ 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \quad (5.13)$$

onde :

- M Energia do metabolismo, (W / m²);
- W Trabalho externo, (W / m²);
- f_{cl} Fator de área da vestimenta;
- I_{cl} Isolamento térmico da vestimenta, (m² . °C/W);
- t_a Temperatura do ar, (°C);
- t_{rm} Temperatura radiante média, (°C);
- h_c Coeficiente de transferência de calor por convecção, (W/m² . °C);
- t_{cl} Temperatura superficial da vestimenta, (°C).

A equação 5.13 pode ser resolvida pelo método iterativo usando o procedimento e os termos de cálculo e de iteração seguintes:

Termos de cálculo e de iteração:

$$TA = t_a + 273 \quad (\text{temperatura do ar em K})$$

$$TR = t_{rm} + 273 \quad (\text{temperatura radiante media em K})$$

$$C_1 = I_{cl} \cdot f_{cl} \quad (\text{termo de cálculo 1})$$

$$C_2 = C_1 \cdot 3.96 \quad (\text{termo de cálculo 2})$$

$$C_3 = C_1 \cdot 100 \quad (\text{termo de cálculo 3})$$

$$C_4 = C_1 \cdot TA \quad (\text{termo de cálculo 4})$$

$$C_5 = 308,7 - 0,028.M + C_2 \cdot \left(\frac{TR}{100} \right)^4 \quad (\text{termo de cálculo 5})$$

$$PSTV = TA + \frac{35,5 - t_a}{3,5 \cdot (6,45 \cdot I_{cl} + 0,1)} \quad (\text{Suposição inicial de } t_{cl} \text{ para a iteração})$$

$$RI = \frac{PSTV}{100} \quad (\text{termo de iteração})$$

RF (termo de iteração)

Res (critério de parada do processo iterativo)

$$h_{cf} = 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \quad (\text{coeficiente de transferência de calor por convecção forçada, derivado da equação 5.10})$$

Procedimento de iteração:

RF = RI (Suposição inicial)

Executar os passos seguintes enquanto Res > 0,00015 (Processo iterativo)

$$RF = \frac{RF + RI}{2}$$

$$h_{cn} = 2,38 \cdot [(100 \cdot RF) - TA]^{0,25} \quad (\text{coeficiente de transferência de calor por convecção natural, derivado da equação 5.9})$$

Se $h_{cf} > h_{cn}$ então $h_c = h_{cf}$ senão $h_c = h_{cn}$

$$RI = \frac{C_5 + C_4 \cdot h_c - C_2 \cdot RF^4}{100 + C_3 \cdot h_c}$$

$$Res = |RI - RF|$$

Quando Res \leq 0,00015 então a temperatura superficial da vestimenta é dada por:

$$t_{cl} = 100 \cdot RI - 273$$

5.1.3 Modelo matemático auxiliar

Neste item são mostradas as equações utilizadas nas rotinas de cálculo da temperatura radiante média e da umidade relativa. Essas equações são propostas respectivamente pelas normas ISO 7726 (1998) e ASHRAE 41.6 (1994).

5.1.3.1 Cálculo da temperatura radiante média (t_{rm})

A t_{rm} de um ambiente em relação a uma pessoa pode ser determinada a partir dos valores da temperatura de globo (t_g), da velocidade do ar na altura do globo (v) e da temperatura do ar (t_a).

A t_g pode ser definida como a temperatura de equilíbrio medida no centro de uma esfera oca de cobre, pintada externamente de preto fosco.

A esfera deve ter aproximadamente 1 mm de espessura e teoricamente qualquer diâmetro uma vez que ele é uma das variáveis das equações de cálculo da t_{rm} . Contudo quanto menor o globo, maior será a influência da velocidade do ar, portanto recomenda-se um globo com 0,15 m de diâmetro.

O princípio de cálculo da t_{rm} é o de que estando o globo em equilíbrio térmico com o ambiente, então o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies circundantes é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. Como a espessura do globo é pequena, então a temperatura do ar confinado nele é aproximadamente igual à temperatura da superfície do globo. Conhecendo-se a temperatura superficial do globo é possível determinar-se a t_{rm} .

Como se pode ver a t_g está relacionada com o calor trocado por convecção que por sua vez depende da velocidade do ar que incide sobre o globo. Essa dependência é contabilizada pelo coeficiente de troca de calor por convecção (h_{cg}) que corresponde a :

$$\text{convecção natural} \Rightarrow h_{cg} = 1,4 \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \quad (5.14)$$

$$\text{convecção forçada} \Rightarrow h_{cg} = 6,3 \cdot \frac{v^{0,6}}{d^{0,4}} \quad (5.15)$$

onde :

h_{cg} Coeficiente de troca de calor por convecção, (W/m².°C);

t_g Temperatura de globo, (°C);

t_a Temperatura do ar, (°C);

d Diâmetro do globo, (m);

v Velocidade do ar na altura do globo, (m/s).

Dessa forma, quando a velocidade do ar é maior que zero, o cálculo da t_{rm} só pode iniciar após conhecer-se a real participação da velocidade do ar na troca por convecção. Isso é feito determinando-se h_{cg} para a convecção natural e para a forçada. O maior valor de h_{cg} definirá se a t_{rm} deve ser calculada para a convecção natural ou para a forçada.

A equação geral para o cálculo da t_{rm} com convecção natural é :

$$t_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 0,25 \cdot \frac{10^8}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (5.16)$$

onde :

t_{rm} Temperatura radiante média, (°C);

t_g Temperatura do termômetro de globo, (°C);

t_a Temperatura de bulbo seco do ambiente, (°C);

v Velocidade do ar na altura do globo, (m/s);

- ε Emissividade do globo;
 d - Diâmetro do globo, (m).

Quando um globo com $d = 0,15$ m e $\varepsilon = 0,95$ for usado, a equação 5.16 fica assim:

$$t_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_a|^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (5.17)$$

A equação geral para o cálculo da t_{rm} com convecção forçada é:

$$t_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 1,1 \cdot \frac{10^8 \cdot v^{0,6}}{\varepsilon \cdot d^{0,4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (5.18)$$

Quando um globo com $d = 0,15$ m e $\varepsilon = 0,95$ for usado, a equação 5.18 fica assim:

$$t_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (5.19)$$

5.1.3.2 Cálculo da umidade relativa do ar (ϕ)

A umidade relativa do ar de um ambiente pode ser calculada, como proposto pela ASHRAE 41.6 (1994), a partir da pressão atmosférica e das temperaturas de bulbo seco (t_a) e bulbo úmido psicrométrica (t_{bu}). As equações necessárias são as seguintes:

$$\phi = \frac{P_a}{P_{vs}} \cdot 100 \quad (5.20)$$

onde :

- ϕ Umidade relativa do ar, (%);
- p_a Pressão parcial do vapor d'água no ar, (kPa);
- p_{vs} Pressão do vapor saturado no ar, (kPa).

5.1.3.2.1 Cálculo da pressão atmosférica (P)

$$P = 101,325 \cdot (1 - 2,25577 \cdot 10^{-5} \cdot Z)^{5,2559} \quad (5.21)$$

onde:

- P Pressão atmosférica, (kPa);
- Z Altitude, (m).

5.1.3.2.2 Cálculo da pressão de vapor saturado (p_{vs})

$$\text{Para } -100 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_a < 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad p_{vs} = e^{A1} \quad (5.22)$$

$$A1 = \frac{C_1}{T_a} + C_2 + C_3 \cdot T_a + C_4 \cdot T_a^2 + C_5 \cdot T_a^3 + C_6 \cdot T_a^4 + C_7 \cdot \ln T_a$$

$$C_1 = -5,6745359 \cdot 10^3$$

$$C_2 = +6,3925247$$

$$C_3 = -9,677843 \cdot 10^{-3}$$

$$C_4 = +6,22115701 \cdot 10^{-7}$$

$$C_5 = +2,0747825 \cdot 10^{-9}$$

$$C_6 = -9,484024 \cdot 10^{-13}$$

$$C_7 = +4,1635019$$

onde:

p_{vs} Pressão de vapor saturado, (Pa);
 t_a Temperatura de bulbo seco, (°C);
 T_a Temperatura de bulbo seco, (K).

$$\text{Para } 200\text{ }^\circ\text{C} \geq t_a \geq 0\text{ }^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad p_{vs} = e^{A2} \quad (5.23)$$

onde:

$$A2 = \frac{C_8}{T_a} + C_9 + C_{10} \cdot T_a + C_{11} \cdot T_a^2 + C_{12} \cdot T_a^3 + C_{13} \cdot \ln T_a$$

$$C_8 = -5,8002206 \cdot 10^3$$

$$C_9 = +1,3914993$$

$$C_{10} = -4,8640239 \cdot 10^{-2}$$

$$C_{11} = +4,1764768 \cdot 10^{-5}$$

$$C_{12} = -1,4452093 \cdot 10^{-8}$$

$$C_{13} = +6,5459673$$

5.1.3.2.3 Cálculo da pressão parcial de vapor d'água (p_a)

$$p_a = \frac{P \cdot W_a}{0,62198 + W_a} \quad (5.24)$$

onde:

p_a Pressão parcial de vapor d'água, (kPa);

P Pressão atmosférica, (kPa);

W_a Umidade absoluta, (kg vapor/kg ar seco).

5.1.3.2.4 Cálculo da umidade absoluta (W_a)

$$\text{Para } t_{bu} \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad W_a = \frac{W_s^{tbu} \cdot (2501 - 2,381 \cdot t_{bu}) - c_a \cdot (t_a - t_{bu})}{2501 + 1,805 \cdot t_a - 4,186 \cdot t_{bu}} \quad (5.25)$$

$$\text{Para } t_{bu} < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad W_a = \frac{W_s^{tbu} \cdot (2167,57 - 0,234 \cdot t_{bu}) - c_a \cdot (t_a - t_{bu})}{2167,57 + 1,805 \cdot t_a - 2,039 \cdot t_{bu}} \quad (5.26)$$

onde:

- W_a Umidade absoluta, (kg vapor/kg ar seco);
- W_s^{tbu} Umidade absoluta de saturação na t_{bu} , (kg vapor/kg ar seco);
- c_a Calor específico do ar seco, (kJ/kg.°C);
- t_a Temperatura de bulbo seco, (°C);
- t_{bu} Temperatura de bulbo úmido, (°C).

5.1.3.2.5 Cálculo da umidade absoluta de saturação na t_{bu} (w_s^{tbu})

$$W_s^{tbu} = \frac{0,62198 \cdot p_{vs}^{tbu}}{P - p_{vs}^{tbu}} \quad (5.27)$$

onde:

- W_s^{tbu} Umidade absoluta de saturação na t_{bu} , (kg vapor/kg ar seco);
- p_{vs}^{tbu} Pressão de vapor de saturação na t_{bu} , (kPa);
- P Pressão atmosférica, (kPa);

5.1.3.2.6 Cálculo da pressão de vapor saturado na t_{bu} (p_{vs}^{tbu})

$$\text{Para } -100 \text{ } ^\circ\text{C} \leq t_a < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad p_{vs}^{tbu} = e^{A1} \quad (5.28)$$

onde:

- p_{vs}^{tbu} Pressão de vapor saturado na t_{bu} , (Pa);
- T_{bu} Temperatura de bulbo úmido, (K).

$$A1 = \frac{C_1}{T_{bu}} + C_2 + C_3 \cdot T_{bu} + C_4 \cdot T_{bu}^2 + C_5 \cdot T_{bu}^3 + C_6 \cdot T_{bu}^4 + C_7 \cdot \ln T_{bu}$$

$$C_1 = -5,6745359 \cdot 10^3$$

$$C_2 = +6,3925247$$

$$C_3 = -9,677843 \cdot 10^{-3}$$

$$C_4 = +6,22115701 \cdot 10^{-7}$$

$$C_5 = +2,0747825 \cdot 10^{-9}$$

$$C_6 = -9,484024 \cdot 10^{-13}$$

$$C_7 = +4,1635019$$

$$\text{Para } 200 \text{ } ^\circ\text{C} \geq t_a \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad p_{vs}^{tbu} = e^{A2} \quad (5.29)$$

onde:

$$A2 = \frac{C_8}{T_{bu}} + C_9 + C_{10} \cdot T_{bu} + C_{11} \cdot T_{bu}^2 + C_{12} \cdot T_{bu}^3 + C_{13} \cdot \ln T_{bu}$$

$$C_8 = -5,8002206 \cdot 10^3$$

$$C_9 = +1,3914993$$

$$C_{10} = -4,8640239 \cdot 10^{-2}$$

$$C_{11} = +4,1764768 \cdot 10^{-5}$$

$$C_{12} = -1,4452093 \cdot 10^{-8}$$

$$C_{13} = +6,5459673$$

5.1.4 Obtenção das variáveis de conforto

5.1.4.1 Variáveis pessoais

5.1.4.1.1 Taxa de metabolismo

O homem produz a energia necessária para a manutenção das suas funções vitais através do processo metabólico de degradação dos alimentos. Esse processo pode ser comparado a uma lenta queima de produtos devido ao consumo de oxigênio.

A maior parte da energia produzida pelo metabolismo é convertida em energia térmica e desse modo a parcela mecânica pode ser negligenciada, considerando-se o calor metabólico igual à taxa de metabolismo. A taxa de metabolismo é a taxa de produção de energia no tempo e portanto é dada na unidade de potência Watt.

O processo metabólico libera calor continuamente e a sua produção é maior com o aumento da atividade física executada. Dessa forma a taxa de metabolismo representa a quantidade de calor que o sistema termorregulador precisa trocar com o ambiente para que o equilíbrio térmico do corpo possa ser mantido e assim é um dos fatores determinantes do trabalho desse sistema.

A sensação de conforto térmico é inversamente proporcional ao trabalho do sistema termorregulador; isso representa que quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será o desconforto.

O calor produzido no corpo é resultado da assimilação e utilização do alimento como fonte de energia e assim o potencial calorífico da alimentação ingerida é uma medida do calor que será liberado. Portanto, através da calorimetria humana é possível medir diretamente o calor produzido. Esse método, no entanto, exige grande disponibilidade de tempo e só permite medidas integradas num longo período; isso dificulta a sua utilização prática.

A ingestão alimentar causa um aumento na produção interna de calor que é denominado ação dinâmica específica ou efeito ADE. A magnitude desse efeito depende tanto da quantidade quanto do tipo de alimento ingerido. As proteínas provocam o maior efeito, seguidas pelos carboidratos com influência substancialmente menor e pelas gorduras com efeito ainda menor.

FANGER (1970) cita PASSMORE e ROBSON (1968) para afirmar que o efeito ADE de uma dieta balanceada pode produzir um aumento no metabolismo que corresponde a até 15% da taxa de metabolismo basal. O aumento será maior se a alimentação for rica em proteínas.

FANGER (1970) explica que o pico do efeito ADE ocorre uma ou duas horas após a refeição mas o efeito persiste por um período total de quatro a seis horas. Assim, para um ciclo normal de três refeições diárias com espaçamento aproximado de cinco horas entre elas, haveria efeito ADE em todo o período em que a pessoa estivesse acordada.

A taxa de metabolismo não depende só da atividade física e da alimentação mas também da idade, sexo e temperatura ambiente.

MCARDLE, KATCH & KATCH (1985a) afirmam que o metabolismo basal das mulheres é de 5 a 10 % menor que o dos homens devido ao fato delas possuírem mais gordura corporal do que os homens de idade e dimensões idênticas. A gordura é metabolicamente menos ativa que o músculo.

Quanto à influência da idade no metabolismo MCINTYRE (1980) mostra que o metabolismo basal decresce constantemente com a idade e que um homem de vinte anos tem um metabolismo, em média, 12 % maior que um de 45 anos com as mesmas características corporais.

Com relação ao efeito da temperatura do ar na taxa de metabolismo MCINTYRE (1980) mostra que num ambiente a 10° C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de pessoas nuas em repouso. Esse autor afirma também que o calor afeta diretamente o processo metabólico porque aumenta a velocidade das reações químicas envolvidas. Ele cita CONSOLAZIO et al. (1963) que encontraram um aumento de 12 % no metabolismo de atividades realizadas numa temperatura ambiente de 38° C quando comparado com o metabolismo da mesma atividade num ambiente a 29° C.

A representação de um ciclo de trabalho por uma taxa de metabolismo é uma tarefa difícil uma vez que esse ciclo é normalmente composto por diferentes atividades que expõem o homem a uma combinação de períodos de descanso e de variada solicitação física; além disso, essa taxa também depende de fatores individuais e do método utilizado na execução das tarefas.

A ISO 8996 (1990) propõe três caminhos para a obtenção da taxa de metabolismo, que diferem na exatidão dos resultados e na aplicabilidade prática.

O método apontado por essa norma como de maior exatidão é o de determinação da taxa de metabolismo através da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico. Ele parte do princípio que a oxidação dos alimentos é a fonte de energia do corpo humano e que o organismo precisa extrair oxigênio continuamente da atmosfera já que só pode armazenar uma quantidade muito pequena desse gás.

Assim é possível calcular a taxa de metabolismo pela equação proposta por NISHI (1981):

$$M = 5,88.(0,23.RQ + 0,77).\frac{V_{O_2}}{A_{Du}} \quad (5.30)$$

onde:

- M Taxa de metabolismo, W/m²;
- RQ Quociente respiratório, razão entre o volume de CO₂ produzido e o volume de O₂ consumido;
- V_{O₂} Oxigênio consumido em CNTP, l_{O₂}/h;
- A_{Du} Área superficial do corpo de acordo com DuBois, m².

O método consiste em obter os volumes de oxigênio consumido e de gás carbônico produzido, a partir da análise do gás expirado pelo trabalhador num período representativo do seu ciclo de trabalho, normalmente inferior a trinta minutos.

O procedimento para coleta do ar expirado é função da solicitação física das atividades. Quando elas são leves ou moderadas a coleta é feita enquanto o trabalho é desenvolvido, começando cinco minutos após o seu início e tendo uma duração aproximada de quinze minutos. Nas tarefas pesadas, a coleta começa com o início da atividade e continua até o seu término, período usualmente não superior a cinco minutos. Após esse tempo o trabalhador senta e a coleta continua até que haja a recuperação do débito de oxigênio ocorrido durante o serviço.

Esse método exige o estudo do processo de trabalho e da frequência de repetição das atividades para posterior avaliação dos resultados. Dessa forma, a sua aplicação prática é limitada devido aos recursos técnicos necessários; além disso, as medições podem interferir com o processo de trabalho e embora existam instrumentos testados para a avaliação de campo (LOUHEVAARA et al., 1985), eles são caros.

MALCHAIRE et al. (1984) analisaram a validade das medidas de consumo de oxigênio num trabalho de campo e concluíram que embora essas medidas sejam fisicamente precisas, o curto período de tempo utilizado nas amostragens, trinta minutos, não permite que os resultados obtidos sejam usados para avaliar o verdadeiro custo fisiológico do trabalho.

Outro método proposto pela ISO 8996 (1990) é o de obter o metabolismo através do registro da frequência cardíaca durante o trabalho. Esse método não é tão preciso quanto o anterior e baseia-se no fato de que existe, para cada pessoa, uma relação linear entre essa frequência e o consumo de oxigênio e portanto também entre ela e o metabolismo.

Essa relação é individual porque depende da idade, do sexo e da capacidade física (ASTRAND, 1960). O procedimento padrão para consegui-la é submeter a pessoa descansada a um teste numa esteira ou bicicleta ergométrica. Esse teste normalmente é realizado em etapas de progressiva solicitação física em que a carga é mantida constante por um período de três minutos. As medições da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio podem ser feitas continuamente ou no último minuto de cada etapa.

Estabelecida a relação é possível calcular a taxa de metabolismo de uma pessoa num determinado ciclo de trabalho a partir do consumo de oxigênio obtido do registro da frequência cardíaca.

O registro da frequência cardíaca em campo foi muito facilitado com a fabricação de instrumentos portáteis que permitem a transferência de dados a distancia (NIELSEN & MEYER, 1987). Isso possibilitou liberdade de movimentos ao trabalhador e praticamente nenhuma interferência na sua rotina. A principal técnica utilizada é o registro da atividade elétrica do coração colocando-se, na região cardíaca, eletrodos ligados a um pequeno emissor portátil.

ASTRAND & RODAHL (1977) relacionaram fatores que afetam a precisão desse método. Alguns desses fatores são: temperatura do ambiente, estado emocional, posição do corpo, grupo muscular exercitado, trabalho muscular estático etc.

A ISO 8996 (1990) recomenda a frequência cardíaca só para trabalho dinâmico, desenvolvido por grupos de músculos grandes com pequena solicitação estática e na ausência de sobrecarga térmica e mental.

MALCHAIRE et al. (1984) desenvolveram um trabalho de campo, com dois grupos de doze trabalhadores, para comparar as taxas de metabolismo obtidas com os métodos de consumo de oxigênio e de frequência cardíaca. O consumo de oxigênio foi medido em um período de trinta minutos e a frequência cardíaca durante oito horas.

Essa pesquisa revelou uma preferência pelos registros da frequência cardíaca realizados durante todo o período de trabalho porque permitem analisar tanto a solicitação num determinado instante como a média de todo o período trabalhado.

O terceiro caminho proposto pela ISO 8996 (1990) para o estabelecimento da taxa de metabolismo é a estimativa através de tabelas. São quatro tipos de tabelas que diferem quanto à necessidade de observação e detalhamento do trabalho e portanto em relação ao potencial de risco de erro. As duas primeiras, com elevado potencial de erro, classificam a taxa de metabolismo pelo tipo de atividade (baixa, moderada, alta e muito alta) ou pela ocupação (carpinteiro, pintor, professor, etc.). Nos outros dois tipos, que possibilitam resultados melhores que os anteriores, o trabalho é detalhado em atividades específicas (construir parede, subir escada, andar, transportar peso, etc.) ou as atividades são decompostas em termos de movimentos e esforços. Nesse último caso o metabolismo de um determinado trabalho é calculado somando-se, ao metabolismo basal, as parcelas em razão da postura do corpo, dos movimentos e dos esforços.

Os valores de taxa de metabolismo constantes nas tabelas dessa norma foram baseados numa pessoa padrão de 35 anos (homem com 70 kgf e 1,70 m e mulher com 60 kgf e 1,60 m), sendo 44 W/m^2 a taxa de metabolismo basal adotada para o homem e 41 W/m^2 para a mulher. Dessa forma, nas situações reais, é preciso considerar que a partir dos 25 anos o metabolismo decresce constantemente, como explicado em MCARDLE, KATCH & KATCH (1985b) e que o peso corporal aumenta o metabolismo das atividades que exigem movimentação (MCARDLE, KATCH & KATCH, 1985a).

De acordo com a ISO 8996 (1990) a taxa de metabolismo pode variar $\pm 5\%$ de pessoa para pessoa, para o mesmo trabalho e sob as mesmas condições ambientais. A experiência de campo de MALCHAIRE et al. (1984) que mediu o metabolismo de duas atividades diferentes realizadas cada qual por um grupo de trabalhadores, obteve coeficiente de variação de 10 % para um dos grupos e 25 % para o outro.

A obtenção da energia do metabolismo através da medição do consumo de oxigênio e da frequência cardíaca exige equipamentos adequados e tempo para os estudos necessários; esses recursos geralmente não estão disponíveis nas aplicações de campo e isso faz com que o metabolismo seja normalmente estabelecido a partir de valores referenciais tabelados.

A Tabela 5.1 reúne taxas de metabolismo para diferentes atividades, com as quais é possível calcular a taxa de metabolismo média de um ciclo de trabalho composto por várias tarefas. Esse metabolismo representativo de um ciclo de trabalho pode ser calculado pela média ponderada do metabolismo de cada tarefa realizada em relação ao tempo.

Tabela 5.1 Metabolismo para diferentes atividades

Atividade	(met)	(W/m²)
<u>Repouso</u>		
• Dormindo	0,7	40,7
• Reclinado	0,8	46,6
• Sentado, quieto	1,0	58,2
• Em pé, sem esforço	1,2	69,8
<u>Andando</u>		
Superfície plana e sem carga		
• 2 km/h	1,9	110
• 3 km/h	2,4	140
• 4 km/h	2,8	165
• 5 km/h	3,4	200
Superfície plana com carga, 4 km/h		
• 10 kgf	3,2	185
• 30 kgf	4,3	250
• 50 kgf	6,2	360
Aclive e sem carga, 3 km/h		
• inclinação 5°	3,3	195
• inclinação 10°	4,7	275
• inclinação 15°	6,7	390
Declive e sem carga, 5 km/h		
• inclinação 5°	2,2	130
• inclinação 10°	1,9	115
• inclinação 15°	2,1	120
Subindo escada, altura do degrau 0,17m		
• 80 degraus por minuto	7,6	440
Descendo escada, altura do degrau 0,17m		
• 80 degraus por minuto	2,7	155
<u>Indústria da construção civil</u>		
Assentamento de tijolos (construindo muro de mesma área)		
• tijolo sólido (peso de 3,8 kgf)	2,6	150
• tijolo furado (peso de 4,2 kgf)	2,4	140
• bloco furado (peso de 15,3 kgf)	2,1	125
• bloco furado (peso de 23,4 kgf)	2,3	135
Colocando pedregulho num carrinho	4,7	275
Empurrando carrinho em terreno plano, carga de 100 kgf, velocidade de 4,5 km/h	3,9	230
Misturando argamassa	2,7	155
Fazendo forma para concretagem	3,1	180
Concretando fundação	4,7	275
Compactando concreto com vibrador	3,8	220
Subindo em escada portátil com 70° de inclinação, velocidade de 11,2 m/min		
• sem carga	5,0	290
• com 20 kgf de carga	6,2	360
Cavando uma vala	4,6 a 5,3	270 a 310

Fonte : Compilação ASHRAE (1997a), ISO 8996 (1990)

Tabela 5.1 Metabolismo para diferentes atividades (continuação)

Atividade	(met)	(W/m²)
<u>Serviço de carpintaria</u>		
Serrando manualmente	4,0 a 4,8	233 a 280
Serrando com máquina	1,8 a 2,2	105 a 128
Aplainando manualmente	5,6 a 6,4	326 a 372
<u>Trabalho em fundição</u>		
Moldagem manual de peças		
• peças de tamanho pequeno	2,4	140
• peças de tamanho médio	4,9	285
• usando martetele pneumático	3,0	175
Limpeza e rebarbação		
• trabalho com martetele pneumático	3,0	175
• esmerilhamento, corte	3,0	175
<u>Industria mecânica</u>		
Trabalho em máquina ferramenta		
• leve (ajustar, montar)	1,7	100
• médio	2,4	140
• pesado	3,6	210
Trabalho com ferramenta manual		
• leve (polimento leve)	1,7	100
• médio (polimento)	2,7	160
• pesado (furação pesada)	3,9	230
<u>Agricultura</u>		
Escavando com pá (24 levantamentos/min)	6,5	380
Cavando com enxada (peso da enxada 1,25kgf)	2,9	170
Arando com junta de cavalos	4,0	235
Arando com trator	2,9	170
Aplicando fertilizante na terra		
• manualmente	4,8	280
• com máquina puxada por cavalos	4,3	250
• com trator	1,6	95
<u>Trabalho doméstico</u>		
Limpando a casa	1,7 a 3,4	100 a 200
Cozinhando	1,4 a 2,3	80 a 135
Lavando louça, em pé	2,5	145
Lavando e passando a ferro	2,1 a 3,8	120 a 220
Fazendo compras	1,4 a 1,8	81 a 105
<u>Trabalho escritório</u>		
Datilografando	1,2 a 1,4	70 a 81
Desenhando	1,1 a 1,3	64 a 76
<u>Motorista</u>		
• Carro	1,5	87
• Veículo pesado	3,2	186
• Motocicleta	2,0	116

Fonte : Compilação ASHRAE (1997a), ISO 8996 (1990)

Tabela 5.1 Metabolismo para diferentes atividades (continuação)

Atividade	(met)	(W/m²)
Outras atividades		
Balconista	2,0	116
Professor	1,6	93
Borracheiro	2,2 a 3,0	128 a 175
Laboratorista	1,4 a 1,8	81 a 105
Trabalho leve em bancada e sentado	1,1	64

Fonte : Compilação ASHRAE (1997a), ISO 8996 (1990)

As Tabelas de 5.2 a 5.5 podem ser usadas para calcular a taxa de metabolismo de uma atividade, decompondo-a nos movimentos necessários a sua execução. Nesse caso a taxa de metabolismo é obtida somando-se ao metabolismo basal as parcelas de metabolismo devido à postura e movimentos corporais.

Tabela 5.2 Metabolismo basal para pessoa padrão

Características	Homens	Mulheres
Altura (m)	1,7	1,6
Peso (kgf)	70	60
Área superficial (m ²)	1,8	1,6
Idade (anos)	35	35
Taxa metabolismo basal (W/m ²)	44	41

Fonte: ISO 8996 (1990). p.11

Tabela 5.3 Taxa de metabolismo devido a postura corporal, valores excluem metabolismo basal

Postura do corpo	Taxa metabolismo (W/m²)
Sentado	10
Ajoelhado	20
Agachado	20
Em pé	25
Em pé imóvel (posição de sentido)	30

Fonte: ISO 8996 (1990). p.12

Tabela 5.4 Taxa de metabolismo devido a diferentes tipos de trabalho, valores excluem metabolismo basal.

Tipo de trabalho	Taxa metabolismo (W/m²)
Trabalho manual	
leve	15
mediano	30
pesado	40
Trabalho de um braço	
leve	35
mediano	55
pesado	75
Trabalho dos dois braços	
leve	65
mediano	85
pesado	105
Trabalho do tronco	
leve	125
mediano	190
pesado	280
muito pesado	390

Fonte: ISO 8996 (1990). p.12, modificada

Tabela 5.5 Taxa de metabolismo relacionada ao movimento do corpo, valores excluem metabolismo basal mas incluem metabolismo devido a postura em pé.

Tipo de trabalho	Taxa metabolismo relacionada a velocidade do trabalho (W/m²)/(m.s⁻¹)
Andando, 2 km/h a 5 km/h	110
Subindo andando, 2 km/h a 5 km/h	
inclinação 5°	210
inclinação 10°	360
Descendo andando, 2 km/h a 5 km/h	
inclinação 5°	60
inclinação 10°	50
Andando com carga nas costas, 4 km/h	
carga 10 kg	125
carga 30 kg	185
carga 50 kg	285

Fonte: ISO 8996 (1990). p.12

Tabela 5.5 Taxa de metabolismo relacionada ao movimento do corpo, valores excluem metabolismo basal mas incluem metabolismo devido a postura em pé. (continuação)

Tipo de trabalho	Taxa metabolismo relacionada a velocidade do trabalho (W/m²)/(m.s⁻¹)
Subindo escada	1725
Descendo escada	480
Subindo escada inclinada	
sem carga	1660
carga 10 kg	1870
carga 50 kg	3320
Subindo escada vertical	
sem carga	2030
carga 10 kg	2335
carga 50 kg	4750

Fonte: ISO 8996 (1990). p.12

A Tabela 5.6 a seguir mostra dois exemplos da estimativa da taxa de metabolismo pela decomposição da tarefa em movimentos e esforços. É interessante notar no primeiro exemplo da Tabela 5.6 que o metabolismo relativo à postura em pé curvado foi considerado 30 W/ m² porque essa posição exige maior trabalho muscular, e portanto maior produção de energia, que a posição em pé (25 W/ m², ver Tabela 5.3) e que no segundo exemplo, o metabolismo devido à postura é zero porque essa parcela já está incluída no metabolismo devido ao movimento do corpo (ver título da Tabela 5.5).

Tabela 5.6 Exemplo da estimativa da taxa de metabolismo de uma tarefa decompondo-a nos movimentos e esforços necessários a sua execução.

Atividade	Taxa metabólica (W/m ²)				Total
	Basal (homem)	Postura corporal	Tipo de trabalho	Movimento do corpo	
Aplainando pranchas manualmente (em pé curvado com leve trabalho de tronco)	44	30	125	0	200
Empurrando um carro (andando, trabalho pesado com o tronco)	44	0	280	110	435

Nota: Resultados arredondados para valores múltiplos de 5 W/m²

Taxas de metabolismo de trabalhadores brasileiros

O estabelecimento da taxa de metabolismo representativa de um ciclo de trabalho é uma tarefa que exige não só o conhecimento das atividades executadas, frequência e tempo gasto, como também de quem as faz e de que forma. Os dados referentes às atividades podem ser obtidos cronometrando-se um dia típico de trabalho, mas informações precisas sobre o consumo de energia ou taxa de metabolismo só podem ser conseguidas com medições realizadas durante o trabalho, pois são dependentes de fatores individuais e do método utilizado na execução das tarefas.

Infelizmente não há grande disponibilidade de dados sobre a taxa de metabolismo de trabalhadores brasileiros e as únicas informações encontradas foram dos trabalhos de GOMES (1978) e de COUTO (1995). Esses autores mediram, durante o trabalho, a taxa de metabolismo dos trabalhadores pelo método do consumo de oxigênio; Gomes analisou atividades do setor Automobilístico e Couto do setor da Construção Civil, Florestal e Metalúrgico. As Tabelas de 5.7 a 5.9 trazem as taxas de metabolismo encontradas nesses trabalhos; é importante ressaltar que nas tabelas de Couto as taxas de metabolismo são dadas em W e não em W/m^2 porque o autor não faz referência à área superficial do corpo dos trabalhadores analisados. A título de informação a área superficial média dos trabalhadores do sexo masculino avaliados por GOMES (1978) foi de $1,72 m^2$ enquanto que a ISO 9920 (1995) considera que o homem padrão (1,70 m e 70 kg) tem área superficial de $1,80 m^2$.

Tabela 5.7 Taxa de metabolismo, por função, de trabalhadores brasileiros do setor Automobilístico.

Função	Taxa de metabolismo (W/m²)	desvio padrão
Prático	210	± 53
Ponteador	199	± 6
Montador de produção (masculino)	172	± 45
Preparação de carroceria	139	± 39
Funileiro	146	± 39
Prensista	127	± 35
Montador de produção (feminino)	132	± 38
Operador de máquinas	118	± 25
Preparador de máquinas	111	± 21
Pintor	111	± 2
Soldador	109	± 10
Costureira	106	± 14

Fonte: Gomes (1978), modificada.

Tabela 5.8 Taxa de metabolismo, por função, de trabalhadores brasileiros do setor Metalúrgico e carregadores de caminhão.

Funções	Taxa de metabolismo (W)	desvio padrão
Indústria Metalúrgica		
Operador de máquinas operatrizes	181	± 70
Controladores de qualidade	230	± 91
Auxiliares de fornos tratamento térmico	237	± 28
Operador de prensas leves de forjamento	259	± 77
Mecânicos industriais	377	± 112
Chapas de caminhão		
Carregadores de caixas de laranja	489	± 133
Carregadores de sacas de mantimentos	565	± 105

Fonte: Couto (1995), modificada.

Tabela 5.9 Taxa de metabolismo, por atividade, de trabalhadores brasileiros do setor Florestal e de Construção Civil.

Atividades	Taxa de metabolismo (W)	desvio padrão
Trabalho florestal com motosserra		
Derrubada de árvore	440	
Desgalhamento e toragem	516	
Movimentação e empilhamento dos troncos	544	
Servente de pedreiro		
Varrer	253	± 47
Limpeza da galeota e betoneira	216	± 63
Limpeza de sujeira com carrinho de mão	290	± 51
Carregando madeira e ferro	307	± 43
Trabalho na betoneira	190	± 47
Concretar	311	± 111
Quebrar concreto	295	± 56
Manuseio e empilhamento de sacos de cimento	449	± 50
Peneirar areia	295	± 95
Remoção de brita	304	± 36
Encher a galeota com argamassa	335	± 95
Transportar a galeota com argamassa	399	± 49
Transportar e manusear tijolos	352	± 37
Encher carrinho com terra ou areia	255	± 99
Transporte de carrinho com areia	433	± 78
Subir e descer escadas	331	± 44
Média das funções do servente de pedreiro	313	± 62

Fonte: Couto (1995), modificada.

5.1.4.1.2 Isolamento térmico das vestimentas

A resistência à troca de calor sensível, por convecção, radiação e condução, e a resistência à troca de calor latente, por evaporação do suor, são propriedades das vestimentas que determinam a sua interferência no conforto térmico. Essa resistência deve-se ao material de fabricação da vestimenta, ao ar nele contido e também à camada de ar que rodeia a sua superfície externa.

HAVENITH (1999) afirma que para a maioria dos materiais de fabricação das roupas o volume de ar contido é muito maior que o volume das fibras componentes e portanto o isolamento depende muito mais da espessura do material, que é a camada de ar contida, do que do tipo de fibra. A fibra influencia principalmente no calor trocado por radiação em função das suas propriedades de absorção, reflexão e emissão. O tipo de fibra e o seu entrelaçamento determinam outras características da vestimenta como permeabilidade ao ar e absorção de umidade, que podem afetar o isolamento e transferência de calor latente em ambientes com alta umidade e velocidade do ar.

O isolamento proporcionado por uma roupa depende também do modelo de fabricação. As roupas justas aprisionam uma camada de ar mais delgada e assim apresentam menor isolamento. As aberturas existentes permitem a entrada de ar e assim favorecem a troca de calor.

O movimento do corpo e o vento diminuem o isolamento provocado pelas vestimentas pois provocam a troca das camadas de ar contida e externa.

A resistência imposta pelas vestimentas à troca de calor sensível do corpo pode ser expressa pelo isolamento térmico total, pelo isolamento térmico efetivo ou pelo isolamento térmico básico.

O isolamento térmico total (I_t) é o isolamento da superfície da pele até o ambiente, incluindo a resistência da camada de ar que rodeia a vestimenta e o efeito de que um corpo vestido possui área superficial maior que um corpo nu. O maior obstáculo à utilização do I_t é a grande influência da velocidade e temperatura do ar na resistência da camada de ar que rodeia a vestimenta; isso faz com que a mesma roupa tenha diferentes valores de I_t em diferentes ambientes.

$$I_t = \frac{t_s - t_o}{Q_{sk}} \quad (5.31)$$

onde:

- I_t Isolamento térmico total, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
- t_s Temperatura média da pele, ($^\circ C$);
- t_o Temperatura operante, ($^\circ C$);
- Q_{sk} Perda de calor sensível por m^2 de pele, W/m^2 .

O isolamento térmico efetivo (I_{cle}) é o isolamento proporcionado só pela vestimenta e é obtido subtraindo-se do isolamento total a parcela referente à camada superficial de ar que rodeia a roupa. O isolamento da camada superficial de ar que circunda o corpo é medido com manequim térmico nu e isso faz com que o processo de troca de calor não seja completamente representado por esse isolamento por que um corpo nu possui área superficial menor do que um corpo vestido.

$$I_{cle} = \frac{t_s - t_o}{Q_{sk}} - I_a \quad (5.32)$$

onde:

- I_{cle} Isolamento térmico efetivo, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
- I_a Resistência da camada superficial de ar, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

O isolamento térmico intrínseco ou básico (I_{cl}) é o isolamento da pele até a superfície da vestimenta, incluindo o fator de área da vestimenta (f_{cl}), que é a relação entre a área superficial do corpo vestido e do corpo nu. O f_{cl} é determinado pelo método fotográfico, comparando-se a

área de um corpo vestido com a área do corpo nu projetada em seis direções, mas pode ser estimado por equações como a 5.5 ou 5.6 e 5.7 que o relacionam com o isolamento térmico da roupa.

$$I_{cl} = \frac{t_s - t_o}{Q_{sk}} - \frac{I_a}{f_{cl}} \quad (5.33)$$

onde:

I_{cl} Isolamento térmico básico, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
 f_{cl} Fator de área da vestimenta.

A resistência imposta pelas vestimentas à troca de calor latente do corpo com o ambiente tem sido caracterizada por três métodos principais. O primeiro estima a resistência total à evaporação (R_t) através do isolamento térmico básico (I_{cl}). A equação representativa desse método é válida para uma ou duas camadas de vestimentas permeáveis.

$$R_t = 0,06 \cdot \left[\frac{1}{h_c} + 2,22 \cdot (I_{cl} - I_a) \cdot \left(1 - \frac{1}{f_{cl}} \right) \right] \quad (5.34)$$

$$I_a = \frac{1}{(h_r + h_c)} \quad (5.35)$$

onde:

R_t Resistência total à evaporação da umidade da pele até o ambiente, isto é, incluindo a resistência da camada superficial de ar, ($m^2 \cdot kPa/W$);
 I_{cl} Isolamento térmico básico, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
 I_a Resistência da camada superficial de ar, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
 f_{cl} Fator de área da vestimenta;
 h_r Coeficiente de troca de calor por radiação, ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);
 h_c Coeficiente de troca de calor por convecção, ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

O segundo método estima a resistência à difusão de água pelo índice de permeabilidade (i_m) e a relação de Lewis (L) (relação entre os coeficientes de transferência de calor por

evaporação e convecção que para os ambientes internos é aproximadamente igual a 16,5 °C/kPa). O índice i_m expressa não só a influência da vestimenta, mas também, da camada de ar que a rodeia na resistência à evaporação e por isso depende da velocidade e da temperatura do ar no ambiente. O índice i_m é a razão entre a verdadeira capacidade de transferência de calor latente e de calor sensível da pele para o ambiente, comparada com a relação de Lewis.

$$R_t = \frac{I_t}{L \cdot i_m} = \frac{0,06}{i_m} \cdot \left(\frac{I_a}{f_{cl}} + I_{cl} \right) \quad (5.36)$$

onde:

- R_t Resistência total à evaporação da pele até o ambiente, isto é, incluindo a resistência da camada superficial de ar, ($m^2 \cdot kPa/W$);
- I_t Isolamento térmico total da vestimenta, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
- L Relação de Lewis, $L = 16,5 \text{ } ^\circ C/kPa$;
- i_m Índice de permeabilidade ao vapor d'água;
- I_a Resistência da camada superficial de ar, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$);
- f_{cl} Fator de área da vestimenta;
- I_{cl} Isolamento térmico básico, ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).

A norma ISO 9920 (1995) traz valores de i_m para algumas vestimentas normais de trabalho e para vestimentas de proteção. Dos valores apresentados por essa norma pode-se notar que i_m pode ser considerado igual a 0,38 para a maioria das vestimentas normais e assim a equação 5.36 pode ser simplificada:

$$R_t = 0,16 \cdot \left(\frac{I_a}{f_{cl}} + I_{cl} \right) \quad (5.37)$$

O terceiro método calcula a resistência total à evaporação (R_t) pela soma da resistência da camada de ar ($R_{e,a}$) com a resistência da camada de vestimenta ($R_{e,cl}$).

$$R_t = R_{e,a} + R_{e,cl} \quad (5.38)$$

$$R_{e,a} = \frac{0,06}{f_{cl} \cdot h_c} \quad (5.39)$$

$$R_{e,cl} = \frac{0,06 \cdot I_{cl}}{i_{cl}} \quad (5.40)$$

onde:

i_{cl} Índice de permeabilidade só da camada de vestimenta.

O índice i_{cl} refere-se só à vestimenta e é a razão entre a verdadeira capacidade de transferência de calor latente e de calor sensível através da vestimenta, comparada com a relação de Lewis. De acordo com a ISO 9920 (1995) i_{cl} pode ser considerado igual a 0,34 para a maioria das roupas constituídas de uma ou duas camadas de vestimentas permeáveis. Assim a equação 5.40 pode ser simplificada para:

$$R_{e,cl} = 0,18 \cdot I_{cl} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{kPa/W}) \quad (5.41)$$

O VME usa o isolamento térmico básico para diferenciar as vestimentas e portanto não leva em conta a permeabilidade do tecido à umidade. Essa permeabilidade não tem grande influência para atividades sedentárias em ambientes com temperaturas próximas à de conforto mas quando o nível de atividade e/ou a temperatura aumentam, essa propriedade é relevante devido à maior necessidade do corpo perder calor por evaporação do suor, para manter o equilíbrio térmico.

Na prática, o isolamento térmico de uma roupa é calculado pelo somatório dos isolamentos das peças que a compõem, conseguidos em tabelas como as da ISO 7730 (1994) e ISO 9920 (1995). Os valores listados nessas tabelas foram obtidos em medições realizadas em câmaras climatizadas com o uso de manequins térmicos, fixos na posição em pé. As condições dos testes não reproduzem as situações reais em que o isolamento sofre a influência de fatores como a velocidade do ar, a postura e o movimento do corpo.

A ISO 7730 (1994) cita, no seu anexo E, que a cadeira pode contribuir com um isolamento adicional de 0 clo a 0,4 clo, dependendo da área de contato com o corpo, quando são realizadas atividades sedentárias na posição sentado e remete à ISO 9920 para maiores informações; no entanto essas informações não estão na norma citada e sim no trabalho de MCCULLOUGH et al. (1994).

Quanto à influência do movimento do corpo e da velocidade do ar, a ISO 9920 (1995) cita, no seu item 5, que o *efeito de bombeamento* causado pelo movimento do corpo pode reduzir de 5% a 50% o isolamento térmico de uma vestimenta e que a interferência do vento depende da permeabilidade do tecido e das aberturas existentes, recomendando uma redução no isolamento de 20% para taxas de metabolismo superiores a 100 W/m² e de 10% para valores entre 60 W/m² e 100 W/m².

As normas tratam dessas interferências superficialmente, dificultando a sua consideração nas aplicações práticas.

HOLMER et al. (1999) e HOLMER & HAVENITH (2001) baseiam-se em experimentos com manequim móvel e com pessoas para propor as equações seguintes que relacionam o isolamento térmico total de um corpo em movimento submetido à ação do vento ($I_{t,din}$) com o isolamento total obtido com o corpo parado e sem vento ($I_{t,est}$):

Equação válida para o corpo nu (refere-se a alteração do isolamento da camada de ar que circunda o corpo, $I_{a,din}$):

$$\frac{I_{a,din}}{I_{a,est}} = e^{(-0,472.v+0,047.v^2 -0,342.w+0,117.w^2)} \quad (5.42)$$

Equação válida para o corpo vestido:

$$\frac{I_{t,din}}{I_{t,est}} = e^{(0,043-0,398.v+0,066.v^2-0,378.w+0,094.w^2)} \quad (5.43)$$

onde:

- $I_{a,din}$ Isolamento da camada de ar que circunda o corpo em movimento, $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$;
- $I_{a,est}$ Isolamento da camada de ar que circunda o corpo parado, $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$;
- v Velocidade do ar no ambiente, m/s;
- w Velocidade devido ao movimento do corpo, m/s.

Quando não é possível medir a velocidade devido ao movimento do corpo, os autores recomendam a equação seguinte, limitando o valor de w a 0,7 m/s.

$$w = 0,0052.(M - 58) \quad (5.44)$$

onde:

- M Taxa de metabolismo, W/m^2 .

As equações propostas por esses autores aplicam-se para velocidades do ar entre 0,2 e 2 m/s, velocidade devido ao movimento do corpo de até 1,2 m/s e vestimentas com isolamento térmico básico de até 1,30 clo. Para calcular o isolamento térmico básico de um corpo vestido em movimento submetido à ação do vento ($I_{cl,din}$), pode-se usar a seguinte relação:

$$I_{cl,din} = I_{t,din} - \frac{I_{a,din}}{f_{cl}} \quad (5.45)$$

onde:

- $I_{cl,din}$ Isolamento térmico básico dinâmico, $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$;
- $I_{t,din}$ Isolamento térmico total dinâmico, $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$;
- $I_{a,din}$ Isolamento da camada de ar que circunda o corpo em movimento, $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$;
- f_{cl} Fator de área da vestimenta.

O movimento do corpo e o vento afetam também a resistência total à troca por evaporação de uma vestimenta (R_t) e assim HAVENITH et al. (1999) e HAVENITH & HOLMÉR (2001), utilizando a relação existente entre R_t e o isolamento térmico total (I_t), propõem a equação a seguir para calcular essa resistência numa condição dinâmica ($R_{t,din}$):

$$R_{t,din} = \frac{I_{t,din}}{i_{m,din} \cdot L} \quad (5.46)$$

$$i_{m,din} = \left[4,9 - 6,5 \cdot \frac{I_{t,din}}{I_{t,est}} + 2,6 \cdot \left(\frac{I_{t,din}}{I_{t,est}} \right)^2 \right] \cdot i_{m,est} \quad (5.47)$$

onde:

- $R_{t,din}$ Resistência total à troca por evaporação de uma vestimenta, $m^2 \cdot kPa/W$;
- $I_{t,est}$ Isolamento térmico total da vestimenta na condição estática, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;
- $I_{t,din}$ Isolamento térmico total da vestimenta na condição dinâmica, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;
- $i_{m,est}$ Índice de permeabilidade ao vapor d'água da vestimenta na condição estática;
- $i_{m,din}$ Índice de permeabilidade ao vapor d'água da vestimenta na condição dinâmica;
- L Relação de Lewis = $16,5 \text{ } ^\circ C/kPa$.

O isolamento térmico de uma roupa, na prática, é calculado pelo somatório dos isolamentos das peças que a compõem, a Tabela 5.10 a seguir apresenta uma listagem do isolamento térmico efetivo de diversos itens de vestuário com os quais é possível calcular o isolamento térmico básico de uma roupa através da equação 5.8.

É importante ressaltar que não foram encontrados trabalhos sobre isolamento térmico de vestimentas brasileiras e assim não se dispõe de parâmetros que permitam comparar as roupas utilizadas aqui com as da Tabela 5.10, que foram estudadas por OLESEN (1985) e formam a base das tabelas da ISO 9920 (1995).

Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário

ITENS DE VESTUÁRIO	material de fabricação	massa (g)	I_{cle} (clo)
<u>Roupa de baixo</u>			
sutiã	-----	44	0,01
calcinha	nylon	27	0,03
cueca	poliéster, algodão	66	0,03
cueca	algodão	65	0,04
ceroula até acima do joelho	lã	137	0,06
ceroula até abaixo do joelho	algodão	186	0,08
ceroula até o tornozelo	lã	198	0,12
baby-doll acima do joelho	nylon	65	0,14
baby-doll altura do joelho	nylon	82	0,16
camiseta sem manga	algodão	150	0,06
camiseta sem manga	poliéster, algodão	106	0,05
camiseta com manga curta	algodão	105	0,08
camiseta com manga curta	algodão	180	0,10
camiseta com manga longa	algodão	200	0,12
<u>Camisas, camisetas e blusas</u>			
camisa com gola, manga longa	algodão	362	0,33
camisa com gola, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	196	0,25
camisa com gola, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	156	0,19
camisa com gola, manga longa	80% algodão, 20% poliéster	309	0,34
camisa com gola, manga curta	algodão	284	0,24
camisa esporte, manga curta	100% algodão	228	0,17
camiseta sem manga	algodão	210	0,18
camiseta sem manga	65% poliéster, 35% algodão	117	0,13
blusa gola olímpica, manga longa	algodão	344	0,34
blusa feminina com gravata, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	382	0,33
blusa feminina com gravata, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	206	0,25
blusa feminina gola canoa, manga média	65% poliéster, 35% algodão	142	0,27
corpete	100% poliéster	67	0,06
<u>Calças</u>			
calça folgada	algodão	513	0,22
calça folgada	50% poliéster, 50% lã	459	0,28
calça justa	80% lã, 20% nylon	433	0,22
calça justa	algodão	640	0,26
calça justa	algodão	446	0,18
calça justa	50% poliéster, 50% lã	404	0,24
calça de trabalho	100% algodão	832	0,24
<u>Shorts e bermudas</u>			
short	100% algodão	164	0,06
bermuda até o joelho	algodão	195	0,11
bermuda até o joelho	50% poliéster, 50% lã	251	0,17

Fonte: ISO 9920 (1995), modificada.

Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário (continuação)

ITENS DE VESTUÁRIO	material de fabricação	massa (g)	I_{cle} (clo)
<u>Jardineiras e macacões</u>			
jardineira	65% poliéster, 35% algodão	755	0,24
jardineira	algodão	910	0,28
jardineira	64% algodão, 36% poliéster	854	0,3
macacão manga longa	algodão	1260	0,52
macacão manga longa	65% poliéster, 35% algodão	1140	0,49
macacão manga longa	100% algodão	995	0,49
macacão feminino com cinto, manga longa	algodão	891	0,46
macacão feminino com cinto, manga longa	algodão	1331	0,49
<u>Suéteres, coletes</u>			
manga longa, gola em V	100% acrílico	215	0,25
manga longa, gola canoa	85% lã, 15% nylon	424	0,36
manga longa, gola olímpica (leve)	50% algodão, 50% poliéster	231	0,26
manga longa, gola olímpica (pesado)	85% lã, 15% nylon	459	0,37
manga curta, gola em V	100% acrílico	188	0,2
manga curta, gola canoa	85% lã, 15% nylon	355	0,28
sem manga, gola em V	100% acrílico	130	0,13
sem manga, gola canoa	85% lã, 15% nylon	301	0,22
tipo cardigã, manga longa, gola em V	100% acrílico	215	0,23
tipo cardigã, manga longa, gola canoa	85% lã, 15% nylon	424	0,31
tipo cardigã, manga curta, gola em V	100% acrílico	188	0,17
tipo cardigã, manga curta, gola canoa	85% lã, 15% nylon	355	0,22
colete	100% algodão	160	0,1
colete	50% lã, 50% poliéster	185	0,17
colete de terno	algodão	214	0,13
colete de terno	80% lã, 20% nylon	207	0,13
<u>Jaquetas e paletós</u>			
jaqueta feminina sem botão	65% poliéster, 35% algodão	640	0,26
jaqueta de trabalho	algodão	652	0,26
jaqueta de trabalho	65% poliéster, 35% algodão	610	0,21
jaqueta de trabalho	algodão	885	0,39
jaqueta de trabalho, feminina	65% poliéster, 35% algodão	400	0,24
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	100% algodão	518	0,36
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	80% lã, 20% nylon	699	0,45
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	algodão	794	0,46
paletó justo, uma fileira de botões	algodão	725	0,4
paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	50% lã, 50% poliéster	652	0,44
paletó tipo jaquetão, duas fileiras de botões	100% algodão	562	0,42
paletó tipo jaquetão, duas fileiras de botões	50% lã, 50% poliéster	702	0,48

Fonte: ISO 9920 (1995), modificada.

Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário (continuação)

ITENS DE VESTUÁRIO	material de fabricação	massa (g)	I_{cle} (clo)
<u>Casacos</u>			
altura do quadril, folgado	65% poliéster, 35% algodão	745	0,19
alto isolamento, altura do quadril, folgado	poliéster, poliamida	452	0,46
alto isolamento, acima do joelho	poliéster, poliamida	945	0,69
acima do joelho	65% poliéster, 35% algodão	942	0,28
acima do joelho	-----	1440	0,67
acima do joelho com capuz	-----	1440	0,79
abaixo do joelho	-----	1820	0,65
abaixo do joelho	-----	650	0,56
tipo jaqueta	-----	880	0,55
tipo jaqueta, múltiplos componentes	-----	1350	0,69
<u>Sapatos, meias,</u>			
meia grossa, 3/4	poliamida	113	0,11
meia grossa, altura do tornozelo	poliamida	77	0,05
meia grossa, altura do joelho	80% acrílico, 20% nylon	68	0,06
meia fina, altura do joelho	100% nylon	32	0,03
meia 3/4	75% acrílico, 25% nylon	53	0,03
meia esportiva, 3/4	85% acrílico, 15% nylon	82	0,03
sapatos	-----	-----	0,05
sapatos de camurça, sola de borracha	-----	-----	0,02
sapatos, sola dura, vinil	-----	1006	0,03
tênis lona, sola leve	-----	812	0,02
sandálias, vinil	-----	346	0,02
<u>Saias</u>			
até o tornozelo	100% algodão	284	0,23
até o tornozelo	50% lã, 50% poliéster	378	0,28
até 0,15 m abaixo do joelho	100% algodão	288	0,18
até 0,15 m acima do joelho	100% algodão	179	0,10
até o joelho	100% algodão	229	0,14
até o joelho	50% lã, 50% poliéster	305	0,23
até o joelho	algodão	437	0,17
até o joelho	algodão	519	0,17
até o joelho	80% lã, 20% nylon	330	0,19
até o joelho	35% algodão, 65% poliéster	250	0,15
até o joelho, com abertura	100% algodão	194	0,14
até o joelho, totalmente pregueado	100% algodão	271	0,14
até o joelho, totalmente pregueado	50% lã, 50% poliéster	359	0,22
até o joelho, totalmente pregueado	algodão	612	0,18
até o joelho, plissado	100% algodão	410	0,16
até o joelho, plissado	50% lã, 50% poliéster	539	0,26

Fonte: ISO 9920 (1995), modificada.

Tabela 5.10 Isolamento térmico dos itens de vestuário (continuação)

ITENS DE VESTUÁRIO	material de fabricação	massa (g)	I_{cle} (clo)
<u>Vestidos</u>			
até o joelho, manga longa, com colarinho	35% algodão, 65% poliéster	254	0,32
até o joelho, manga longa, com colarinho	50% lã, 50% poliéster	280	0,47
até o joelho, manga longa, com colarinho	35% algodão, 65% poliéster	283	0,35
até o joelho, manga longa, com colarinho	algodão	470	0,41
até o joelho, manga longa, com colarinho	algodão	732	0,40
até o joelho, manga longa, com colarinho	algodão	1099	0,39
até o joelho, manga curta, com colarinho	35% algodão, 65% poliéster	237	0,29
até o joelho, sem manga, gola esporte	35% algodão, 65% poliéster	153	0,23
até o joelho, sem manga, gola esporte	50% lã, 50% poliéster	141	0,27
até o joelho, sem manga, gola esporte	5% algodão, 65% poliéster	177	0,26
<u>Roupas de proteção</u>			
macacão de proteção química, manga longa		1340	0,6
avental até o joelho, retardante de chama	100% algodão	-----	0,12
guarda-pó, acima do joelho	-----	547	0,34
guarda-pó, abaixo do joelho	-----	575	0,36
casaco, altura do quadril, aluminizado	100% PFR viscose	-----	0,63
casaco, altura do quadril, aluminizado	-----	830	0,42
casaco, até a panturrilha, aluminizado	100% PFR viscose	-----	0,94
capa contra chuva, altura do quadril	-----	500	0,31
perneiras, retardante de chama	100% algodão	-----	0,08
mangas ombro - pulso, aluminizadas	100% PFR viscose	-----	0,11
mangas braço - pulso, retardante de chama	100% algodão	-----	0,05
<u>Ambientes frios</u>			
jaqueta alto isolamento	poliamida	437	0,43
jaqueta alto isolamento	poliamida	434	0,40
jaqueta alto isolamento	poliamida	417	0,39
jaqueta alto isolamento	poliamida, poliéster	292	0,38
jaqueta alto isolamento com capuz	poliamida	472	0,37
calça alto isolamento	poliamida	341	0,40
calça alto isolamento	poliamida, poliéster	225	0,35
calça alto isolamento	poliamida, poliéster	292	0,32
macacão alto isolamento	poliamida	1215	1,13
macacão alto isolamento	poliamida, poliéster	615	0,80

Fonte: ISO 9920 (1995), modificada.

5.1.4.2 Variáveis ambientais

O comportamento térmico de uma edificação depende principalmente:

- da condição climática, caracterizada pela temperatura e umidade relativa do ar exterior, velocidade e direção do vento e radiação solar direta e difusa;
- do projeto e construção, devido ao modelo arquitetônico escolhido, condições de implantação (orientação do sol), tipo de sistema de ventilação e materiais utilizados;
- da manutenção, necessária à preservação das condições inicialmente idealizadas;
- do uso da edificação, definido pelos equipamentos utilizados e atividades desenvolvidas;
- da ocupação, relacionada ao número de ocupantes e horário em que as pessoas estão no local.

Para o levantamento das variáveis ambientais de conforto todos esses fatores que influenciam no comportamento térmico de uma edificação têm de ser levados em conta, de modo que os valores obtidos nas medições sejam realmente representativos da condição de conforto térmico habitualmente existente. É importante considerar que as quantidades medidas podem variar significativamente no tempo e no espaço.

5.1.4.2.1 Considerações sobre métodos

a) Escolha dos pontos de medição

As medições têm de ser planejadas de acordo com a natureza do problema a ser estudado e com as condições específicas de cada ambiente. Quando o objetivo é conhecer a situação de um determinado posto de trabalho, os equipamentos devem ser posicionados de maneira que as medidas expressem de forma o mais realista possível a exposição do trabalhador naquele local.

Se por outro lado o objetivo é fazer um levantamento da situação de conforto num ambiente como um todo, poderia-se imaginar a divisão da área ocupada em múltiplos quadrados iguais, por exemplo quadrados de 2 a 4 m de lado, e medir as variáveis ambientais no centro desses quadrados. Exceção é feita para o caso da umidade relativa, que na ausência de processo que interfira na umidade do ambiente, pode ser medida em qualquer ponto da área ocupada.

b) Posicionamento dos instrumentos em relação ao solo

A ISO 7726 (1998) recomenda que as medições sejam feitas a 0,60 m do piso para pessoas sentadas e a 1,10 m do piso para pessoas em pé. Quando houver a possibilidade de heterogeneidade, as medições devem ser feitas a 0,10 m, 0,60 m e 1,10 m do piso para pessoas sentadas e a 0,10 m, 1,10 m e 1,70 m para pessoas em pé. Para verificar a existência de heterogeneidade, efetua-se, num mesmo instante, medições nas três alturas especificadas acima e compara-se os valores obtidos com a média aritmética deles. A heterogeneidade é caracterizada por valores fora dos intervalos seguintes:

- Temperatura do ar: $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura radiante média: $\pm 4^{\circ}\text{C}$
- Velocidade média do ar: $\pm (0,01+0,01.v)$ m/s.

Quando as medições são realizadas nas três alturas, a média aritmética dos valores obtidos é considerada para o cálculo do Voto Médio Estimado (VME) naquele ponto.

5.1.4.2.2 Considerações sobre instrumentos

a) Temperatura do ar

A temperatura do ar pode ser medida com termômetros de mercúrio, termômetros de resistência ou termopares, sendo que os primeiros são os mais usados, principalmente por uma questão de custo. A escala mínima do instrumento deve ser de 0 a 50°C e o tempo de resposta adequado ao número de medidas a serem executadas.

A norma ISO 7726 (1998) estabelece que a leitura do medidor só deve ser realizada após uma vez e meia o tempo de resposta (90%)¹⁰ do sensor e sugere um equipamento com precisão de pelo menos $\pm 0,5$ °C.

É importante observar, quando se trata da medição de temperatura do ar, o efeito da radiação das superfícies circundantes sobre o sensor do equipamento de medição. Se a temperatura do ambiente for aproximadamente igual à das superfícies circundantes, o efeito da radiação poderá ser ignorado, mas se a diferença for considerável, deverão ser adotadas medidas como a utilização de sensores refletivos e/ou colocação de anteparos refletivos entre o sensor do equipamento e as superfícies circundantes, de forma a protegê-lo da radiação, sem restringir a passagem de ar pelo sensor.

b) Temperatura radiante média

A radiação térmica recebida por uma pessoa num ambiente pode ser calculada com as temperaturas das superfícies circundantes e os respectivos fatores de ângulo em relação a essa pessoa. Esse método, contudo, é de difícil aplicação prática, por isso a norma ISO 7726 (1998)

¹⁰ Tempo de resposta (90%) é o tempo para um sensor de medida alcançar 90% do valor final.

sugere também equações que permitem calculá-la a partir da temperatura de globo, da velocidade do ar na altura do globo e da temperatura do ar.

A temperatura de globo pode ser definida como a temperatura de equilíbrio do ar confinado numa esfera oca de cobre mantida hermeticamente fechada. Essa esfera (globo) é pintada externamente de preto fosco de modo a ter emissividade de 0,95 . A medição é feita no centro da esfera e para isso pode-se utilizar qualquer um dos instrumentos especificados no item temperatura do ar desde que observados os mesmos requisitos de escala e precisão.

A esfera deve ter aproximadamente 1 mm de espessura e teoricamente qualquer diâmetro uma vez que ele é uma das variáveis das equações de cálculo da temperatura radiante média. Contudo quanto menor ele for, maiores serão as influências da temperatura e velocidade do ar, portanto recomenda-se uma esfera com 0,15 m de diâmetro.

A leitura da temperatura de globo só deve ser realizada após a estabilização do sistema, isto é depois de transcorrido o tempo de resposta do equipamento.

c) Umidade relativa do ar

A umidade relativa pode ser obtida com higrômetros capacitivos, mas o método mais usado é determiná-la a partir das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido psicrométrica e da pressão atmosférica. As temperaturas são medidas com um equipamento chamado psicrômetro e a pressão atmosférica pode ser medida ou calculada da altitude do local.

O psicrômetro é um instrumento que consiste de dois termômetros e um dispositivo que ventila os sensores com ar em velocidade entre 3 e 5 m/s. Um dos sensores é recoberto, sem folgas, por um pavio que tem a extremidade mergulhada em água destilada num reservatório do equipamento. A água sobe por capilaridade do reservatório ao sensor e então é evaporada numa proporção que depende da umidade do ar. Quanto mais seco for o ar, maior o resfriamento

causado pela evaporação. A temperatura medida no termômetro recoberto com o pavio é chamada temperatura de bulbo úmido psicrométrica.

A ISO 7726 (1998) recomenda que o pavio estenda-se além do sensor pelo menos 20 mm para diminuir a influência da troca por condução entre o corpo do termômetro e o sensor. Essa norma sugere também, quando a temperatura radiante média é diferente da temperatura ambiente, a utilização de anteparos refletores entre os sensores do equipamento e as superfícies circundantes, de forma a protegê-los da radiação.

A escala mínima do medidor deve ser de 0 a 40°C e a precisão de pelo menos $\pm 0,5$ °C.

d) Velocidade relativa do ar

É a velocidade que efetivamente atua sobre o corpo humano, sendo, portanto, a resultante de duas componentes: uma é a velocidade do ar incidente sobre a pessoa, considerando-a parada, e a outra é em razão do movimento do corpo na realização de uma tarefa, considerando agora o ar parado. Essa última componente pode ser desprezada para atividades sedentárias, mas tem que ser contabilizada nas atividades que exigem movimentação do corpo. A ISO 7730 (1994) estima que essa componente é zero para as atividades sedentárias ($M \leq 1$ met) e $v_{mc} = 0,3 \cdot (M-1)$ para $M > 1$ met, sendo v_{mc} dada em m/s.

HOLMER et al. (1999) propõem a seguinte equação para o cálculo da velocidade relativa do ar:

$$v_{ar} = \sqrt{v_a^2 + v_{mc}^2} \quad (5.48)$$

onde:

v_a Velocidade do ar no ambiente, m/s;

v_{mc} Velocidade devido ao movimento do corpo, m/s.

A velocidade relativa do ar pode ser medida prendendo-se um anemômetro omnidirecional no corpo do trabalhador durante a execução normal de suas tarefas.

O equipamento normalmente utilizado para medir a velocidade do ar é o termoanemômetro. A ISO 7726 (1998) recomenda equipamentos com capacidade para medir velocidades da ordem de 0,05 m/s, sensor omnidirecional, escala mínima de 0 a 1 m/s, precisão de pelo menos $\pm(0,05 + 0,05.v)$ m/s e tempo de resposta (90%) da ordem de 0,5 s.

Para a obtenção do valor médio da velocidade num determinado ponto, deve-se fazer várias medidas, por exemplo a cada 15 segundos durante um período de 3 a 5 minutos, a fim de considerar as flutuações de velocidade normalmente existentes.

5.2 Software Conforto 2.02

O software Conforto 2.02, desenvolvido com base na sistematização descrita no item anterior e cujo CD de instalação encontra-se no anexo desta tese, objetiva possibilitar a avaliação do conforto térmico nos ambientes edificados a partir dos principais fatores intervenientes na sensação térmica das pessoas. A meta também é possibilitar a simulação de interferências nos ambientes de forma a colaborar no processo de tomada de decisão para melhoria da sensação térmica, principalmente nos locais de trabalho. Uma outra aplicação é como ferramenta para a avaliação “instantânea” da sensação térmica em pesquisas brasileiras sobre conforto térmico.

Para execução da avaliação, os usuários devem fornecer ao software os seguintes valores:

Variáveis ambientais	Temperatura de bulbo seco do ar (°C) Velocidade relativa do ar (m/s) Temperatura radiante média ou Temperatura de globo (°C) Umidade relativa do ar (%) ou Temperatura de bulbo úmido (°C)
Variáveis pessoais	Isolamento térmico da vestimenta (clo) Taxa de metabolismo (W/m ²)

Todas as variáveis podem ser introduzidas diretamente pelo usuário e no caso da temperatura radiante média, umidade relativa do ar, isolamento térmico da roupa e taxa de metabolismo, existem também telas específicas que auxiliam no cálculo ou escolha desses valores.

O programa usa a extensão de arquivos .VME para armazenar os registros dos locais avaliados, a extensão .RTF para criar o respectivo arquivo de texto e a extensão .MET para arquivar informações de taxas de metabolismo de interesse do usuário

A interface do programa com o usuário é composta de oito telas, sendo duas de avaliação e seis auxiliares. As telas de avaliação foram denominadas “Avaliação de conforto térmico” e “Simulação” e as auxiliares foram chamadas “Verificação do desconforto devido ao *Draught*”, “Cálculo da temperatura radiante média”, “Cálculo da umidade relativa”, “Isolamento térmico da roupa”, “Escolha do metabolismo” e “Metabolismo-Criação / Edição de banco de dados”. As telas auxiliares são acessadas pelas telas de avaliação.

A tela “Simulação”, embora desempenhe a mesma função da tela “Avaliação de conforto térmico”, possui opções de menu que facilitam testar modificações nos ambientes avaliados e armazenar essas informações em arquivos independentes.

O software possibilita criar, através da tela “Metabolismo-Criação / Edição de banco de dados”, arquivos de taxas de metabolismo, com extensão .MET, específicos para os locais avaliados. Essa tela conta com uma rotina auxiliar que permite estimar a taxa de metabolismo de uma atividade, decompondo-a nos movimentos necessários para a sua execução. Os arquivos de

taxas de metabolismo criados podem ser carregados quando necessários através de botões existentes na tela “Escolha do metabolismo”.

O programa Conforto 2.02 também dispõe de um menu de ajuda ao usuário que contém explicações sobre a utilização do software e trás um módulo teórico a respeito do conforto térmico onde podem ser encontradas informações relativas ao índice dos Votos Médios Estimados, aos métodos para obtenção das variáveis ambientais e pessoais e também referências bibliográficas.

5.2.1 Interface do programa

5.2.1.1 Tela “Avaliação de conforto térmico”

O conforto térmico é avaliado neste software pelo índice dos Votos Médios Estimados (VME) e pela Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) conforme a norma ISO 7730 (1994). A avaliação é feita clicando-se no botão Avaliação, que só estará ativo quando as caixas de texto referentes às variáveis ambientais e pessoais estiverem preenchidas. A entrada de dados pode ser feita diretamente pelo usuário ou através de telas auxiliares acessíveis através dos botões Calcular ou Escolher. A navegação via teclado nas caixas de entrada é feita acionando a tecla Tab e no menu com a tecla Alt + tecla grifada e posteriormente teclas de direção (↑ ↓ ←.→). As imagens a seguir mostram a utilidade dos botões e menu.

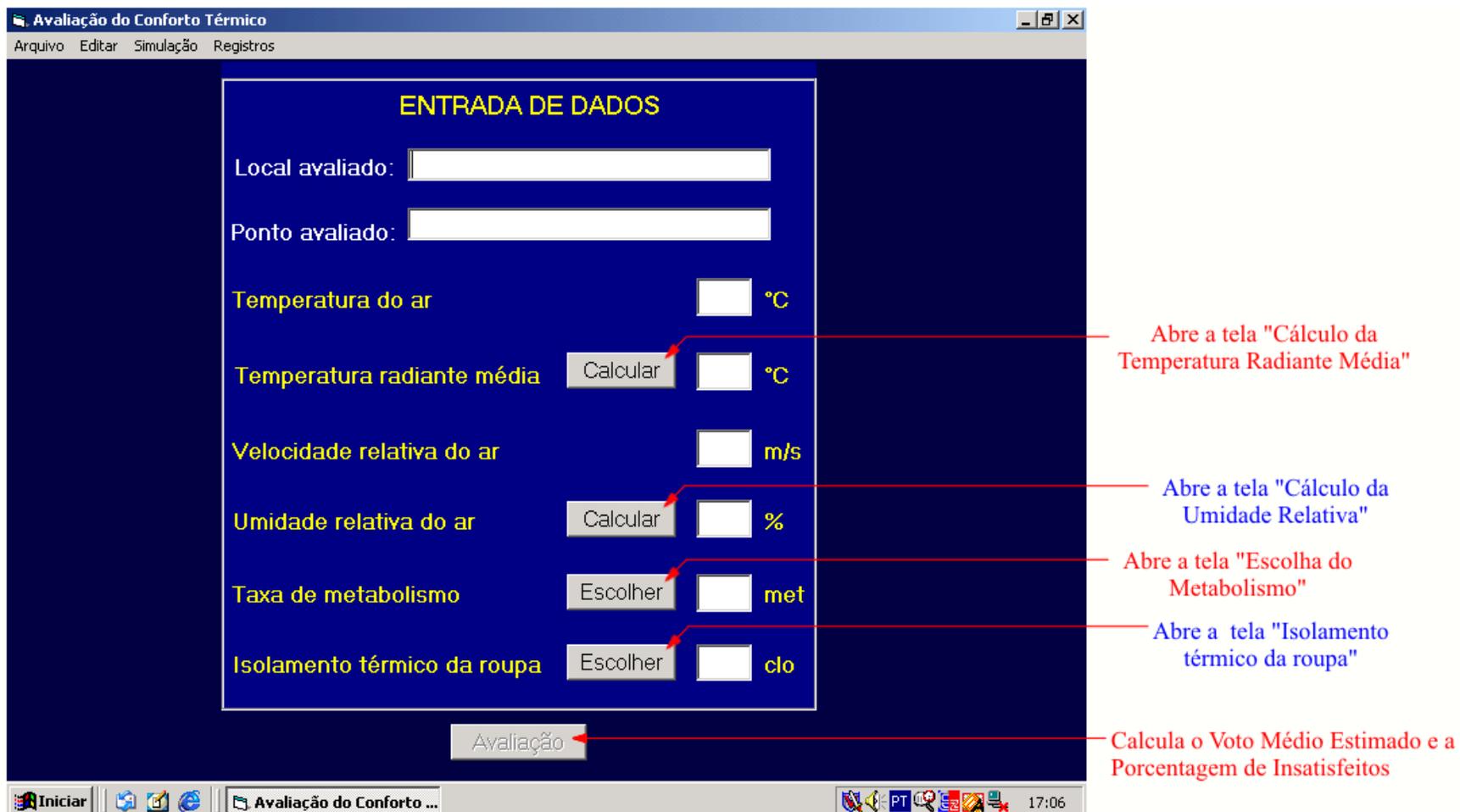


Figura 5.1 Mostra utilidade dos botões na tela “Avaliação de conforto térmico” do software Conforto 2.02.

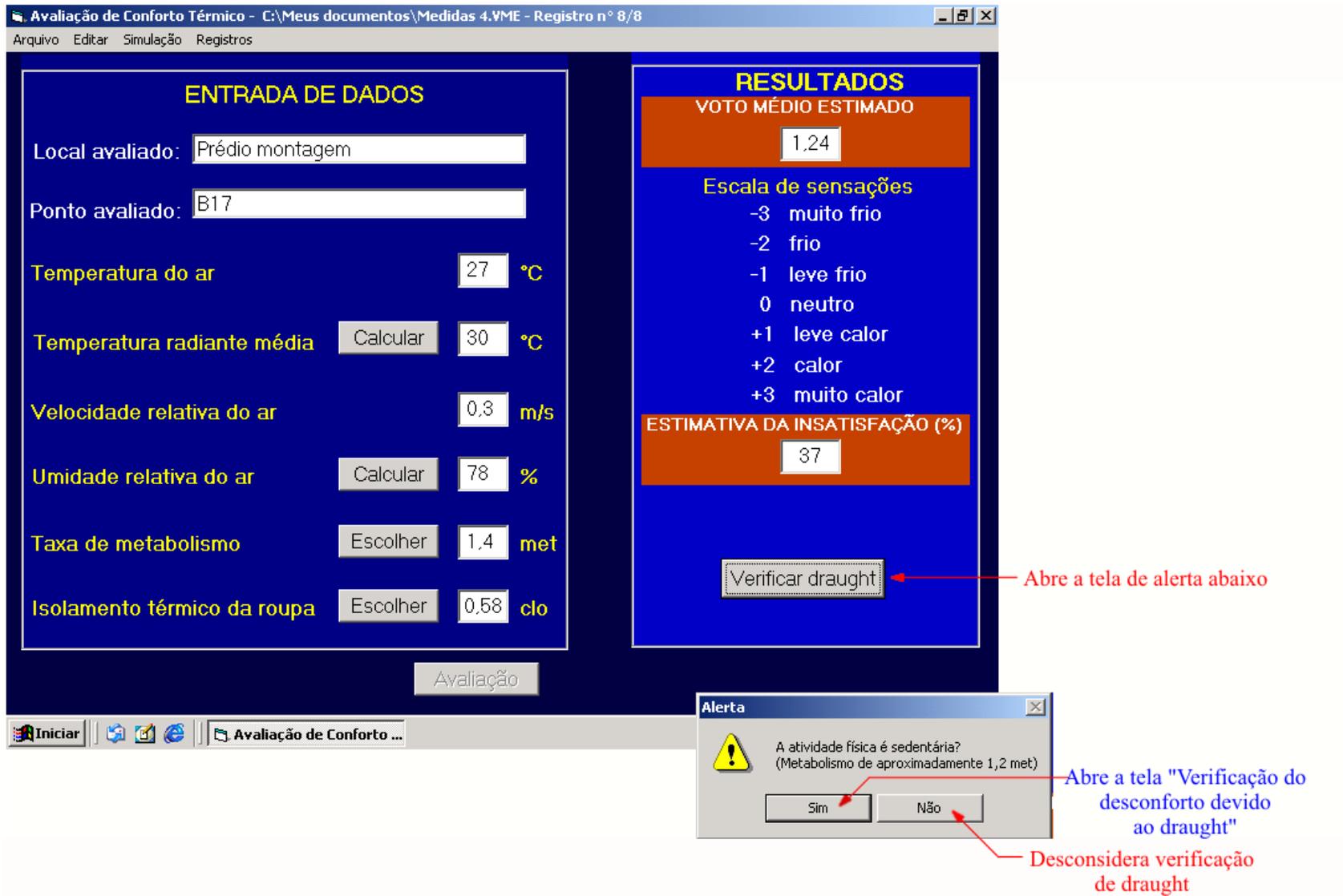


Figura 5.2 Mostra botões para acessar a verificação do draught na tela “Avaliação de conforto térmico” do software Conforto 2.02.

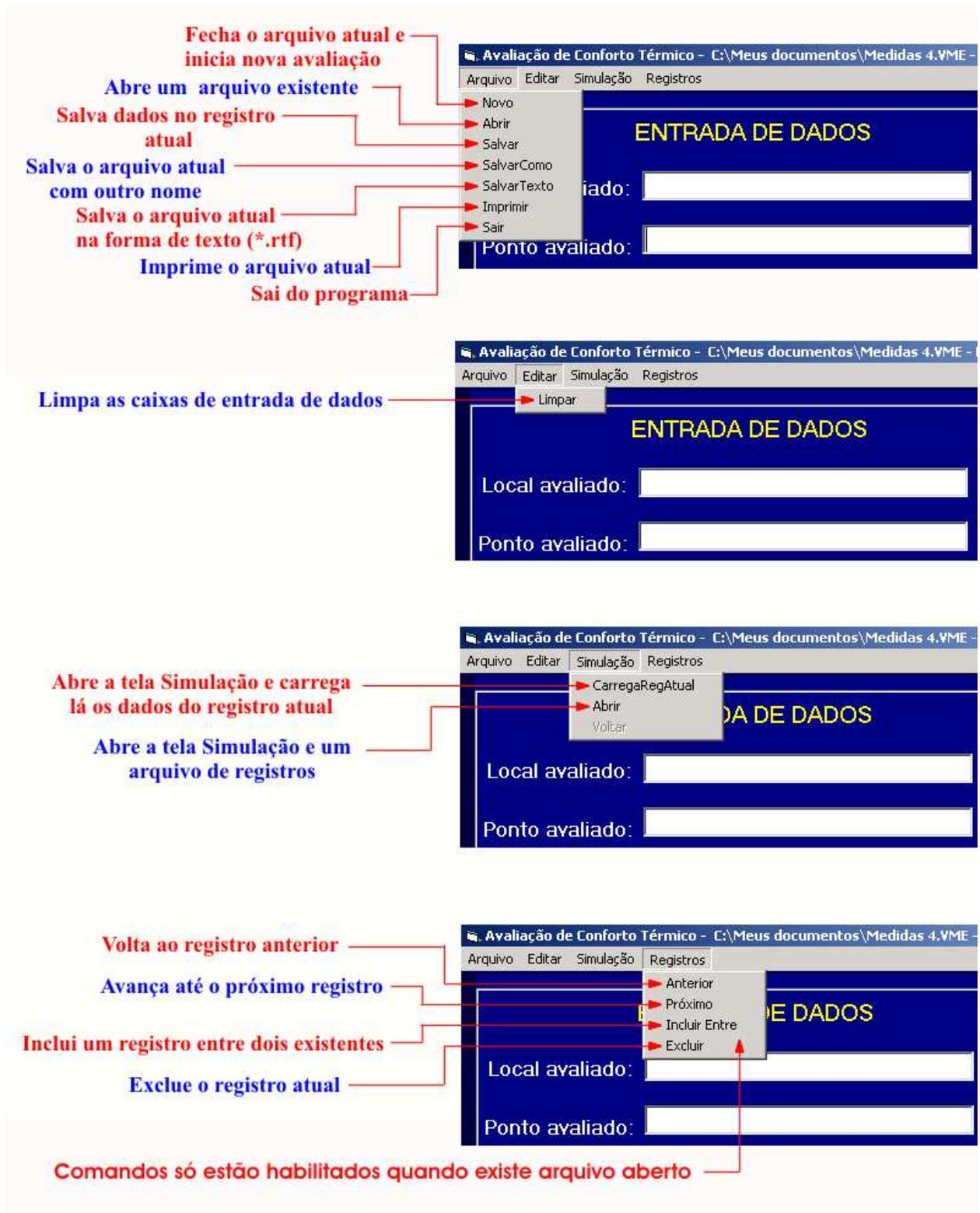


Figura 5.3 Mostra utilidade dos menus na tela “Avaliação de conforto térmico” do software Conforto 2.02.

5.2.1.2 Tela “Cálculo da Temperatura Radiante Média”

A temperatura radiante média é calculada de acordo com a norma ISO 7726 (1998).

A navegação via teclado nas caixas de entrada é feita acionando a tecla Tab. A seleção da caixa Globo padrão pode ser feita com a tecla de espaço, o acionamento do botão Calcular com a tecla Alt + c e o botão Transferir com a tecla Alt + t.

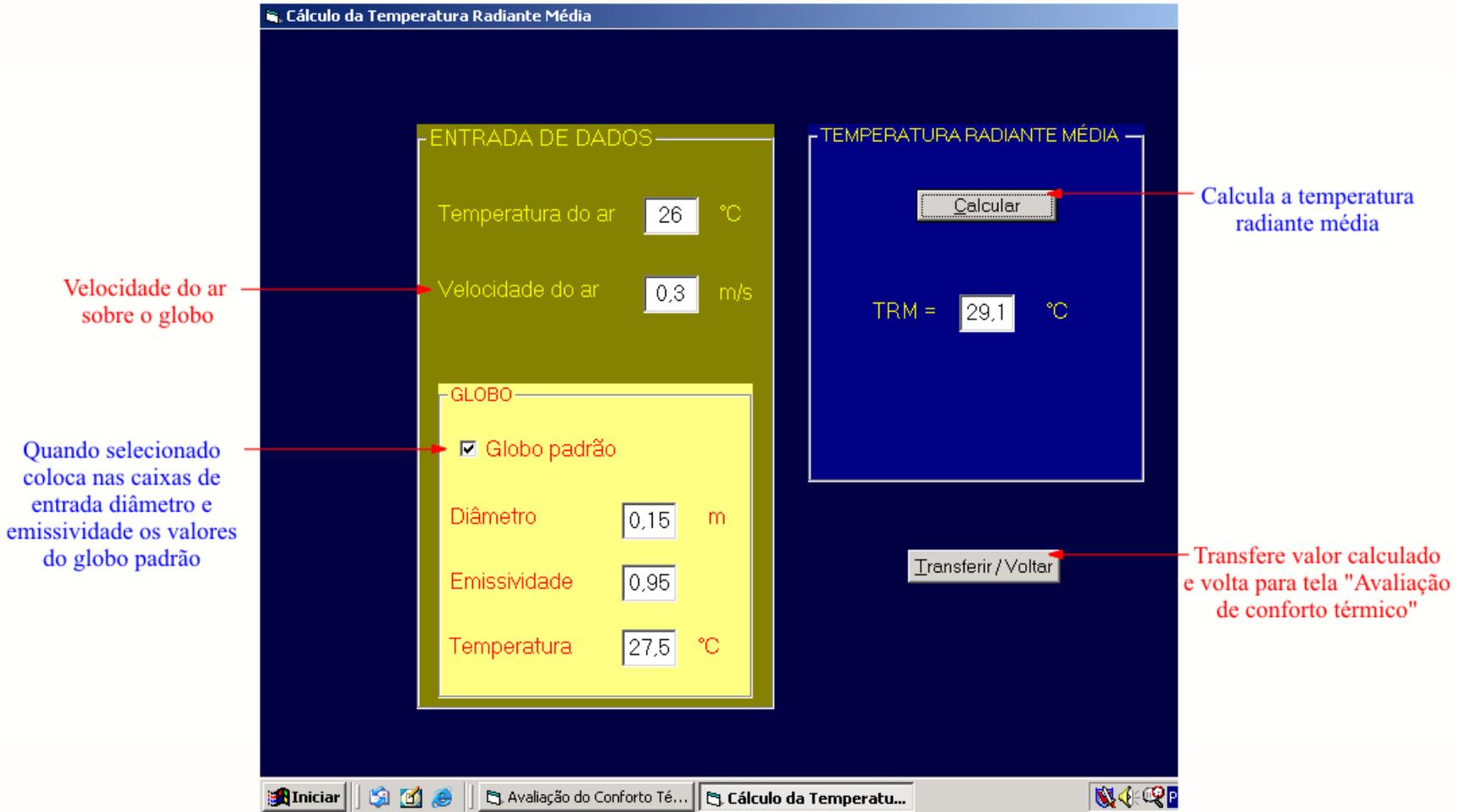


Figura 5.4 Mostra a utilidade dos comandos na tela "Cálculo da temperatura radiante média" do software Conforto 2.02.

5.2.1.3 Tela “Cálculo da Umidade Relativa”

A umidade relativa é calculada de acordo com a norma ASHRAE 41.6 (1994)

A navegação via teclado nas caixas de entrada é feita acionando a tecla Tab. O acionamento do botão Calcular é feito com a tecla Alt + c e do botão Transferir com a tecla Alt + t.

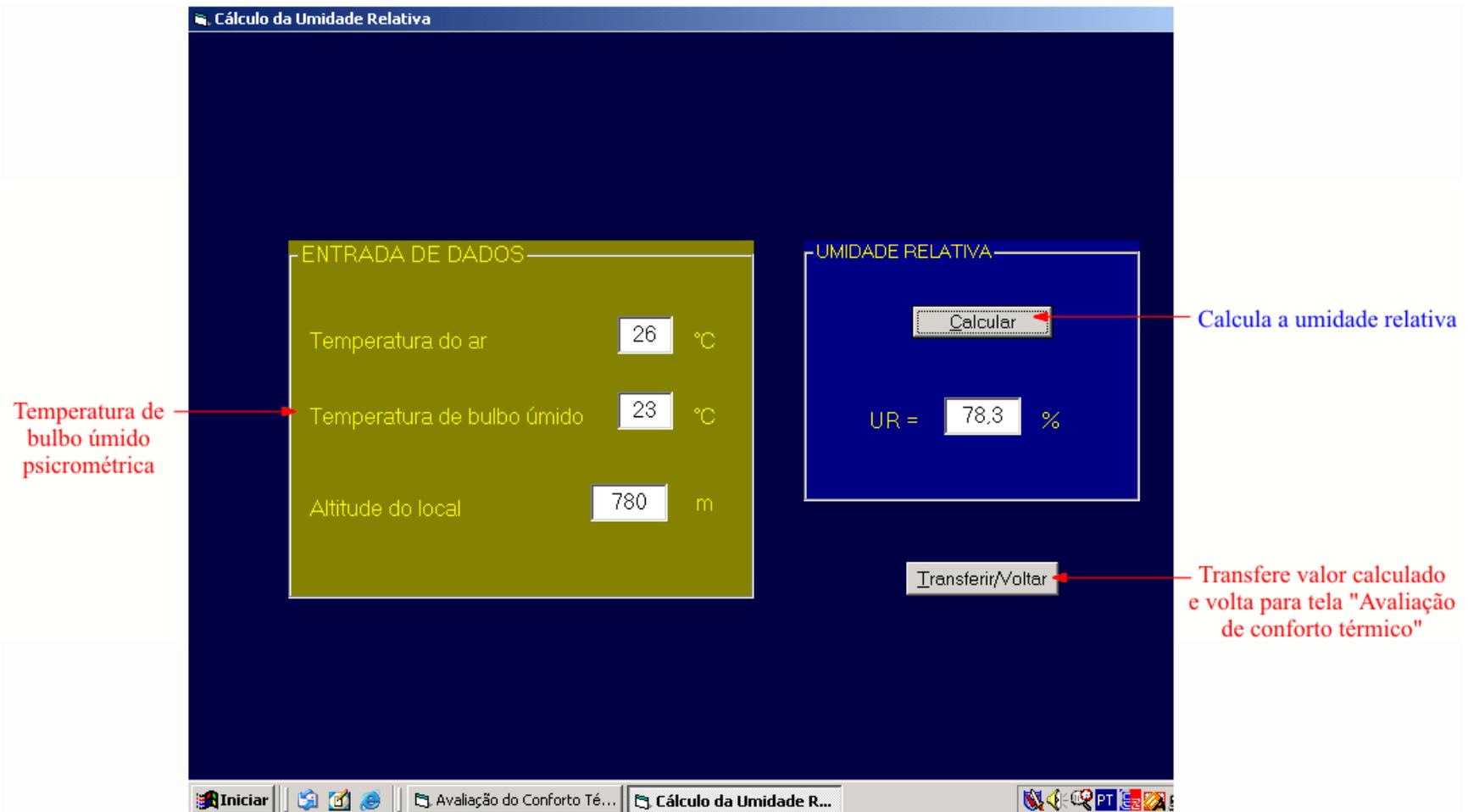


Figura 5.5 Mostra a utilidade dos comandos na tela “Cálculo da umidade relativa” do software Conforto 2.02.

5.2.1.4 Tela “Escolha do Metabolismo”

As taxas de metabolismo foram obtidas da norma ISO 8996 (1990). A unidade de medida escolhida foi o met ($1\text{met}=58,2\text{ W/m}^2$). Como pode ser observado na Figura 5.6, as taxas de metabolismo foram agrupadas em seis folhas e existem outras duas para carregar informações de bancos de dados criados neste software. A escolha de uma atividade para compor o ciclo de trabalho ou a sua retirada da lista é feita clicando sobre a sua caixa de seleção. Clicando-se na lista, sobre uma das atividades escolhidas para o ciclo de trabalho, abre-se a folha onde ela está inserida.

Via teclado:

A navegação pelas folhas é feita com as teclas de direção ($\uparrow \downarrow \leftarrow \rightarrow$) e com o cursor no título de uma das folhas. Para mover o cursor para uma atividade a partir do título de uma folha, usa-se a tecla Tab ou Alt + \downarrow e posteriormente as teclas $\uparrow \downarrow$. Para retornar ao título da folha usa-se Tab ou Alt+ \uparrow . A escolha de uma atividade para compor o ciclo de trabalho ou a sua retirada da lista é feita posicionando o cursor na atividade, como explicado acima, e acionando a tecla de espaço.

Para transferir o cursor da região das folhas de atividades para as caixas de preenchimento do tempo de cada atividade do ciclo de trabalho usa-se Alt + \rightarrow e depois as teclas $\uparrow \downarrow$. Para retornar a região das folhas de atividades usa-se Alt + \leftarrow .

O acionamento do botão Calcular metabolismo do ciclo é feito com a tecla Alt + c e do botão Transferir com a tecla Alt + t.

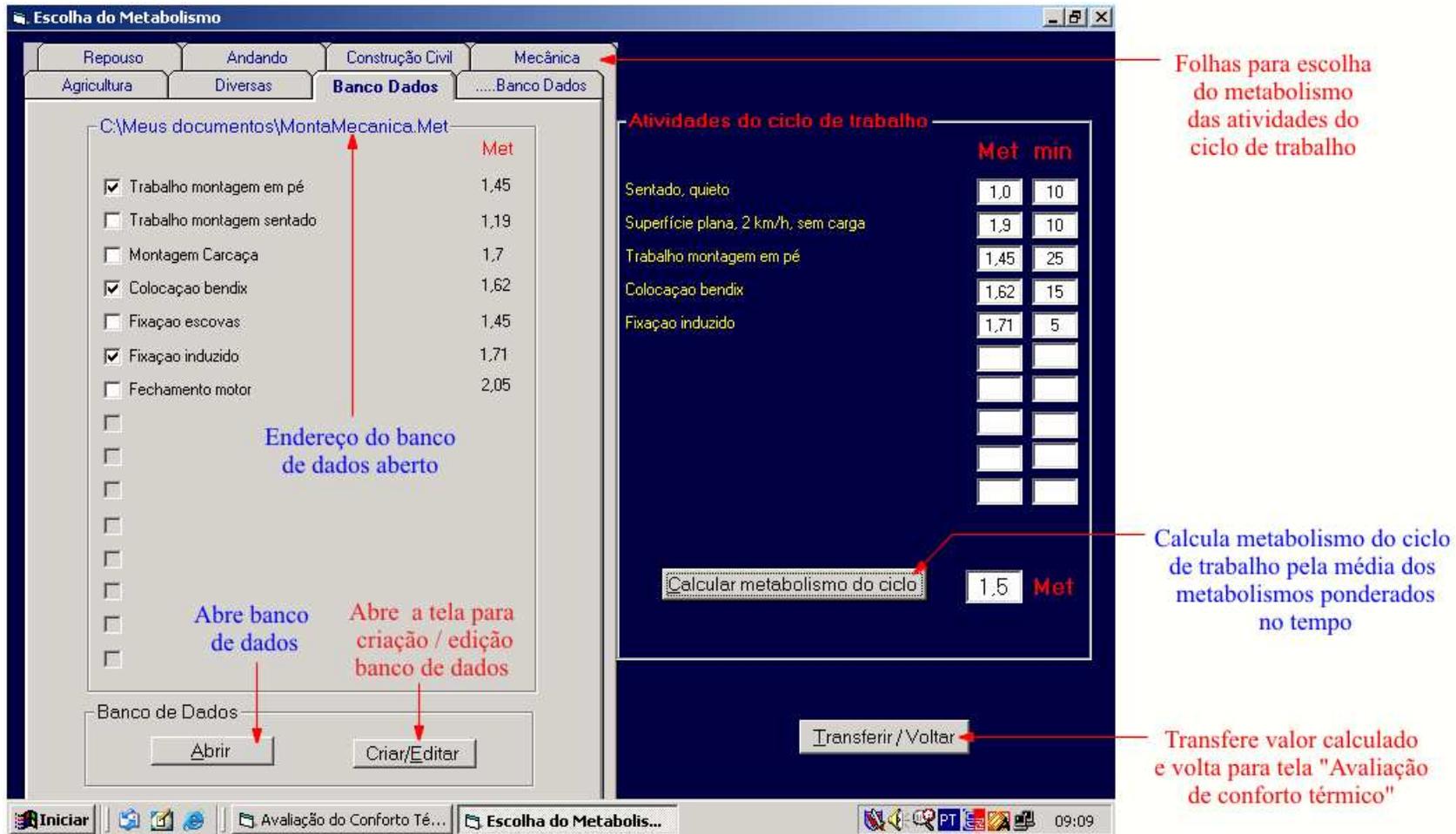


Figura 5.6 Mostra a utilidade dos comandos na tela “Escolha do Metabolismo” do software Conforto 2.02.

5.2.1.5 Tela “Metabolismo-Criação / Edição de banco de dados”

Como pode ser observado na Figura 5.7, esta tela dispõe de uma região de apoio à criação e/ou edição de banco de dados que permite estimar a taxa de metabolismo de uma atividade, decompondo-a nos movimentos necessários a sua execução. Assim, como previsto na norma ISO 8996 (1990), a taxa de metabolismo pode ser obtida somando-se ao metabolismo basal as parcelas de metabolismo devido a postura e movimentos corporais. Para escolher um item para a lista é só clicar na sua caixa de seleção e para cancelar a escolha dá-se um duplo clique. Clicando-se na lista, sobre um dos itens escolhidos, abre-se a folha onde ele está inserido.

Via teclado:

A navegação pelas folhas é feita com as teclas de direção (\uparrow \downarrow \leftarrow \rightarrow) e com o cursor no título de uma das folhas. Usa-se a tecla Tab para mover o cursor do título de uma folha para o primeiro item do primeiro grupo, por exemplo do título da folha “Mãos/Braços/Tronco ”para “trabalho manual leve”, ou do último item de um grupo para o primeiro do próximo grupo (ver na Figura 5.7: de “ trabalho manual pesado “para “trabalho leve com um braço“). A seleção dos itens é feita com as teclas \uparrow \downarrow ou com a tecla de espaço e o cancelamento da seleção com a tecla Ctrl. Para retornar ao título da folha usa-se Tab.

Para transferir o cursor da região das folhas de metabolismo para a caixa de entrada “Atividade” do banco de dados usa-se Alt + \rightarrow . Para retornar à região das folhas de metabolismo usa-se Alt + \leftarrow . Na região “Banco de dados”, para mover da caixa de entrada “Atividade” para a caixa “met” e vice-versa utiliza-se Tab.

O acionamento dos botões é feito com a tecla Alt + a letra grifada no botão.

Metabolismo-Criação/Edição de banco de dados

Mãos/Braços/Tronco

Atividade	Met
Trabalho manual	Met
<input checked="" type="radio"/> Trabalho manual leve	0,26
<input type="radio"/> Trabalho manual moderado	0,52
<input type="radio"/> Trabalho manual pesado	0,69
Trabalho com braço	Met
<input type="radio"/> Trabalho leve com um braço	0,60
<input type="radio"/> Trabalho moderado com um braço	0,95
<input type="radio"/> Trabalho pesado com um braço	1,29
<input type="radio"/> Trabalho leve com dois braços	1,12
<input type="radio"/> Trabalho moderado com dois braços	1,46
<input type="radio"/> Trabalho pesado com dois braços	1,80
Trabalho com tronco	Met
<input type="radio"/> Trabalho leve com tronco	2,15
<input type="radio"/> Trabalho moderado com tronco	3,27
<input type="radio"/> Trabalho pesado com tronco	4,81
<input type="radio"/> Trabalho muito pesado com tronco	6,70

Metabolismo da atividade

Atividade	Met
Homem padrão	0,76
Em pé	0,43
Trabalho manual leve	0,26
Total	1,45

Banco de Dados

Endereço: C:\Meus documentos\MontaMec.Met

Abre banco de dados (Abrir) | Salva banco de dados (Salvar Como)

Registro n° 3/7

Atividade: Montagem Carcaça 1,8 Met

Exclui registro atual (Excluir) | Salva novos dados num registro (Incluir)

Recua / Avança registro (Anterior) | Recua / Avança registro (Próximo)

Volta a tela "Escolha do Metabolismo" (Voltar)

Figura 5.7 Mostra a utilidade dos comandos na tela “Metabolismo-Criação/Edição de banco de dados” do software Conforto 2.02.

5.2.1.6 Tela “Isolamento Térmico da Roupa”

O isolamento térmico básico de uma vestimenta pode ser obtido pelo somatório dos isolamentos efetivos dos itens que compõem a vestimenta. A Figura 5.8 mostra sete folhas que permitem escolher isolamentos térmicos efetivos de peças de roupa, obtidos da norma ISO 9920 (1995)

A escolha de um item para compor a roupa é feita clicando sobre a sua caixa de seleção e a sua retirada da lista, com duplo clique. Clicando-se na lista, sobre um dos itens escolhidos para compor a roupa, abre-se a folha onde ele está inserido.

Via teclado:

A navegação pelas folhas é feita com as teclas de direção (\uparrow \downarrow \leftarrow \rightarrow) e com o cursor no título de uma das folhas. Usa-se a tecla Tab para mover o cursor do título de uma folha para o primeiro item do primeiro grupo e também para mover do último item de um grupo para o primeiro do próximo grupo. A seleção dos itens é feita com as teclas \uparrow \downarrow ou com a tecla de espaço e o cancelamento da seleção com a tecla Ctrl. Para retornar ao título da folha usa-se Tab.

O acionamento dos botões é feito com a tecla Alt + a letra grifada no botão.

Isolamento Térmico da Roup

Vestidos e Saias | Calças, Macacões, Jardineiras e Shorts | Camisas, Camisetas e Blusas | Suéteres e Coletes
 Calçados, Meias, Roupas de baixo | Jaquetas, Paletós e Casacos | Roupas de proteção

Tipo

Tipo	Fabricação	Massa (g)	Icl (clo)
<input type="radio"/> macacão de proteção química		1340	0,60
<input type="radio"/> avental até o joelho, retardante de chama	al		0,12
<input checked="" type="radio"/> guarda pó, acima do joelho		547	0,34
<input type="radio"/> guarda pó, abaixo do joelho		575	0,36
<input type="radio"/> casaco aluminizado, altura do quadril	PFR vis		0,63
<input type="radio"/> casaco aluminizado, altura do quadril		830	0,42
<input type="radio"/> casaco aluminizado, até a panturrilha	PFR vis		0,94
<input type="radio"/> capa contra chuva, altura do quadril		500	0,31
<input type="radio"/> pemeiras, retardantes de chama	al		0,08
<input type="radio"/> mangas, ombro-pulso, aluminizadas	PFR vis		0,11
<input type="radio"/> mangas, braço-pulso, retardante de chama			0,05

Ambientes frios

Ambientes frios	Fabricação	Massa (g)	Icl (clo)
<input type="radio"/> jaqueta alto isolamento	pa	437	0,43
<input type="radio"/> jaqueta alto isolamento	pa	434	0,40
<input type="radio"/> jaqueta alto isolamento	pa	417	0,39
<input type="radio"/> jaqueta alto isolamento	pa, pe	292	0,38
<input type="radio"/> jaqueta alto isolamento, com capuz	pa	472	0,37
<input type="radio"/> calça alto isolamento	pa	341	0,40
<input type="radio"/> calça alto isolamento	pa, pe	225	0,35
<input type="radio"/> calça alto isolamento	pa, pe	292	0,32
<input type="radio"/> macacão alto isolamento	pa	1215	1,13
<input type="radio"/> macacão alto isolamento	pa, pe	615	0,80

Abreviações

- ac - acrílico
- al - algodão
- pa - poliamida
- pe - poliéster
- ny - nylon
- vis - viscose

Imagem do último item escolhido

Itens escolhidos:

Item	clo
cueca	0,03
meia 3/4	0,03
sapato sola dura, vinil	0,03
calça de trabalho	0,24
camisa esporte, manga curta	0,17
guarda pó, acima do joelho	0,34
TOTAL	0,84

Folhas para escolha dos itens que compõem a roupa

Transfere valor obtido e volta para tela "Avaliação de conforto térmico"

Iniciar | Avaliação do Conforto Té... | Isolamento Térmico d... | 09:21

Figura 5.8 Mostra a utilidade dos comandos na tela “Isolamento térmico da roupa” do software Conforto 2.02.

5.2.1.7 Tela “Verificação do desconforto devido ao *Draught*”

A verificação do desconforto devido ao *draught* só é válido para atividades leves com taxa de metabolismo de 1,2 met e é calculado de acordo com a ISO 7730 (1994).

A navegação via teclado nas caixas de entrada é feita com a tecla Tab. O acionamento dos botões é feito com a tecla Alt + a letra grifada no botão.

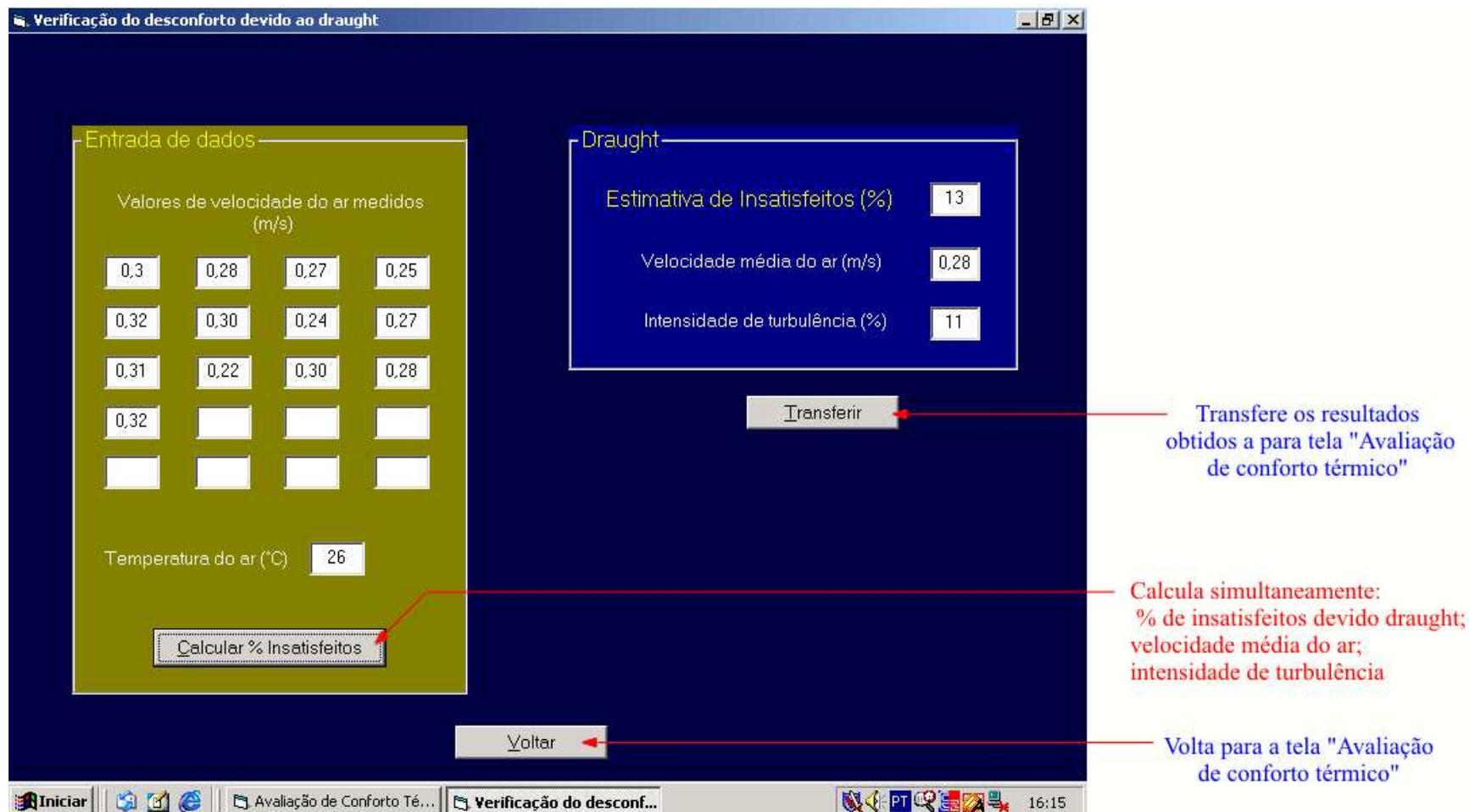


Figura 5.9 Mostra a utilidade dos comandos na tela “Verificação do desconforto devido ao draught” do software Conforto 2.02.

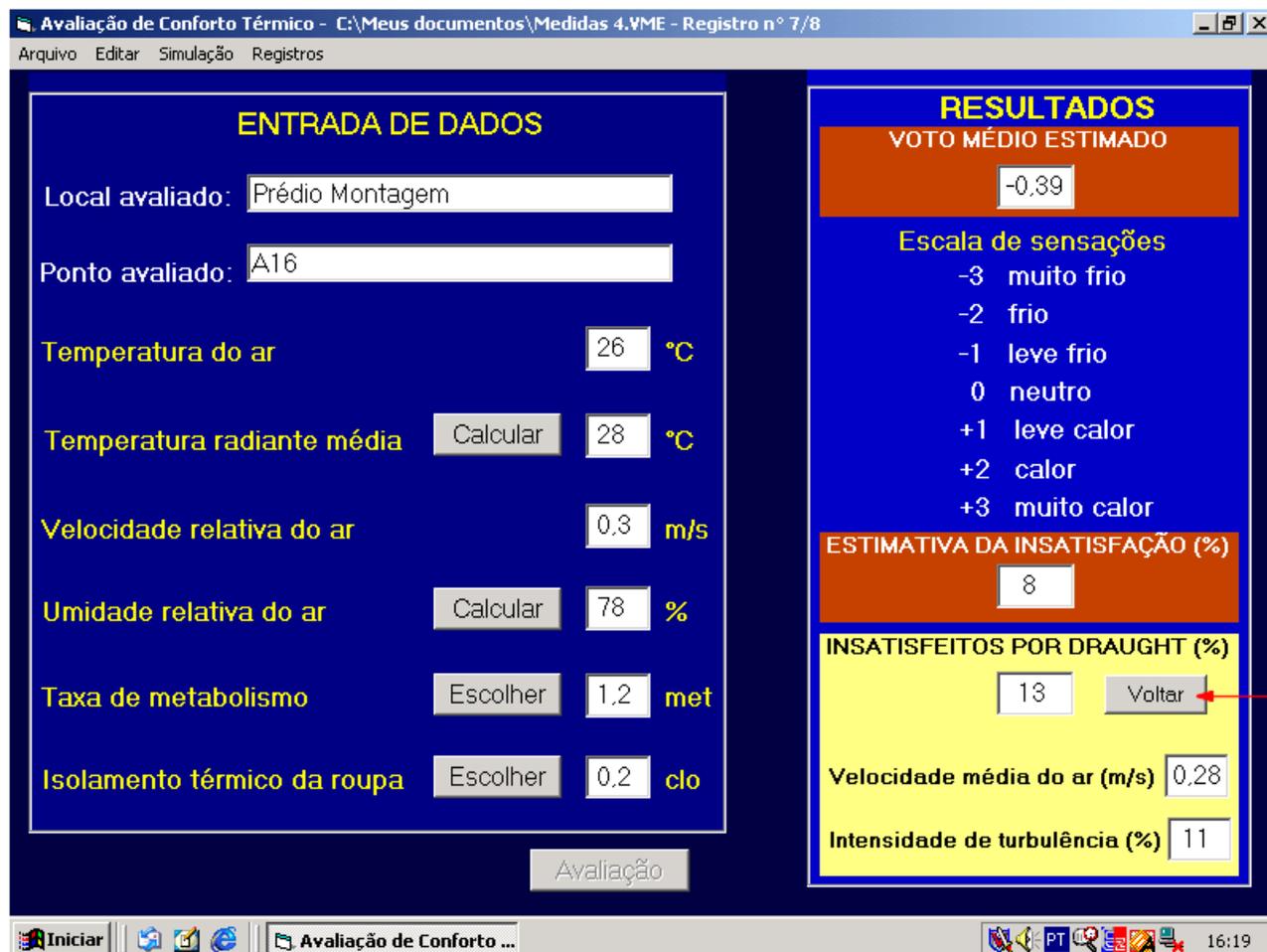


Figura 5.10 Mostra os resultados da verificação do draught na tela “Avaliação do Conforto Térmico” do software Conforto 2.02.

5.2.1.8 Tela “Simulação”

Esta tela utiliza os mesmos recursos da tela “Avaliação do conforto térmico” e difere apenas em alguns itens de menu que estão explicados na Figura 5.11.

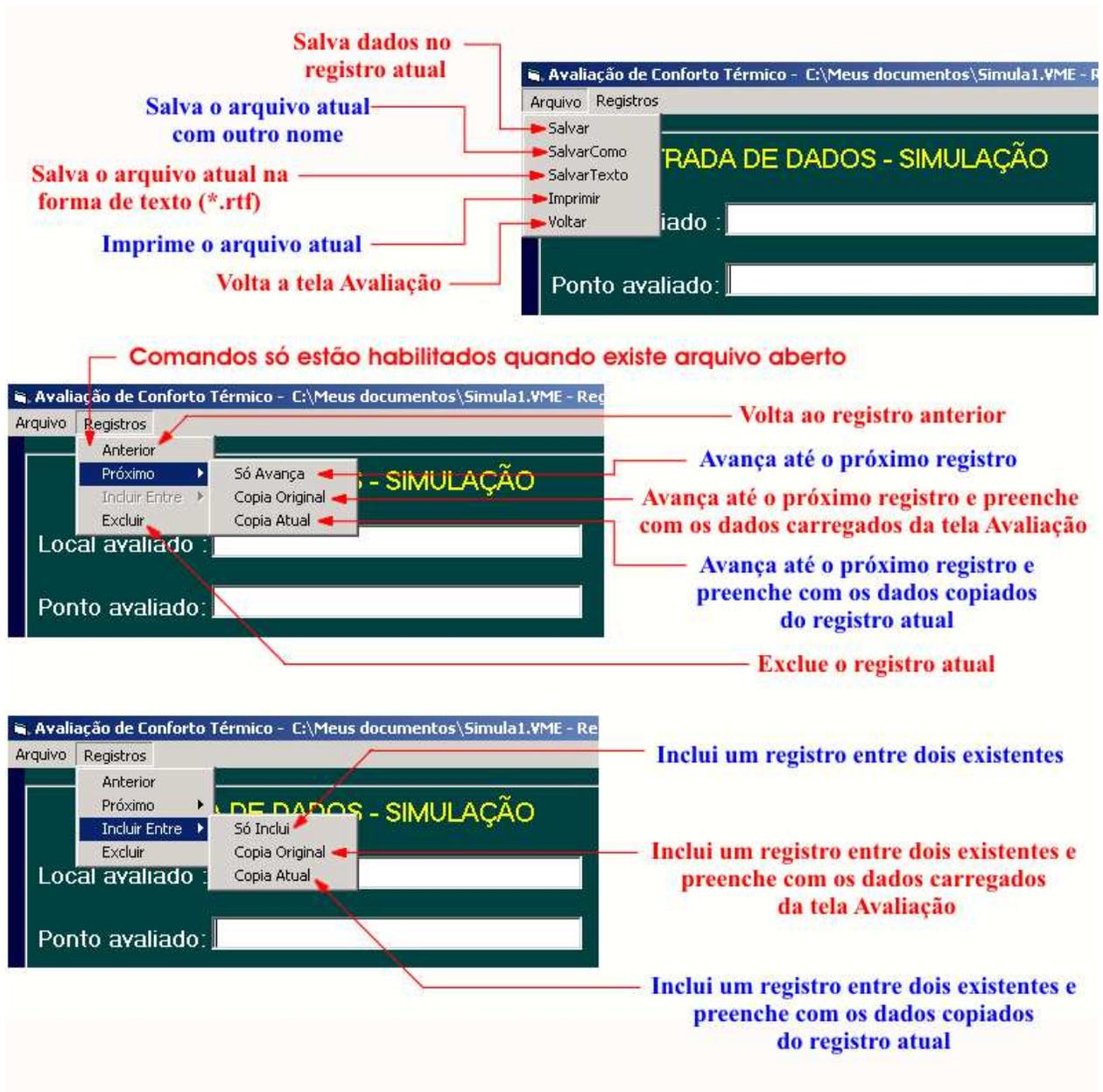


Figura 5.11 Mostra utilidade dos menus na tela “Avaliação de conforto térmico-Simulação” do software Conforto 2.02.

5.2.1.9 Conteúdo do menu Ajuda

Teoria sobre conforto térmico

-  Conceituação de conforto térmico

Glossário

-  Glossário

Conforto e equilíbrio térmico do corpo humano

-  Relação existente

Trocas de calor entre o corpo e o ambiente

-  Convecção

-  Radiação térmica

-  Evaporação

Variáveis que determinam o conforto

-  Variáveis que determinam o conforto

Avaliação do conforto térmico

-  Método dos Votos Médios Estimados

-  Porcentagem Estimada de Insatisfeitos

-  Intervalo de conforto

Obtenção das variáveis de conforto

Variáveis Ambientais

Instrumentos e métodos de medição

Métodos

-  Princípios Gerais

-  Escolha dos pontos de medição

-  Posicionamento dos instrumentos em relação ao solo

Instrumentos de medição

-  Temperatura do ar

-  Temperatura radiante média

-  Umidade relativa do ar

-  Velocidade relativa do ar

Variáveis Pessoais

-  Taxa de metabolismo

-  Isolamento térmico da vestimenta

Desconforto localizado

-  Conceituação

-  Assimetria de radiação

-  Diferenças verticais na temperatura do ar

-  Contato com superfícies quentes ou frias

-  *Draught*

Informações sobre o programa

-  Objetivo

-  Suporte

Telas de interação com usuário

-  Avaliação de conforto térmico

-  Verificação do desconforto devido ao *Draught*

-  Cálculo da temperatura radiante média

-  Cálculo da Umidade Relativa

-  Isolamento térmico da roupa

-  Simulação

Metabolismo

-  Escolha do Metabolismo

-  Criação / Edição de banco de dados

5.2.2 Comparação dos resultados do Conforto 2.02 com a ISO 7730 (1994)

Para verificar a precisão do software Conforto 2.02 em avaliar o conforto térmico pelo método dos Votos Médios Estimados optou-se por comparar os resultados do software com as tabelas de VME da norma ISO 7730 (1994). Para tanto é necessário considerar que essas tabelas, até taxa de metabolismo de 174 W/m^2 (3 met), foram copiadas do trabalho original de Fanger (FANGER, 1970) que utilizou algumas unidades não adotadas pelo SI - Sistema Internacional de Unidades de Medida. Dessa forma como o Conforto 2.02 foi desenvolvido no SI, observou-se uma diferença centesimal entre a ISO 7730 e o Conforto 2.02 para taxas de metabolismo até 174 W/m^2 ; mas nenhuma diferença em relação à tabela para taxa de metabolismo de 232 W/m^2 , já que essa foi calculada com algoritmos no SI. Isso pode ser verificado nas Tabelas de 5.11 a 5.14.

Essa diferença é fruto de ajuste na curva exponencial que relaciona a carga térmica sobre o corpo e a sensação térmica na equação dos Votos Médios Estimados, quando da transformação das unidades originais para o SI, e não tem significado prático, já que as pessoas não conseguem descrever a sua sensação com precisão centesimal. Mesmo assim, efetuou-se a comparação estatística dos valores apresentados pela ISO 7730 (1994) e os resultados fornecidos pelo Conforto 2.02. Para isso adotou-se o nível de significância de 0,05 e aplicou-se o teste F'Snedecor para verificar a igualdade de variâncias e o teste t'Student para testar a igualdade das médias.

Os testes mostraram o que já se esperava, ou seja, que não há diferença estatisticamente significativa entre a ISO 7730 (1994) e o Conforto 2.02. As Tabelas de 5.15 a 5.17 apresentam um resumo dos dados de interesse estatístico.

Tabela 5.11 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 58 W/m²

Grau de atividade física = 58 W/m² (1 met)											
Isolamento térmico roupa (clo)	Temperatura Operante (°C)	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO 7730 – Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730- Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730 – Conforto 2.02	
		Velocidade relativa do ar (m/s)									
		0,15			0,30			0,5			
0,50	23	- 1,33	- 1,36	0,03	- 1,78	- 1,81	0,03	- 2,16	- 2,19	0,03	
	24	- 0,95	- 0,98	0,03	- 1,36	- 1,39	0,03	- 1,70	- 1,73	0,03	
	25	- 0,56	- 0,59	0,03	- 0,94	- 0,96	0,02	- 1,25	- 1,27	0,02	
	26	- 0,18	- 0,20	0,02	- 0,51	- 0,52	0,01	- 0,79	- 0,80	0,01	
	27	0,20	0,20	0,00	- 0,08	- 0,09	0,01	- 0,33	- 0,33	0,00	
	28	0,59	0,59	0,00	0,34	0,35	- 0,01	0,14	0,14	0,00	
	29	0,98	0,99	- 0,01	0,77	0,79	- 0,02	0,60	0,62	- 0,02	
	30	1,37	1,40	- 0,03	1,20	1,23	- 0,03	1,06	1,09	- 0,03	
1,00	20	- 1,02	- 1,03	0,01	- 1,29	- 1,30	0,01	- 1,51	- 1,52	0,01	
	21	- 0,74	- 0,75	0,01	- 0,99	- 1,00	0,01	- 1,19	- 1,20	0,01	
	22	- 0,46	- 0,47	0,01	- 0,69	- 0,71	0,02	- 0,88	- 0,89	0,01	
	23	- 0,18	- 0,19	0,01	- 0,39	- 0,40	0,01	- 0,56	- 0,57	0,01	
	24	0,10	0,09	0,01	- 0,09	- 0,10	0,01	- 0,25	- 0,25	0,00	
	25	0,38	0,38	0,00	0,21	0,20	0,01	0,07	0,07	0,00	
	26	0,66	0,66	0,00	0,51	0,51	0,00	0,39	0,39	0,00	
27	0,95	0,95	0,00	0,81	0,82	- 0,01	0,71	0,72	- 0,01		
1,50	14	- 1,49	- 1,51	0,02	- 1,72	- 1,74	0,02	- 1,89	- 1,91	0,02	
	16	- 1,07	- 1,09	0,02	- 1,27	- 1,29	0,02	- 1,43	- 1,44	0,01	
	18	- 0,64	- 0,65	0,01	- 0,82	- 0,83	0,01	- 0,96	- 0,97	0,01	
	20	- 0,22	- 0,21	0,01	- 0,37	- 0,37	0,00	- 0,49	- 0,49	0,00	
	22	0,23	0,23	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	
	24	0,68	0,68	0,00	0,57	0,57	0,00	0,49	0,49	0,00	
	26	1,13	1,14	- 0,01	1,04	1,05	- 0,01	0,98	0,98	0,00	
28	1,58	1,60	- 0,02	1,52	1,54	- 0,02	1,47	1,49	- 0,02		

Tabela 5.12 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 116 W/m²

Grau de atividade física = 116 W/m² (2 met)										
Isolamento térmico roupa (clo)	Temperatura Operante (°C)	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO 7730 - Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730 - Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730 - Conforto 2.02
		Velocidade relativa do ar (m/s)								
		0,20			0,50			1,0		
0,50	14	- 1,31	- 1,29	- 0,02	- 1,85	- 1,85	0,00	- 2,32	- 2,32	0,00
	16	- 0,92	- 0,90	- 0,02	- 1,40	- 1,39	- 0,01	- 1,82	- 1,82	0,00
	18	- 0,53	- 0,50	- 0,03	- 0,95	- 0,93	- 0,02	- 1,31	- 1,30	- 0,01
	20	- 0,14	- 0,10	- 0,04	- 0,50	- 0,47	- 0,03	- 0,81	- 0,79	- 0,02
	22	0,27	0,30	- 0,03	- 0,03	0,00	- 0,03	- 0,29	- 0,27	- 0,02
	24	0,68	0,72	- 0,04	0,44	0,47	- 0,03	0,23	0,25	- 0,02
	26	1,10	1,13	- 0,03	0,91	0,94	- 0,03	0,75	0,78	- 0,03
	28	1,51	1,56	- 0,05	1,38	1,43	- 0,05	1,27	1,32	- 0,05
1,00	8	- 1,11	- 1,10	- 0,01	- 1,45	- 1,45	0,00	- 1,71	- 1,71	0,00
	10	- 0,84	- 0,83	- 0,01	- 1,15	- 1,14	- 0,01	- 1,38	- 1,38	0,00
	12	- 0,56	- 0,55	- 0,01	- 0,84	- 0,83	- 0,01	- 1,05	- 1,05	0,00
	14	- 0,28	- 0,27	- 0,01	- 0,53	- 0,52	- 0,01	- 0,72	- 0,72	0,00
	16	0,00	0,02	- 0,02	- 0,22	- 0,21	- 0,01	- 0,39	- 0,38	- 0,01
	18	0,28	0,31	- 0,03	0,09	0,11	- 0,02	- 0,06	- 0,04	- 0,02
	20	0,57	0,60	- 0,03	0,40	0,43	- 0,03	0,28	0,30	- 0,02
	22	0,87	0,90	- 0,03	0,73	0,76	- 0,03	0,62	0,65	- 0,03
1,50	-4	- 1,65	- 1,66	0,01	- 1,95	- 1,96	0,01	- 2,16	- 2,18	0,02
	0	- 1,24	- 1,24	0,00	- 1,50	- 1,50	0,00	- 1,69	- 1,69	0,00
	4	- 0,82	- 0,81	- 0,01	- 1,04	- 1,04	0,00	- 1,20	- 1,21	0,01
	8	- 0,39	- 0,38	- 0,01	- 0,58	- 0,57	- 0,01	- 0,72	- 0,71	- 0,01
	12	0,05	0,06	- 0,01	- 0,11	- 0,10	- 0,01	- 0,22	- 0,21	- 0,01
	16	0,49	0,51	- 0,02	0,37	0,39	- 0,02	0,28	0,30	- 0,02
	20	0,94	0,98	- 0,04	0,85	0,89	- 0,04	0,79	0,82	- 0,03
	24	1,43	1,46	- 0,03	1,36	1,40	- 0,04	1,32	1,35	- 0,03

Tabela 5.13 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 174 W/m²

Grau de atividade física = 174 W/m² (3 met)											
Isolamento térmico roupa (clo)	Temperatura Operante (°C)	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO 7730 – Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730- Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730 – Conforto 2.02	
		Velocidade relativa do ar (m/s)									
		0,20			0,50				1,0		
0,50	10	- 0,78	- 0,74	- 0,04	- 1,32	- 1,30	- 0,02	- 1,79	- 1,77	- 0,02	
	12	- 0,43	- 0,40	- 0,03	- 0,92	- 0,90	- 0,02	- 1,34	- 1,33	- 0,01	
	14	- 0,09	- 0,05	- 0,04	- 0,52	- 0,50	- 0,02	- 0,90	- 0,88	- 0,02	
	16	0,26	0,30	- 0,04	- 0,12	- 0,09	- 0,03	- 0,45	- 0,43	- 0,02	
	18	0,61	0,66	- 0,05	0,28	0,32	- 0,04	0,00	0,03	- 0,03	
	20	0,96	1,02	- 0,06	0,68	0,73	- 0,05	0,45	0,49	- 0,04	
	22	1,33	1,38	- 0,05	1,10	1,15	- 0,05	0,91	0,95	- 0,04	
	24	1,70	1,75	- 0,05	1,53	1,58	- 0,05	1,38	1,42	- 0,04	
1,00	- 6	- 1,68	- 1,67	- 0,01	- 2,14	- 2,14	0,00	- 2,50	- 2,51	0,01	
	- 2	- 1,22	- 1,20	- 0,02	- 1,62	- 1,62	0,00	- 1,94	- 1,94	0,00	
	2	- 0,74	- 0,72	- 0,02	- 1,10	- 1,09	- 0,01	- 1,37	- 1,37	0,00	
	6	- 0,26	- 0,24	- 0,02	- 0,56	- 0,55	- 0,01	- 0,80	- 0,78	- 0,02	
	10	0,22	0,26	- 0,04	- 0,02	0,00	- 0,02	- 0,22	- 0,19	- 0,03	
	14	0,73	0,76	- 0,03	0,53	0,56	- 0,03	0,38	0,40	- 0,02	
	18	1,24	1,28	- 0,04	1,09	1,13	- 0,04	0,97	1,01	- 0,04	
	22	1,77	1,82	- 0,05	1,67	1,72	- 0,05	1,59	1,64	- 0,05	
1,50	- 10	- 1,13	- 1,11	- 0,02	- 1,42	- 1,42	0,00	- 1,64	- 1,64	0,00	
	- 6	- 0,76	- 0,74	- 0,02	- 1,02	- 1,01	- 0,01	- 1,21	- 1,21	0,00	
	- 2	- 0,39	- 0,37	- 0,02	- 0,62	- 0,60	- 0,02	- 0,79	- 0,78	- 0,01	
	2	- 0,01	0,01	- 0,02	- 0,21	- 0,19	- 0,02	- 0,36	- 0,34	- 0,02	
	6	0,38	0,40	- 0,02	0,21	0,23	- 0,02	0,08	0,10	- 0,03	
	10	0,76	0,80	- 0,04	0,62	0,66	- 0,04	0,52	0,55	- 0,03	
	14	1,17	1,21	- 0,04	1,06	1,09	- 0,03	0,98	1,01	- 0,03	
	18	1,58	1,62	- 0,04	1,50	1,54	- 0,02	1,44	1,48	- 0,04	

Tabela 5.14 Comparativo dos resultados do Conforto 2.02 com ISO 7730 (1994) para atividade de 232 W/m²

Grau de atividade física = 232 W/m² (4 met)											
Isolamento térmico roupa (clo)	Temperatura Operante (°C)	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO 7730 – Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730 - Conforto 2.02	ISO 7730 (1994)	Conforto 2.02	ISO7730 - Conforto 2.02	
		Velocidade relativa do ar (m/s)									
		0,40			0,50				1,0		
0,50	10	- 0,06	- 0,06	0,00	- 0,19	- 0,19	0,00	- 0,62	- 0,62	0,00	
	12	0,33	0,33	0,00	0,21	0,21	0,00	- 0,18	- 0,18	0,00	
	14	0,72	0,72	0,00	0,61	0,61	0,00	0,27	0,27	0,00	
	16	1,11	1,11	0,00	1,02	1,02	0,00	0,73	0,73	0,00	
	18	1,51	1,51	0,00	1,43	1,43	0,00	1,18	1,18	0,00	
	20	1,91	1,91	0,00	1,85	1,85	0,00	1,64	1,64	0,00	
	22	2,32	2,32	0,00	2,27	2,27	0,00	2,11	2,11	0,00	
1,00	10	1,04	1,04	0,00	0,99	0,99	0,00	0,81	0,81	0,00	
	14	1,60	1,60	0,00	1,55	1,55	0,00	1,41	1,41	0,00	
	18	2,16	2,16	0,00	2,13	2,13	0,00	2,03	2,03	0,00	
1,50	10	1,61	1,61	0,00	1,58	1,58	0,00	1,48	1,48	0,00	
	14	2,05	2,05	0,00	2,02	2,02	0,00	1,95	1,95	0,00	

Tabela 5.15 Informações de interesse estatístico sobre as amostras Conforto 2.02 e ISO 7730(1994)

Identificação da amostra	Quantidade de dados	Média	Desvio padrão
Conforto 2.02	216	-0,166	1,023
ISO 7730 (1994)	216	-0,180	1,010

Tabela 5.16 Resumo dos dados sobre a aplicação do teste F' Snedecor.

Método	Graus de liberdade do numerador	Graus de liberdade do denominador	Valor F	p > F
Folded F	215	215	1,023	0,85

Tabela 5.17 Resumo dos dados sobre a aplicação do teste t' Student.

Método	Variâncias	Graus de liberdade	Valor t	p > t
Pooled	Iguais	430	0,15	0,88

5.3 Discussão geral

O método dos Votos Médios Estimados (VME), adotado desde 1984 pela norma ISO 7730, tem sido testado tanto em experimentos de laboratório quanto em ambientes reais de diferentes países e regiões climáticas. As pesquisas de laboratório têm mostrado temperaturas de neutralidade bem próximas das estimativas feitas pelo VME (TANABE, KIMURA & HARA, 1987 ; CHUNG & TONG, 1990 e DE DEAR, LEOW & AMEEN, 1991), no entanto há indícios de que o método superestime a sensação térmica quando a velocidade do ar é superior a 0,5 m/s (TANABE & KIMURA, 1994). Já no caso dos experimentos de campo a análise dos resultados é complexa devido à inerente dificuldade de controlar as variáveis de conforto em campo e também devido à utilização de diferentes métodos de pesquisa. O mais amplo esforço no sentido de padronização dos dados disponíveis de experimentos de campo foi realizado por DE DEAR, BRAGER & COOPER (1997) num projeto intitulado ASHRAE RP 884.

DE DEAR, BRAGER & COOPER (1997) efetuaram o controle de qualidade de experimentos realizados em diferentes regiões climáticas e reuniram uma amostra com cerca de 21000 dados que foram obtidos em 160 edificações situadas em oito países da América, Ásia, Oceania e Europa. Os dados foram separados em função da edificação dispor ou não de sistema de ar condicionado e do período de realização do experimento, verão ou inverno. A análise dos resultados de toda a amostra de prédios mostrou que o VME estima adequadamente a temperatura de neutralidade térmica, erro médio de estimativa menor que 0,5 K quando comparado com o observado, contudo o desvio padrão do erro chegou a 3,8 K. Os autores também relacionaram, através de retas de regressão, a temperatura de neutralidade observada com a temperatura média externa e compararam com a estimativa feita pelo VME. Dessa comparação verifica-se que para os prédios com ar condicionado houve ótima concordância entre o estimado e o observado, diferença de aproximadamente 0,1 K. Já para os prédios naturalmente ventilados a concordância não foi tão boa; a reta de regressão dos dados experimentais tem quase o dobro de inclinação da reta do VME, havendo coincidência entre as duas na temperatura externa de 20 °C. Isso representa que quando a temperatura externa é 15 °C a estimativa da

temperatura de conforto pelo VME é de 23,5 °C, enquanto que o resultado observado é 22,7 °C, já quando a temperatura externa é 30 °C a estimativa da temperatura de conforto pelo VME é de 25,2 °C, enquanto que o resultado é 26,5 °C.

DE DEAR, BRAGER & COOPER (1997) atribuíram essa diferença entre a estimativa pelo VME e o observado nos prédios naturalmente ventilados à influência de fatores psicológicos relativos à expectativa e vivência térmica das pessoas. FANGER & TOFTUM (2001) concordam com isso e propõem que um fator de expectativa “e” seja multiplicado ao VME para considerar essa variável psicológica. A aplicação desse fator de expectativa ainda não foi amplamente testada.

Com relação aos experimentos realizados no Brasil, XAVIER (2000) encontrou uma clara similaridade de tendência entre o VME e as sensações relatadas pelos participantes nos testes, porém achou que as pessoas são mais sensíveis do que prevê o VME pois tanto as sensações de calor como as de frio foram mais intensas do que o previsto. GONÇALVES (2000) conclui que o VME é aplicável para a população por ele estudada embora a porcentagem de insatisfeitos encontrada para a condição de neutralidade ($\approx 27\%$) seja bem superior aos 5% estabelecido pela ISO 7730 (1994) para essa condição.

O VME é um método versátil pois inter-relaciona a sensação térmica de um grupo de pessoas a cada um dos principais fatores físicos que a influenciam e isso o torna uma ferramenta interessante para a simulação de interferências nos ambientes. Esse método, a despeito das dúvidas existentes quanto à sua precisão em estimar a sensação térmica em ambientes naturalmente ventilados, é o método mais amplamente testado e aceito.

Analisando-se agora os modelos matemáticos utilizados no VME, pode-se verificar durante o desenvolvimento da sistematização que o método não contabiliza a variação de perda de calor por evaporação do suor em função da velocidade do ar e isso pode ter um efeito significativo na sensação térmica de pessoas em atividade moderada ou pesada devido a importância desse processo de perda de calor no equilíbrio térmico das pessoas nessas atividades. Verificou-se também que existe discordância quanto as equações utilizadas para o cálculo do

fator de área das vestimentas. MCCULLOUGH, JONES & HUCK (1985) realizaram um amplo trabalho sobre isolamento térmico das vestimentas e propuseram uma equação que resulta num fator de área 5% maior quando $I_{cl} = 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (0,5 clo), 13,5% quando $I_{cl} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (1,0 clo) e 22% maior quando $I_{cl} = 0,234 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (1,5 clo). A equação proposta por esses autores foi adotada pela ISO 9920 (1995). O fator de área das vestimentas influencia diretamente no calor trocado por radiação e convecção, e portanto, também na carga térmica sobre o corpo.

No método do VME a carga térmica sobre o corpo e a sensação térmica (VME) foram relacionados empiricamente e dessa forma, para se modificar qualquer termo de cálculo da carga térmica no modelo e manter fidelidade à proposta original de FANGER (1970), é necessário o conhecimento amplo dos resultados dos experimentos utilizados na elaboração do método.

Tratando-se da influência do movimento do ar no conforto térmico identificou-se uma carência de estudos voltados a atividades não sedentárias em ambientes com temperaturas superiores a 21 °C. Essas atividades abrangem a maioria do trabalho industrial e o único trabalho encontrado com essa característica (JONES et al., 1986) concluiu que obtém-se similar, senão maior, nível de conforto com a combinação de alta velocidade do ar e alta temperatura do que com baixa velocidade do ar e baixa temperatura. Alguns resultados especialmente interessantes para o caso de ambientes não condicionados foram os dos trabalhos de ROHLES et al. (1983), TANABE e KIMURA (1987) e SCHEATZLE et al. (1989), que testaram, para atividades sedentárias, temperaturas superiores ao intervalo de conforto de verão e condições de intensidade de turbulência do ar semelhantes às normalmente encontradas nos ambientes ventilados, e concluíram que velocidades da ordem de 0,8 m/s ou maiores podem ser adotadas para compensar temperaturas superiores a 26 °C, como adotado pela ASHRAE 55 (1992).

Tratando-se da influência das condições térmicas na performance do Homem no trabalho sabe-se de experimentos de laboratório que essa influência existe tanto nas atividades que exigem esforço mental quanto físico e que é característica da combinação tipo de atividade, condição térmica e tempo de exposição (NASA, 1968 ; GOLDMAN, 1994 ; RAMSEY, 1984). Já nos experimentos em ambientes reais os resultados são divergentes e uma revisão de 53 trabalhos (SENSHARMA, WOODS & GOODWIN, 1998) apontou como causa dessa divergência a

definição de critérios de medida de produtividade impróprios ou a inadequada identificação ou avaliação dos fatores que influenciam esses critérios. A constatação dos efeitos negativos de condições térmicas desconfortáveis na performance em ambientes reais é complexa porque as pessoas são influenciadas por fatores motivadores que são função das suas necessidades e expectativas.

6 CONCLUSÕES

Foi realizada a sistematização da avaliação do conforto térmico em ambientes edificados, utilizando o conhecimento internacionalmente disponível. As informações reunidas são um subsídio técnico tanto para o estudo desse tema como para o desenvolvimento de ferramentas para aplicação prática, como o software Conforto 2.02.

Foi constatada, durante a elaboração dessa sistematização, a existência de pouquíssima informação sobre taxas de metabolismo do trabalhador brasileiro e a inexistência de dados sobre o isolamento térmico das roupas e dos equipamentos de proteção individual utilizados no país. O desenvolvimento de pesquisas sobre esses temas é fundamental, não só para os estudos de conforto térmico como também para os trabalhos relativos a sobrecarga térmica.

Foi desenvolvido o programa Conforto 2.02, que torna possível a avaliação do conforto térmico de um grupo de pessoas num ambiente edificado, de acordo com a ISO 7730 (1994). Esse programa permite também a simulação de intervenções nos ambientes, seja na fase de projeto ou de pós-ocupação, de forma a colaborar no processo de tomada de decisão para melhoria da sensação térmica, principalmente nos locais de trabalho. Uma outra aplicação é como ferramenta para estimativa “instantânea” da sensação térmica em pesquisas sobre conforto térmico. Isso poderá contribuir para a criação de ambientes que harmonizem as aspirações humanas, o clima e as atividades desenvolvidas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 1997a. 1v. cap. 8 : Physiological Principles for Comfort and Health . pp. 8.1 - 8.32 .
2. ---- . ---- . ---- . 1997b. 1v. cap. 13: Measurement and Instruments . p. 13.1 - 13.25 .
3. ----, Atlanta. **ASHRAE 55**; thermal environmental conditions for human occupancy. 1974.
4. ---- , Atlanta. **ASHRAE 55**; thermal environmental conditions for human occupancy. 1981.
5. ---- , Atlanta. **ASHRAE 55**; thermal environmental conditions for human occupancy. 1992.
6. ---- , Atlanta. **ASHRAE 41.6**; method for measurement of moist air properties. 1994.
7. ARAUJO, V.M.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. TESE (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1996.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 6401**; instalações centrais de ar condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980. 21p.
9. ASTRAND, I. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. **Acta Physiologica Scandinavica**, 49, supp. 169, 1960.
10. ASTRAND, I ; RODAHL, K. **Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise**. New York: McGraw-Hill, 1977.
11. AULICIEMS, A ; DE DEAR, R.J. Air conditioning in Australia I-Human thermal factors. *Architectural Science Review*, v. 29, n° 3, 1986.
12. BEYER, P. ; SALVADORETTI, J.L. Avaliação do conforto térmico ambiental. In: **MERCOFRIO 98 - FEIRA E CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL**, 1998, Porto Alegre - RS. **Anais...** Porto Alegre: Paulo Beyer, 1998.
13. BRAGER, G.S. Using laboratory-based models to predict comfort in office buildings. **ASHRAE Journal**, v.34, n.4, pp. 46-49, April 1992.
14. BRAGER, G.S. ; DE DEAR, R.J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, 27, pp. 83-96, 1998.
15. BRAGER, G.S. ; DE DEAR, R.J. Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. In: **Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century**, 2001, Windsor, UK. **Proceedings...** Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.

16. BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria n° 3214 de 8 de junho de 1978: Normas Regulamentadoras relativas a segurança e medicina do trabalho. In: Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho, 49ª edição, São Paulo: Atlas, 2001. 690 p.
17. BUSCH, J.F. A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. **Energy and Buildings**, 18, pp. 235-249, 1992.
18. COUTO, H. A. Ergonomia aplicada ao trabalho: Manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte. ERGO Editora, 1995. pp. 55-56.
19. CHUNG, T.M. , TONG, W.C. Thermal comfort study of young chinese people in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 25. n. 4, pp. 317-328, 1990.
20. CONSOLAZIO, C.F. ; MATHOUSH, L.R. ; NELSON, R.A. ; TORRES, J.B. ; ISAAC, G.J. Environmental temperature and energy expenditures. **Journal Applied Physiology**, v. 18, p. 65-68, 1963.
21. DE DEAR, R.J. ; AULICIEMS, A. Validation of the Predicted Mean Vote model of thermal comfort in six Australian field studies. In: **ASHRAE Transactions**, v.91(2B), 1985.
22. DE DEAR, R.J. ; LEOW, K.G. ; AMEEN, A. Thermal comfort in the humid tropics- Part 1: Climate chamber experiments on thermal acceptability in Singapore. In: **ASHRAE Transactions**, v. 97, I, 1991.
23. DE DEAR, R.J.; FOUNTAIN, M.E. Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, II, 1994.
24. DE DEAR, R.J. ; BRAGER, G.S. ; COOPER, D.J. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference- Final Report on ASHRAE RP 884. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997.
25. FANGER, O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970. 244p.
26. ---- . Calculation of Thermal Comfort - Introduction of a basic Comfort Equation. In: **ASHRAE Transactions**, v. 73, II, 1967. 20p.
27. FANGER, O.; OSTERGAARD, J. OLESEN, S.; MADSEN, T. L. The effect on man's comfort of a uniform air flow from different directions. **ASHRAE Transactions**, v. 80, part 2, 1974.
28. FANGER, O.; CHRISTENSEN, N. K. Perception of draught in ventilated spaces. **Ergonomics**, v. 29. n° 2, 1986.
29. FANGER, O ; MELIKOV, A. K.; HANZAWA, H.; RING, J. Air turbulence and sensation of draught. **Energy and Buildings**. v.12, 1988.
30. FANGER, O ; TOFTUM, J. Thermal comfort in the future – Excellence and expectation. In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 2001, Windsor, UK. **Proceedings...** Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.
31. FOUNTAIN, M.; ARENS, E.; DE DEAR, R.; BAUMAN, F.; MIURA, K. Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments. In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, part 2, 1994.
32. FROTA, A.B. ; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243p.
33. GAGGE, A.P. ; STOLWIJK, J.A.J. ; NISHI, Y. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. In: **ASHRAE Transactions**, v. 77, part. 1, 1971.

34. ----. ; NISHI, Y ; GONZALEZ, R.R. Standard effective temperature - A single index of temperature sensation and thermal discomfort. In: THERMAL COMFORT AND MODERATE HEAT STRESS, 1972, Watford. **Proceedings...** Watford: Building Research Establishment Report #2, September, 1972.
35. GOLDMAN, R.F. Productivity in the United States: A question of capacity or motivation. . In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, part 2, 1994.
36. GOMES, J.R. Dispendio energético e reposição calórica em algumas funções da indústria automobilística. São Paulo, 1978. 105 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.
37. GONÇALVES, W.B. Estudo de índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2000. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais.
38. GRIEFAHN, B.; KÜNEMUND, C.; GEHRING, U. Annoyance caused by draught: The extension of the draught-rating model (ISO 7730). In: Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century, Windsor, U. K. **Proceedings...** Oxford Brookes University. pp. 135-145, 2001.
39. GUIMARÃES, F.A. ; NEFUSSI, N. Engenharia de ventilação industrial. In: FUNDACENTRO. **Curso de Engenharia do Trabalho** . São Paulo, Fundacentro, 1979. 6v. V. 4: pp. 829-843.
40. HACKENBERG, A.M. Conforto e “Stress” Térmico em Indústrias: Pesquisas efetuadas nas regiões de Joinville, SC e Campinas, SP. Campinas, 2000. 265 p. Tese. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.
41. HANZAWA, H.; MELIKOW, A.K.; FANGER, P.O. Airflow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces. **ASHRAE Transactions**, v.93, part 1, 1987.
42. HAVENITH, G. Heat balance when wearing protective clothing. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 43, n° 5, pp. 289-296, 1999.
43. HAVENITH, G. ; HOLMÉR, I. ; DEN HARTOG. E.A. ; PARSONS, K. Clothing evaporative heat resistance-Proposal for improved representation in standards and models. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 43, n° 5, pp. 339-346, 1999.
44. HAVENITH, G. ; HOLMÉR, I. Clothing evaporative heat exchange in comfort standards. In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 2001, Windsor, UK. **Proceedings...** Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.
45. HOLMÉR, I. ; NILSSON, H. ; HAVENITH, G. ; PARSONS, K. Clothing convective heat exchange-Proposal for improved prediction in standards and models. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 43, n° 5, pp. 329-337, 1999.
46. HOLMÉR, I. ; HAVENITH, G. Clothing convective heat exchange and prediction of thermal comfort. In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 2001, Windsor, UK. **Proceedings...** Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.
47. HOUGHTEN, F.C. ; YAGLOU, C.P. Determining lines the equal comfort , and Determination of the comfort zone. In: **ASHVE Transactions**, v. 29 , 1923.
48. ----.----. Cooling effect on human beings produced by various air velocities. In: **ASHVE Transactions**, v. 30 , 1924.
49. HUMPHREYS, M.A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Building Services Engineer**, v. 44, 1976.

50. HUMPHREYS, M.A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Building Research and Practice**, v. 6, n° 2, 1978.
51. HUMPHREYS, M.A.; NICOL, J.F. An adaptive guideline for UK office temperatures. In: NICOL, F. et. al. **Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century**. London, pp. 190-195, 1995.
52. HUMPHREYS, M.A.; NICOL, J.F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. In: **ASHRAE Transactions**, v. 104, part 1, 1998.
53. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. **ISO 7730**; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1984.
54. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland. **ISO 7726**; thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities. Switzerland, 1998.
55. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland. **ISO 7243**; hot environments-estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT- index (wet bulb globe temperature). 1989. 9p.
56. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. **ISO 8996**; ergonomics-determination of metabolic heat production. Geneva, 1990.
57. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. **ISO 7730**; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.
58. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. **ISO 9920**; ergonomics-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Geneva, 1995.
59. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. **ISO 10551**; assesment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Geneva, 1995.
60. JABARDO, J. M. S. Conforto Térmico. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1984. 22 p.
61. JAMY, G.N. Towards new indoor comfort temperatures for Pakistani buildings. In: NICOL, F. et. al. **Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century**. London, pp.14-27, 1995..
62. JONES, B.W. ; HSIEH, K. ; HASHINAGA, M. The effect of air velocity on thermal comfort at moderate activity levels. In: **ASHRAE Transactions**, v. 92, part. 2B, 1986.
63. KÄHKÖNEN, E. ; NYKYRI, E. ; ILMARINEN, R. ; KETOLA, R. ; LUSA, S. ; NYGARD, C-H. ; SUURNÄKKI, T. The effect of appraisers in estimating metabolic rate with the Edholm scale. In **Applied Ergonomics**, v.23, n° 3, 1992.
64. KARYONO, T.H. Thermal comfort for the Indonesian workers in Jakarta. **Building Research and Information**, v. 23, n° 6, 1995.
65. KOCH, W. ; JENNINGS, B.H. ; HUMPHREYS, C.M. Environmental study II - Sensation responses to temperature and humidity under still air conditions in the comfort range . In: **ASHRAE Transactions**, v. 66, 1960.
66. KRAUT, H. Food intake as a factor of production. In: Symposium International "Alimentation et Travail", Vittel, Paris, France, 1972, pp. 216-225.
67. LABORATORI DI STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE. **L'ambiente fisico**. Milano, 1997. 166p.

68. LORSCH, H.G. ; ABDU, O.A. The impact of the building indoor environment on occupant productivity-part 1: Recent studies, measures and costs. In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, part 2, pp. 741-749, 1994a.
69. LORSCH, H.G. ; ABDU, O.A. The impact of the building indoor environment on occupant productivity-part 2: Effects of temperature. In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, part 2, pp. 895-901, 1994b.
70. LOUHEVAARA, B. ; ILMARINEN, J. ; OJA, P. Comparison of three field methods for measuring oxygen consumption. **Ergonomics**, v. 28, n° 2, pp. 463-470, 1985,.
71. MACINTYRE, A.J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1990. Cap. 3: Efeito do movimento do ar sobre o conforto de uma pessoa. pp.26-36.
72. MALCHAIRE, J. ; WALLEMACQ, M. ; ROGOWSKY, M. ; VANDERPUTTEN. Validity of oxygen consumption measurement at the workplace: What are we measuring. In: **Annals of Occupational Hygiene**, v. 28, n. 2, pp. 189-193, 1984.
73. MCARDLE, W. D. ; KATCH, F. I. ; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício - Energia, Nutrição e desempenho humano**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1985a. Cap. 9: Consumo de energia humana durante o repouso e a atividade física. pp. 96-107.
74. MCARDLE, W. D. ; KATCH, F. I. ; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício - Energia, Nutrição e desempenho humano**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1985b. Cap. 11: Diferenças individuais e mensurações das capacidades energéticas. pp. 122-139.
75. MCCULLOUGH, E.A. ; JONES, B.W. ; HUCK, J. A comprehensive data base for estimating clothing insulation. In: **ASHRAE Transactions**, v. 91, part. 2A, 1985.
76. MCCULLOUGH, E.A. ; OLESEN B.W. ; HONG, S. Thermal insulation provided by chairs. In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, I, pp. 795-802, 1994,.
77. MCINTYRE, D. A. Preferred air speeds for comfort in warm conditions. **ASHRAE Transactions**, v. 84, part 2, 1978.
78. MCINTYRE, D.A. **Indoor Climate**. London: Applied Science Publishers, 1980. 443p.
79. MCNALL, P.E. ; JAAX, J. ; ROHLES, F.H. ; NEVINS, R. G. ; SPRINGER, W. Thermal comfort (Thermally neutral) conditions for three levels of activity . In: **ASHRAE Transactions**, v. 73, 1967.
80. MEESE, G.B. ; KOK, R. ; LEWIS, M.I. ; WYON, D.P. A laboratory study of the effects of moderate thermal stress on the performance of factory workers. **Ergonomics**, v. 27, n° 1, pp. 19-43, 1984.
81. MENDES, A.M.B. Os novos paradigmas de organização do trabalho: Implicações na saúde mental dos trabalhadores. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. Fundacentro. São Paulo: v. 23, n° 85/86, 1997.
82. MESQUITA, A.L.S. ; GUIMARÃES, F.A. ; NEFUSSI, N. **Engenharia de Ventilação Industrial**. São Paulo, CETESB/ASCETESB, 1985. 442p.
83. MODERA, M.P. Skin temperature and evaporative heat loss variations for men and women in thermal comfort . In: **ASHRAE Transactions**, v. 99, II, 1993.
84. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. NASA CR-1205, Compendium of human responses to the aerospace environment. Washington D.C., 1968. cap. 6 - Thermal Environment, pp. 98-102.
85. NELSON, T.M. ; NILSSON, T.H. ; JOHNSON, M. Interaction of temperature, illuminance and apparent time on sedentary work fatigue. **Ergonomics**, v. 27, pp. 89-101, 1984.

86. NELSON, T.M. ; NILSSON, T.H. ; HOPKINS, G.W. Steps toward convergence of optimal human and energy effectiveness. Report to Alberta Environmental Research Trust, Calgary, 1984.
87. NELSON, T.M. ; NILSSON, T.H. ; HOPKINS, G.W. Thermal comfort: advantages and deviations. In: **ASHRAE Transactions**, v. 93, part 1, 1987.
88. NEVINS, R.G. Criteria for thermal comfort. **Building Research**, p. 27-30, Jul-Aug. 1966.
89. NICOL, J. F. Thermal comfort and temperature standards in Pakistan. In: NICOL, F. et. al. **Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century**. London, 1995. pp. 149-157.
90. NICOL, J. F ; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 2001, Windsor, UK. **Proceedings...** Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.
91. NIELSEN, R. ; MEYER, J. P. Evaluation of metabolism from heart rate in industrial work. **Ergonomics**, v. 30, n° 3, pp. 563-572, 1987.
92. NISHI, Y. Measurement of thermal balance of man. **Bioengineering Thermal Physiology and Comfort**. New York, eds. Elsevier, 1981.
93. OLESEN, S.; BASSING, J.J.; FANGER, O. Physiological comfort conditions at sixteen combinations of activity, clothing, air velocity and ambient temperature. **ASHRAE Transactions**, v. 78, part 2, 1972.
94. OLESEN, B.W. A new simpler method for estimating the thermal insulation of a clothing ensemble. In: **ASHRAE Transactions**, v. 91, part. 2B, 1985.
95. OLESEN, B.W. Standards for design and evaluation of the indoor thermal environment. **ASHRAE Journal**, p. 20-25, Aug. 1993.
96. OSELAND, A.N. Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes, **Energy and Buildings**, 23, pp. 105-115, 1995.
97. PASSMORE, R ; ROBSON, J.S. A companion to medical studies. Oxford: Blackwell, v.1, 1968.
98. RAMSEY, J.D. Heat and cold. In: HOCKEY, R. Stress and fadigue in human performance. England: John Wiley & Sons ltd, 1984. chapter 2, pp. 33- 60.
99. RIBEIRO, B.A. Contribuição ao estudo do conforto térmico. **Boletim nº 86, Instituto de Higiene de São Paulo**, 1945.
100. ROHLES, F.H. ; NEVINS, R.G. ; SPRINGER, W ; FEYERHERM, A.M. Temperature - Humidity chart for thermal comfort of seated persons. In: **ASHRAE Transactions**, v. 72, part. I, 1966.
- 101.---- . **Thermal sensation of sedentary man in moderate temperature**. Institute for Environmental Research, Special Report. Kansas State University, 1970.
- 102.---- ; ----. The nature of thermal comfort for sedentary man. In: **ASHRAE Transactions**, v. 77, part. I, 1971.
- 103.---- . Psychological aspects of thermal comfort. **ASHRAE Journal**, p. 86-90, Jan. 1971.
- 104.---- , WOODS, J., NEVINS, R. The effects of air movement and temperature on the thermal sensations of sedentary man. **ASHRAE Transactions**, v. 80, part 1, 1974.
- 105.---- ; HAYTER, R.B. ; MILLIKEN, G. Effective temperature (TE*) as a predictor of thermal comfort. In: **ASHRAE Transactions**, v. 81, part. 2, 1975.
- 106.----; KONZ, S.A.; JONES, B.W. Ceiling fans as extenders of the summer comfort envelope. **ASHRAE Transactions**, v.89, part 1, 1983.

107. ROWE, D.M. Warm and sweaty: thermal comfort in two naturally ventilated offices in Sydney. In: NICOL, F. et. al. **Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century**. London, 1995. pp. 234-241.
- 108.---- ; LAMBERT, S.G. ; WILKE, S.E. Pale green, simple and user friendly: occupant perceptions of thermal comfort in office buildings. In: NICOL, F. et. al. **Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century**. London, 1995. pp. 59-69.
109. ROWLEY, F.B. ; JORDAN, R.C. ; SNYDER, W.E. Comfort reactions of workers during occupancy of air conditioned offices. **ASHVE Transactions**, 53, 1947.
110. RUAS, A.C. ; LABAKI, L.C. Cuidados na aplicação prática da ISO 7730. In: MERCOFRIO 98 - FEIRA E CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, 1998, Porto Alegre-RS. **Anais...** Porto Alegre: Paulo Beyer, 1998
111. RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999a. 94 p.
112. RUAS, A.C. Avaliação de conforto térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. Campinas, 1999b. 71 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
113. SÁ, P. Estudos para o estabelecimento de uma escala de temperaturas efetivas no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia**, 27, n° 3, pp. 67-69, 1934.
114. SÁ, P. Estudos sobre o conforto térmico e o conforto visual no Brasil. **Boletim do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio**, Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1936.
115. SCHEATZLE, D.G.; WU, H.; YELLOTT, J. Extending the summer comfort envelope with ceiling fans in hot, arid climates. **ASHRAE Transactions**, v. 95, part 1, 1989.
116. SCHILLER, G.E. ; ARENS, E.A. ; BAUMAN, F.S.; BENTON, C. ; FOUNTAIN, M. ; DOHERTY, T. A field study of thermal environments and comfort in office buildings. In: **ASHRAE Transactions**, v. 94, part. 2, 1988.
117. SCHILLER, G.E. A comparison of measured and predicted comfort in office buildings. In: **ASHRAE Transactions**, v. 96, part. I, 1990.
118. SENSHARMA, N.P. ; WOODS, J.E. ; GOODWIN, A.K. Relationships between the indoor environment and productivity: A literature review. . In: **ASHRAE Transactions**, v. 104, part. 1A, 1998.
119. SILVA, R.S.N. **Conforto, ventilação e insolação**. 1979. 247p.
120. SPITZER, J. ; HETTINGER, T. ; KAMINSKY, G. **Tafeln für Energieumsatz bei körperlicher Arbeit** . Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln, 1982.
121. SZOKOLAY, S.V. Environmental Science Handbook for Architects and Builders. Lancaster: Construction Press, 1980. 532 p.
122. TANABE, S. ; KIMURA, K. ; HARA, T. Thermal comfort requirements during the summer season in Japan. In: **ASHRAE Transactions**, v. 93, part. I, 1987a.
123. TANABE, S.; KIMURA, K. Thermal comfort requirements under hot and humid conditions. In: **Proceeding...** of the First ASHRAE for East Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Singapore, 1987b.
124. TANABE, S. ; KIMURA, K. Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. In: **ASHRAE Transactions**, v. 100, part. 2, 1994.

125. THORSHAUGE, J. Air velocity fluctuations in the occupied zone of ventilated spaces. **ASHRAE Transactions**, v. 88, part 2, 1982.
126. TOFTUM, J. Traekgener i det industrielle arbejdsmiljø. Licentiatforhandling, laboratoriet for varme-og klimateknik, Danmarks Tekniske Universitet (Draught complaints in the industrial work environment), pp 1-100, 1994.
127. VERNON, H.M. ; WARNER, C.G. The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *J. Hyg. Camb.*,v. 32, p. 431-462, 1932.
128. WOODS, J.E. ; WINACOR, G. ; MALDONADO, E.A.B. ; ALAGHEHBAND, A. ; ADAMS, S.K. Relationships between measures of thermal environment and measures of worker productivity. In: **ASHRAE Transactions**, v. 87, part 2, 1981.
129. WYON, D. ; et. al. The mental performance of subjects clothed for comfort of two different air temperatures. **Ergonomics**, 18, 4, 1975.
130. XAVIER, A.A.P. Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis. Florianópolis, 1999. 198 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
131. XAVIER, A.A.P. Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividade sedentária- Teoria física aliada a estudos de campo. Florianópolis, 2000. 251 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
132. YAGLOU, C.P. ; HOUGHTEN, F.C. Determining lines of equal comfort and determination of the comfort zone. In: **ASHVE Transactions**, 29, 1923.
133. YAGLOU, C.P. ; MILLER, W.E. Effective temperature with clothing. In: **ASHVE Transactions**, 31: 89 - 99, 1925.
134. YAGLOU, C.P. ; DRINKER, P. The summer comfort zone. In: **ASHVE Transactions**, 35, 1929.
135. YAGLOU, C.P. A method for improving the effective temperature index. In: **ASHVE Transactions**, 53, 1947.

ANEXOS

Anexo A - CD de instalação do software Conforto 2.02

ABSTRACT

The construction of buildings adapted to the climate and the occupation type characteristics is fundamental to obtain an environment that achieves the human expectations for thermal comfort and to rationalize the use of energy with ventilation, heating and air conditioning systems.

In fact there are a lot of buildings designed mainly in function of aesthetic tendencies or technical demands of production, without the concern with adapting the environment for the human's characteristics and limitations. This is an especially important problem of work environments where operational conditions expose workers to different degrees of thermal discomfort, which certainly affects their efficiency. Furthermore, in the extreme cases, heat stress or hypothermia, can cause physiologic damages.

The evaluation of thermal comfort is an important tool to identify and analyse problems originating from the project, the construction or from the building maintenance and some from the work organization

The thermal discomfort is common in the Brazilian work environment. Most of the complaints refer to the heat, but there are also complaints related to the cold that are mainly originated from the places that manipulate and/or store cold or frozen products, like supermarkets and cold storage plants.

That reality can be partly explained by the scarce literature and the insipient research on that subject in Brazil, as well as because we do not have a standard method to evaluate a person's thermal sensation or a legislation that specifies the comfort conditions or the limits of thermal discomfort.

The current situation is that the designers of buildings and ventilation systems as well as those responsible for the safety and health in the work environment do not have knowledge or the practical tools for the evaluation of the thermal comfort of the built environments.

Thus, being adopted the ISO 7730 (1994) method for thermal comfort evaluation, the updated knowledge was systematized, relating to the inherent mathematical models of the method and how to obtain the comfort variables. Based on that work, the software Conforto 2.02 was developed to evaluate a person's thermal sensation in agreement with ISO 7730 (1994), ISO 7726 (1998), ISO 8996 (1990) and ISO 9920 (1995).

That software, designed for Windows platform, allows the environments intervention simulation, which is done at the project phase or after the occupation, in order to collaborate in the decision process to improve thermal sensation, mainly in work places.

Key words: thermal comfort, ISO 7730, Ergonomics.