EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA – O CASO DO CENTRO DE ENERGIA E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

Profª Louise Bittencourt Land Lomardo, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2007

STILPEN, DANIEL VASCONCELLOS DE SOUSA

Eficiência Energética e Arquitetura Bioclimática – o Caso do Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis. [Rio de Janeiro] 2007.

XX, 293 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Eficiência Energética em Edificações

2. Conforto Térmico

3. Arquitetura Bioclimática

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Esta dissertação é especialmente dedicada à minha eterna musa inspiradora Monique Tioka Yamasaki, companheira perfeita e grande incentivadora deste trabalho, que sempre me deu forças para galgar mais este desafio profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família, Paulo (pai), Lidia (mãe) e Patricia (irmã), principalmente pelo apoio nos momentos mais difíceis e desanimadores da trajetória.

Ao meu orientador, Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, por ter aceitado o desafio de orientar este projeto e me conduzir com maestria pelos melhores caminhos.

Aos professores do Programa de Planejamento Energético da COPPE, pela transmissão do vasto e rico conhecimento interdisciplinar, o que evidencia a notória qualidade do curso.

A todos os funcionários técnico-administrativos do PPE agradeço a atenção dispensada no cotidiano, bem como a doçura no atendimento. Sempre prestativos, resolviam com presteza qualquer problema, mantendo no rosto o sorriso característico.

Aos companheiros de turma 2005: Renata, André, Bianca, Rodrigo Ribas, "Tácito", Daniel Oberling, Renan, Anamélia, Ana Carolina, Heitor e William Wills.

Aos amigos Carlos Pacheco, Marcelo Cavalcanti, Raquel e Fernanda Delgado, Sérgio, Rodolfo, Maurício, Pedro, Huei, Oliveira, Mumu e Bruno Borba, Thiago Krempel, Justino e Raphael, Paulo Roberto, Isabel, Sandro, Diogo Maia e Fufunha; dentre tantos outros.

Aos voluntários entrevistados, sem os quais não haveria a parte experimental desta obra.

Aos parceiros de labuta diária e churrascos no IVIG, não necessariamente nesta ordem, Sylvia Rola, Tatiana, Rodrigo Ribas, Anamélia, Guiga, Rogério, Riane, Claudia, Bia, Aurélio, Cícero, Camila, Lumiar, Rachel, Neilton, Angela, Luciano, Veloni, Zé, Alanda, Adriano, Dona Fátima, Miguel, Victor, Rodrigo, Juliane, Luiz Carlos, Diogo e Ednaldos.

Por fim, ao pessoal da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), por entenderem a relevância deste trabalho e, na reta final, terem dado o incentivo necessário para a conclusão do texto.

“A maior recompensa de nosso trabalho não é o quanto nos pagam por ele, mas sim aquilo no que ele nos transforma”.

(John Ruskin)

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA – O CASO DO CENTRO DE ENERGIA E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

Julho / 2007

Orientador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Programa: Planejamento Energético

Esta dissertação analisa a eficiência energética de uma habitação unifamiliar, de interesse social, erguida na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. Inicialmente descreve-se o Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis e avalia-se o comportamento térmico dos materiais não-convencionais utilizados em sua construção. Em seguida realiza-se um experimento de conforto térmico, de acordo com a teoria de conforto proposta por Fanger. Na seqüência há o tratamento destes dados experimentais coletados em mais de 300 (trezentas) entrevistas. Por fim apresenta-se sugestões bioclimáticas de alternativas construtivas e pós-ocupacionais, com baixo custo de implementação e grandes benefícios gerados aos habitantes da casa popular, no que tange ao bem-estar climático.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ENERGY EFFICIENCY AND BIOCLIMATIC ARCHITECTURE – THE CASE OF DE CENTER OF ENERGY AND SUSTAINABLE TECHNOLOGIES

Daniel Vasconcellos de Sousa Stilpen

July / 2007

Advisor: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Department of Energy Planning

This thesis analyzes the energy efficiency of a single-family dwelling, constructec in Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. It first describes the Center of Energy and Sustainable Technologies and also evaluates the thermal behavior of the not-conventionals materials used in its construction. After that, a thermal comfort experiment, in accordance with the thermal comfort theory proposed by Fanger, is presented. Then, the experimental data analysis, from more than 300 (three hundred) interviews, is shown. Finally, some bioclimatic suggestions for modifications in the architecture project of the dwelling are presentend. All solutions represent significant increases in the human thermal comfort responses, with low implementation cost.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO 1
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA 6
II.1 – Primeiras Pesquisas Internacionais 6
II.2 – O Método Fanger 13
II.3 –O Conceito de Temperatura Efetiva e Carta Bioclimática..... 17
II.4 – A Teoria Adaptativa 20
II.5 - Influência do movimento do ar no conforto térmico 31
II.6 – A Influência do Conforto Térmico na Produtividade 34
II.7 – Principais Pesquisas Brasileiras 38
II.8 – Estado da Arte 46
II.9 – Legislação Sobre Conforto Térmico 49
II.9.1 – Normas Internacionais 49
II.9.2 – Normas Nacionais 53
CAPÍTULO III – CONFORTO TÉRMICO E TERMOREGULAÇÃO HUMANA 56
III.1 – Definição de Conforto Térmico 56
III.2 - Homeotermia e termoregulação humana 57
III.2.1 – A importância do hipotálamo 59
III.2.2 – Metabolismo humano 60
III.2.3 – Hipotermia 61
III.2.4 - Hipertermia 63
III.2.5 – O sangue como elemento termoregulador 65
III.3 – O modelo de Fanger 67
III.3.1 – Variáveis Ambientais 69
III.3.2 – Variáveis Pessoais 71
III.3.3 – Balanço térmico proposto por Fanger 73
III.3.4 – PMV – Voto Médio Previsto 80
III.3.5 – PPD – Percentual de Pessoas em Desconforto 81

III.3.6 – Atualização do modelo para regiões tropicais 83
CAPÍTULO IV – A BIOCLIMATOLOGIA COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO 87
IV.1 – Breve Histórico 87
IV.2 – Escolha de uma Carta Bioclimática para o Brasil..... 93
IV.3 – Detalhamento de cada Zona Térmica e das Respectivas Estratégias..... 96
IV.3.1 – Zona de Conforto 96
IV.3.2 – Zona de Ventilação 98
IV.3.3 – Zona de Resfriamento Evaporativo.....101
IV.3.4 – Zona de Massa Térmica para Resfriamento.....104
IV.3.5 - Zona de Ar-condicionado 106
IV.3.6 - Zona de Umidificação.....107
IV.3.7 - Zona de Massa Térmica para Aquecimento.....109
IV.3.8 - Zona de Aquecimento Solar Passivo 111
IV.3.9 - Zona de Aquecimento Artificial 113
IV.4 – Ano Climático de Referência (TRY) x Normais Climatológicas 115
IV.4.1 – Ano Climático de Referência (TRY).....115
IV.4.2 – Normais Climatológicas 118
IV.4.3 – Comparação entre as duas abordagens 121
IV.5 – Software Gratuito para Análise Bioclimática 123
IV.6 – Normatização sobre o Zoneamento Bioclimático Brasileiro 126
CAPÍTULO V – ESTUDO DE CASO.....131
V.1 – A Casa Ecológica do IVIG/CETS/UFRJ 131
V.1.1 – Financiamento e apoio governamental.....131
V.1.2 – CETS – Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis.133
V.1.3 – Localização 135
V.1.4 – Descrição arquitetônica 136

V.1.5 – Materiais não-convencionais utilizados na Casa Ecológica 138
V.1.6 –Redução das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa 144
V.2 – Confortímetro Sensu 149
V.2.1 – Softwares do aparelho 151
V.2.2 – Incertezas dos sensores 151
V.2.3 – Medições iniciais 152
V.2.4 – Calibração 154
V.3 – Metodologia da pesquisa 158
V.3.1 – Duração do experimento 158
V.3.2 – Tamanho da amostra 159
V.3.3 – Escolha da amostra 160
V.3.4 – Descrição do procedimento experimental 161
CAPÍTULO VI – TRATAMENTO DE DADOS EXPERIMENTAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS 165
VI.1 – Análise Estatística da Amostra 165
VI.1.1 – Idade dos Entrevistados 168
VI.1.2 – Altura dos Entrevistados 170
VI.1.3 – Peso dos Entrevistados 172
VI.1.4 – Sexo dos Entrevistados 175
VI.1.5 – Índice de Massa Corporal (IMC) dos Entrevistados 176
VI.1.6 – Participação Individual 179
VI.2 – Aceitabilidade Térmica 181
VI.2.1 – Ambiente 1 – Medição Matinal 182
VI.2.2 – Ambiente 2 – Medição Matinal 183
VI.2.3 – Ambiente 1 –Medição ao Meio-dia 184
VI.2.4 – Ambiente 2 – Medição ao Meio-dia 185
VI.2.5 – Ambiente 1 – Medição Vespertina 186
VI.2.6 – Ambiente 2 –Medição Vespertina 187
VI.2.7 – Ambiente 1 – Avaliação Geral 188

VI.2.8 – Ambiente 2 –Avaliação Geral 189
VI.2.9 – Aceitabilidade Térmica – Resumo 190
VI.3 – Tolerância Térmica 191
VI.3.1 - Tolerância Térmica – Ambiente 1 192
VI.3.2 - Tolerância Térmica – Ambiente 2 193
VI.4 – Conforto Térmico na Casa Ecológica –Conclusão 195
VI.5 – Teoria de Fanger x Bioclimatismo 200
VI.6 – Influência de cada Variável do Modelo de Conforto de Fanger no Resultado Final 204
VI.6.1 – Influência das Variáveis Individuais 204
VI.6.2 – Influência das Variáveis Climáticas 205
VI.7 – Sugestões de Alterações para Mitigação Térmica.....205
VI.7.1 – Alterações de Projeto 207
VI.7.2 – Alterações para Edificações já Construídas 214
VI.8 –Comentários Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros 217
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 219
ANEXO I – ÍNDICES DE VESTIMENTA, Icl, SEGUNDO A NORMA INTERNACIONAL lSO 7730 (1994).....240
ANEXO II – ÍNDICES DE NÍVEIS DE METABOLISMO GERADO POR CADA TIPO DE ATIVIDADE FÍSICAS, SEGUNDO A NORMA INTERNACIONAL lSO 7730 (1994).....244
ANEXO III – ANTEPROJETO DA NORMA TÉCNICA ABNT NBR 15220–3 248
ANEXO IV - QUESTIONÁRIO DO EXPERIMENTO DE CONFORTO TÉRMICO NO CETS/IVIG 272
ANEXO V – ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS 274

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas) 10
Figura 2.2 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV 16
Figura 2.3 – Estações Individuais de Ar Personalizado 47
Figura 2.4 – Perda de Produtividade em Atividades de Digitação e Raciocínio 49
Figura 3.1 – Variação da temperatura corporal interna em relação à oscilação na temperatura ambiente 58
Figura 3.2 – Vasoconstrição e vasodilatação na homeotermia 66
Figura 3.3 – Conceito de Temperatura Média Radiante 70
Figura 3.4 – Área Corporal em Função do Peso e da Altura 72
Figura 3.5 – Interação Térmica entre o Corpo Humano e o Ambiente 74
Figura 3.6 – Zona de conforto térmico segundo a norma ISO 7730, em função dos índices PMV e PPD 82
Figura 4.1 – Diagrama Bioclimático Adaptado para Climas Quentes 89
Figura 4.2 – Carta Bioclimática de Givoni para Países Desenvolvidos e em Desenvolvimento 92
Figura 4.3 – Carta Bioclimática de Givoni para o Brasil 95
Figura 4.4 – Zona de Conforto 97
Figura 4.5 – Zona de Ventilação 99
Figura 4.6 – Ventilação Cruzada, em planta 100
Figura 4.7 – Ventilação da Cobertura 100
Figura 4.8 – Zona de Resfriamento Evaporativo 101
Figura 4.9 – Resfriamento Evaporativo Direto, por Microasperção de Água no ar 102

Figura 4.10 – Resfriamento Evaporativo Indireto, através da Cobertura 103
Figura 4.11 – Zona de Massa Térmica para Resfriamento 104
Figura 4.12 – Estratégias de Resfriamento por Massa Térmica 105
Figura 4.13 – Zona de Ar-condicionado 106
Figura 4.14 – Zona de Umidificação 108
Figura 4.15 – Umidificação com Fontes de Água 109
Figura 4.16 – Zona de Massa Térmica para Aquecimento 110
Figura 4.17 – Estratégias de Massa Térmica para Aquecimento 111
Figura 4.18 – Zona de Aquecimento Solar Passivo 112
Figura 4.19 – Estratégias de Aquecimento Solar Passivo 113
Figura 4.20 – Zona de Aquecimento Artificial 114
Figura 4.21 – Método das Normais Climatológicas – 1ª etapa 119
Figura 4.22 – Método das Normais Climatológicas – 2ª etapa 120
Figura 4.23 – Método das Normais Climatológicas – 3ª etapa 120
Figura 4.24 – Ano Climático de Referência da cidade do Rio de Janeiro, plotado no programa Analysis Bio 124
Figura 4.25 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro, segundo a ABNT 127
Figura 4.26 – Zona Bioclimática 8 128
Figura 5.1 – Linhas de Pesquisa existentes no IVIG/COPPE/UFRJ 134
Figura 5.2 – Fachada frontal do CETS/IVIG/UFRJ 135
Figura 5.3 – Localização do CETS/IVIG/UFRJ 136
Figura 5.4 – Planta baixa da Casa Ecológica do CETS 137
Figura 5.5 – Tijolo de solo cimento 139
Figura 5.6 – Telha de fibra de coco 141
Figura 5.7 – *Bambusa vulgaris "vittata"* (bambu brasileiro) 143
Figura 5.8 – Emissões atmosféricas totais do projeto CETS 148
Figura 5.9 – Confortímetro Sensu 150

Figura 5.10 – Primeiras medições na Casa Ecológica 153
Figura 5.11 – Monitoramento em tempo real do experimento térmico 156
Figura 5.12 – Tela de apresentação do Confortímetro Sensu 157
Figura 6.1 – Histograma etário da amostra 169
Figura 6.2 – Histograma de altura da amostra 172
Figura 6.3 – Histograma de peso da amostra 174
Figura 6.4 – Sexo da amostra 175
Figura 6.5 – Histograma de IMC da amostra 178
Figura 6.6 – Ambiente 1 – medição matinal 183
Figura 6.7 – Ambiente 2 – medição matinal 184
Figura 6.8 – Ambiente 1 – medição ao meio-dia 185
Figura 6.9 – Ambiente 2 – medição ao meio-dia 186
Figura 6.10 – Ambiente 1 – medição vespertina 187
Figura 6.11 – Ambiente 2 – medição vespertina 188
Figura 6.12 – Ambiente 1 – avaliação geral 189
Figura 6.13 – Ambiente 2 – avaliação geral 189
Figura 6.14 – Trajetória solar no hemisfério sul 208
Figura 6.15 – Orientação solar do CETS 209
Figura 6.16 – Velocidades Predominantes de Ventos no Rio de Janeiro 212
Figura 6.17 – Freqüência Eólica no Rio de Janeiro 213

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fator de correção proposto, “e” 29
Tabela 2.2 – Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária dados pelas normas NBR 6401 e ISO 7730 54
Tabela 3.1 – Valores para o fator de expectativa “e” 85
Tabela 3.2 – Redução metabólica humana em função do PMV.....86
Tabela 4.1 – Estratégias de Mitigação Térmica para a Cidade do Rio de Janeiro (% de horas anuais) 126
Tabela 4.2 – Estratégias de Condicionamento Térmico para a Zona Bioclimática 8 129
Tabela 5.1 – Emissões atmosféricas totais [t CO_2] 145
Tabela 5.2 – Emissões atmosféricas em relação à área construída [t CO_2/m² construído] 146
Tabela 5.3 – Emissões atmosféricas evitadas em relação à área construída [t CO_2/m² construído] 147
Tabela 5.4 – Incertezas de Medição no Confortímetro Sensu 152
Tabela 6.1 – Consolidação de dados dos entrevistados 167
Tabela 6.2 – Perfil etário da amostra 168
Tabela 6.3 – Perfil de altura da amostra 171
Tabela 6.4 – Perfil de peso da amostra 173
Tabela 6.5 – Perfil de sexo da amostra 176
Tabela 6.6 – Perfil de IMC da amostra 177
Tabela 6.7 – Participação individual da amostra 180
Tabela 6.8 – Aceitabilidade térmica – quarto 1 190
Tabela 6.9 – Aceitabilidade térmica – quarto 2 191
Tabela 6.10 – Tolerância térmica – quarto 1 192
Tabela 6.11 – Tolerância térmica – quarto 2 193
Tabela 6.12 – Tolerância térmica simplificada – quarto 1 194

Tabela 6.13 – Tolerância térmica simplificada – quarto 2 194
Tabela 6.14 – Votos “tolerância perfeita” 196
Tabela 6.15 – Votos “tolerância perfeita” e “leve dificuldade em tolerar” 198
Tabela 6.16 – Principais Estratégias Bioclimáticas para o Rio de Janeiro [% de horas anuais] 201
Tabela 6.17 – Estratégias Bioclimáticas para o Período do Experimento [% de horas] 202

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE = Empresa de Pesquisa Energética

ET = Temperatura Efetiva

HVAC = Heating, Ventilation and Air Conditioning

IBUTG = Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo

IMC = Índice de Massa Corporal

INT = Instituto Nacional de Tecnologia

ISO = International Organization for Standardization

IVIG = Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais

LABEEE = Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LMPT = Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas

MA = Massa Térmica para Aquecimento;

MDL = Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MR = Massa Térmica para Resfriamento;

MTE = Ministério do Trabalho e Emprego

NBR = Norma Brasileira Regulamentadora

NR = Norma Regulamentadora

PID = Proporcional Integral Derivativo

PMV = *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Estimado)

PPD = *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Percentual Estimado de Insatisfeitos)

Procel = Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PUC-PR = Pontifícia Universidade Católica do Paraná;

RE = Resfriamento Evaporativo;

SET = Temperatura Efetiva Padrão

TRY = *Test Reference Year*

U = Umidificação;

UFAL = Universidade Federal de Alagoas

UFBA = Universidade Federal da Bahia

UFF = Universidade Federal Fluminense

UFMG = Universidade Federal de Minas Gerais

UFMS = Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

UFPel = Universidade Federal de Pelotas

UFRGS = Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ = Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFRN = Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFSC = Universidade Federal de Santa Catarina

UNB = Universidade de Brasília

V = Ventilação;

Z8 = Zona Bioclimática 8

LISTA DE SÍMBOLOS

A = coeficiente do cálculo da temperatura operativa

C = perda de calor sensível através da pele por convecção [W/m²]

clo = unidade do índice de vestimenta (1 clo = 0,155 m².K/W)

C_{res} = perda de calor convectivo na respiração [W/m²]

e = fator de expectativa para correção da teoria de Fanger

E_{dif} = calor perdido por difusão de água através da superfície cutânea [W/m²]

E_{res} = perda de calor evaporativo na respiração [W/m²]

E_{sk} = calor latente liberado pela pele por evaporação [W/m²]

E_{trans} = calor perdido por transpiração de água através da superfície cutânea [W/m²]

f_{cl} = fator de vestimenta, adimensional

h_c = coeficiente de convecção entre a superfície do vestuário e o ar ambiente [W/(m².K)]

I_{cl} = índice de vestimenta

L = termo de acumulação de energia térmica [W/m²]

M = metabolismo [W/m²]

met = unidade do índice de metabolismo (1 met = 58,15 W/m²)

Met = índice de metabolismo

p_a = pressão parcial do vapor de água no ambiente [Pa]

Q_{res} = calor liberado através da respiração [W/m²]

Q_{sk} = calor liberado através da pele [W/m²]

R = perda de calor sensível através da pele por radiação [W/m²]

t_a = temperatura de bulbo seco [°C]

t_{cl} = temperatura da vestimenta [°C]

Ti = temperatura interna média das edificações

Tm = temperatura externa média mensal

Tn = temperatura de neutralidade térmica

t_r = temperatura média radiante dos elementos opacos no espaço [°C]

t_{rm} = temperatura radiante média, [°C]

t_{sk} = temperatura da pele [°C]

v_a = velocidade do ar ambiente [m/s]

W = trabalho realizado para o exterior [W/m²]

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a expansão da oferta de energia tem se tornado um grande desafio em todo o planeta. Países com altas taxas de crescimento econômico, da ordem de 10% ao ano, como China e Índia, têm encontrado dificuldades para atender a demanda energética crescente.

Até mesmo nações com vasta disponibilidade de fontes energéticas e taxas anuais de crescimento econômico significativamente mais modestas, como o Brasil, têm enfrentado relativa dificuldade para atender a demanda energética interna.

De fato, o processo licitatório de novos empreendimentos de geração energética tem se tornado cada vez mais complexo ao longo das últimas décadas e tem sido alvo de uma série de entraves: questões legais, aspectos ambientais, inviabilidade técnico-econômica e até mesmo por divergências políticas ou conflitos de interesses de minorias sociais.

Neste cenário, a conservação de energia se destaca como a opção mais interessante economicamente. O custo (R$/MWh) da energia "evitada" (redução do consumo por meio de eficientização energética de equipamentos e/ou mudança de hábitos da população) é inferior ao custo de qualquer tipo de energia "nova" (proveniente de novos empreendimentos).

Após o 1º Choque do Petróleo, em 1973, vários países criaram programas governamentais e legislações específicas para promover a eficiência energética.

No Brasil, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel – surgiu em 1985 e tem registrado bons resultados em oito áreas de atuação, a saber: iluminação pública, saneamento, indústrias, comércio, educação, prédios públicos, gestão energética municipal e edificações.

No sítio do Procel na internet[1] é possível verificar o sucesso do programa. Entre 1986 e 2004 aportou-se o investimento total de aproximadamente R$760 milhões. A energia economizada e a geração adicional foram de quase 19,6 TWh/ano. Portanto, o custo da energia evitada foi inferior a R$39,00/MWh.

Ou seja, aproximadamente 28% do custo médio da energia elétrica comercializada no 1º Leilão de Compra de Energia Proveniente de Fontes Alternativas, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE – em 18/06/2007, que foi R$137,32/MWh.

Esta redução na demanda de energia equivale[2] a evitar-se a construção de uma usina hidrelétrica com 4.600 MW de potência nominal. Para comparação, as polêmicas usinas de Jirau e Santo Antônio, no Rio Madeira, estão projetadas nominalmente para 3.300 MW e 3.150 MW, respectivamente.

O Plano Nacional de Energia 2030 (EPE,2007) estima a demanda elétrica para o ano de 2030 em um total de 1.101,3 TWh. Também há a previsão de 109,0 TWh (aproximadamente 10% da demanda total) sendo obtidos a partir de estratégias de conservação energética.

---

[1] http://www.eletrobras.gov.br/procel (acessado em 10/12/2006).

[2] Considerando fator de capacidade médio típico de 56% para usinas hidrelétricas, incluindo 15% de perdas médias na transmissão e distribuição;

Vale ressaltar que este montante de energia a ser conservado em 2030 equivale aproximadamente ao dobro da eletricidade anual geração por um empreendimento do porte da usina binacional de Itaipu (14.000 MW de potência instalada), mantendo-se os mesmos fator de capacidade e índice de perdas na transmissão citados anteriormente.

No que tange especificamente à estrutura do consumo de eletricidade no setor residencial, adota-se (EPE, 2006) que o condicionamento térmico de ambientes é responsável por 3% da demanda elétrica residencial.

De acordo com o documento, este percentual manter-se-á constante até 2030. Todavia, no estudo supracitado não se apresenta qualquer hipótese metodológica que justifique a manutenção deste patamar.

Considerando-se a elevação do poder aquisitivo de significativa parcela da população brasileira a partir do Plano Real em 1994, supõe-se que até o ano de 2030 haverá um aumento substancial na aquisição de equipamentos de ar-condicionado (principalmente pela população que anteriormente não possuía nenhuma unidade deste aparelho).

Aliado a isto, como efeito adverso das mudanças climáticas globais, o aumento na temperatura atmosférica média ocasionará maior utilização dos aparelhos de mitigação térmica residencial (ventilador e ar-condicionado).

Neste sentido, é fortemente recomendável que a EPE proceda o quanto antes uma revisão em sua estimativa para a participação relativa da climatização no consumo elétrico residencial.

A partir de dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2006) conclui-se que, atualmente, a climatização térmica residencial consome 2.510 GWh (energia anual de uma hidrelétrica equivalente com 602 MW de potência nominal).

No ano de 2030, o mesmo uso final de eletricidade consumirá 8.580 GWh (energia anual de uma hidrelétrica equivalente com 2057 MW de potência nominal, ou de uma usina nuclear equivalente[3] com 1.355 MW de potência nominal, mesmo porte da usina de Angra 2).

Esta dissertação de mestrado se insere no âmbito da eficiência energética de edificações, através da avaliação de conforto térmico em uma habitação de interesse social.

É feita uma ampla abordagem multidisciplinar, concatenando conceitos de diversas áreas do saber, tais como arquitetura, geografia, medicina e engenharia.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura, a partir da primeira pesquisa em conforto térmico, no ano de 1913. As diferentes vertentes de pensamento e suas teorias, tanto no Brasil quanto no exterior, são mostradas. Ao final, analisa-se a legislação pertinente vigente.

No capítulo 3 detalha-se a teoria de conforto térmico elaborada pelo cientista dinamarquês Povl Ole Fanger. Os índices de conforto oriundos desta teoria, PMV e PPD, são explicados minuciosamente.

---

[3] Considerando fator de capacidade médio típico de 85% para usinas termonucleares, incluindo 15% de perdas médias na transmissão e distribuição.

No capítulo 4 o tema principal é a bioclimatologia. Estuda-se a possibilidade da utilização desta ferramenta na análise de conforto térmico, através dos diagramas bioclimáticos. No final, estuda-se o zoneamento bioclimático brasileiro.

No capítulo 5 o cerne é o estudo de caso desta dissertação de mestrado: a Casa Ecológica do IVIG/CETS/UFRJ. Informa-se detalhes sobre os materiais alternativos empregados na construção e sobre *layout* da casa. Também redige-se sobre o experimento de monitoração do comportamento térmico (equipamentos e metodologia).

No capítulo 6 é feito o tratamento dos dados experimentais coletados. Os resultados obtidos permitem conclusões acerca da existência (ou não) de conforto térmico na Casa Ecológica. Em seguida, sugerem-se algumas medidas mitigadoras e alterações no projeto original, para melhorar a situação térmica atual. Por fim, propõe-se trabalhos futuros complementares a esta dissertação de mestrado.

CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentado um vasto levantamento histórico das pesquisas sobre conforto térmico, tanto no exterior quanto no Brasil. Em seguida é feita uma análise da legislação vigente e das normas internacionais atualmente existentes.

II.1 – Primeiras Pesquisas Internacionais

RUAS (2002) e GOUVÊA (2004) apresentam detalhada descrição histórica das pesquisas sofre conforto ambiental na 1ª metade do século XX. Segundo ambos os autores, os primeiros esforços organizados para o estabelecimento de critérios de conforto térmico foram realizados no período de 1913 a 1923.

Em 1923 a ASHVE[4] 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".

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.

[4] *American Society of Heating and Ventilation Engineers*, fundada em 24/01/1895.

Na câmara de controle, a temperatura era fixada num determinado valor e a umidade relativa mantida em 100%, enquanto que na câmara 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 [5] (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 %.

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.

---

[5] 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.

Os testes foram realizados numa câmara climatizada onde as pessoas ficavam sentadas lendo, escrevendo ou jogando cartas. A sensação térmica era obtida através das 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).

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 verão no intervalo de conforto (YAGLOU & DRINKER, 1929). Não foram feitas restrições quanto às vestimentas e 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.

VERNON & WARNER (1932) propuseram uma correção para o índice das temperaturas efetivas para incluir o efeito da radiação térmica. A denominada 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).

A figura 2.1 mostra o ábaco de temperaturas efetivas para pessoas normalmente vestidas:

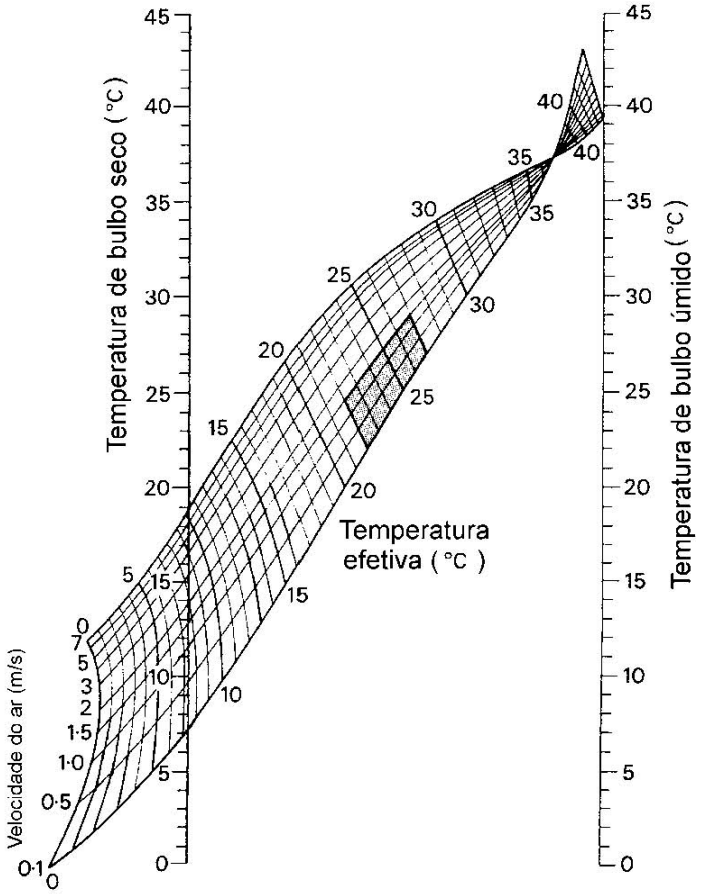


Figura 2.1 – Escala de temperatura efetiva normal (para pessoas normalmente vestidas)

(Fonte: Szokolay, 1980)

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.

Em 1950 a ASHRAE[6] iniciou o planejamento de um amplo programa de pesquisa para reavaliar os ábacos de conforto. Para tal, foi projetada e construída uma instalação de pesquisa ambiental do conforto térmico, no laboratório dessa associação em Cleveland (EUA).

KOCH, JENNINGS & HUMPHREYS (1960) realizaram experiências no laboratório da ASHRAE em Cleveland mostrando que o efeito da umidade sobre a sensação de conforto é pequeno.

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), houve continuidade no programa de reavaliação dos intervalos de conforto vigentes.

ROHLES *et al.* (1966) formaram setenta e dois grupos de dez pessoas, cinco homens e cinco mulheres, que foram expostos, por três horas, a diferentes condições de teste.

---

[6] *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*, fundada em 1894, atualmente com mais de 55.000 associados.

Os testes englobaram setenta e duas condições diferentes, que resultaram da combinação de nove temperaturas de bulbo seco com oito valores de umidade relativa.

As pessoas vestiam uma roupa padrão 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 nacionalidade e da idade no intervalo de conforto e para isso, foram usados nos testes 256 pessoas de ambos os sexos.

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 média, 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 àquelas usadas nos testes.

MCNALL *et al.* (1967) determinou a temperatura de neutralidade térmica e o intervalo de conforto para homens e mulheres executando atividades leve, média e pesada.

II.2 – O Método Fanger

A pesquisa sobre o conforto térmico teve um avanço significativo com a publicação do trabalho [7] desenvolvido pelo professor dinamarquês Povl Ole Fanger, (FANGER, 1967), quando da sua visita ao laboratório da ASHRAE no período de outubro de 1966 a abril de 1967.

7 A dedução completa do método Fanger encontra-se no capítulo 3 deste trabalho.

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 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.

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%.

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.

Ainda assim, 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 Voto Médio Estimado (*PMV*) [8] .

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 termoregulador do corpo deve agir mais intensamente de forma a evitar variações significativas na temperatura interna. Esse maior trabalho do sistema termoregulador provoca maior desconforto.

Fanger também relacionou o voto médio estimado com a porcentagem

[8] Sigla oriunda da expressão em inglês "*Predicted Mean Vote*";

estimada de insatisfeitos (PPD) [9]. Essa relação é representada pela curva da figura 2.2, cuja análise permite definir:

1. 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;

2. 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.

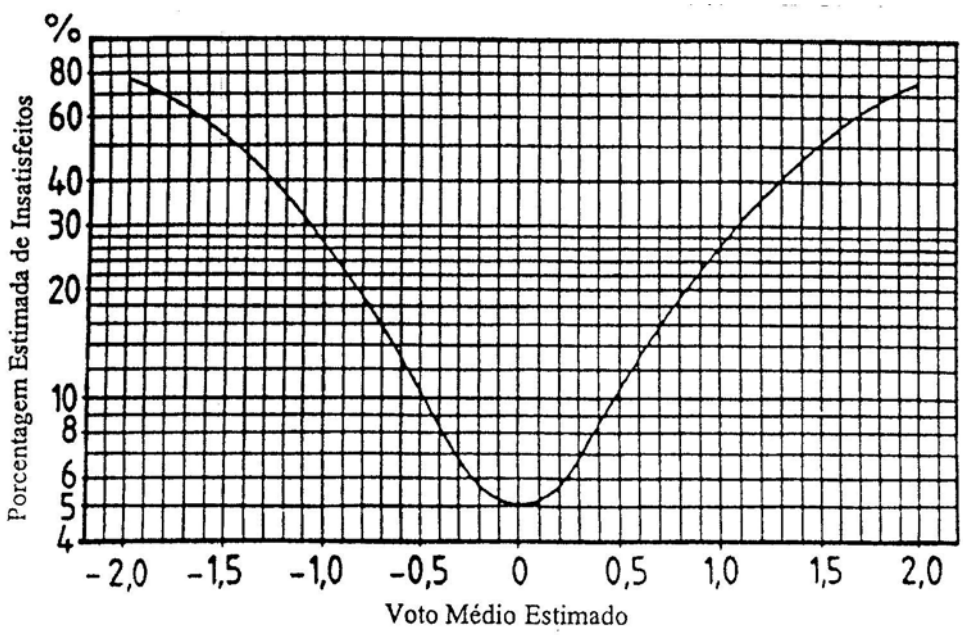


Figura 2.2 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV

(Fonte: Fanger, 1970)

[9] Sigla oriunda da expressão em inglês *"Predicted Percentage of Dissatisfied"*.

Na ISO 7730 (1984) o modelo de Fanger (PMV e PPD) foi adotado. Nesta norma, os intervalos de conforto para o verão e para o inverno são dados em função de um índice térmico chamado de temperatura operativa (t_o).

A temperatura operativa 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 temperatura operativa é calculada pela equação:

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

Sendo:
$A = 0,5$ para $v_a < 0,2$m/s ;
$A = 0,6$ para $0,2 < v_a < 0,6$m/s ;
$A = 0,7$ para $0,7 < v_a < 1,0$m/s.

onde:

A = Coeficiente;

t_a = Temperatura do ar, [°C];

t_{rm} = Temperatura radiante média, [°C];

v_a = Velocidade do ar, [m/s].

II.3 –O Conceito de Temperatura Efetiva e Carta Bioclimática

ROHLES & NEVINS (1971) refizeram a pesquisa de ROHLES *et al.* (1966) testando 160 condições que resultaram da combinação de

vinte temperaturas de bulbo seco com oito valores de umidade relativa. A vestimenta utilizada era padrão.

GAGGE, STOLWIJK & NISHI (1971) propuseram uma nova escala de temperatura efetiva (ET*), 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" [10].

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.

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

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

A SET é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário com ar parado, umidade relativa de 50% e temperatura igual à temperatura

[10] Tradução da expressão em inglês *"two-node model"*.

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).

ROHLES, HAYTER & MILLIKEN (1975) correlacionaram a ET* à escala de sensações térmicas da ASHRAE, 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), mas essa diferença foi creditada como reflexo do uso de um intervalo de temperaturas mais amplo que o de Fanger.

No que diz respeito a cartas bioclimáticas, OLGYAY (1963) elaborou a primeira apropriada para ambiente externo, apresentando-se como uma tentativa de associar os dados climáticos com a sensação de conforto.

Cinco anos mais tarde, OLGYAY (1968) adaptou sua carta bioclimática para regiões mais quentes, passando a poder analisar tanto climas temperados quanto climas quentes e úmidos, dependendo da zona de conforto a ser adotada.

GIVONI (1969) concebeu uma carta bioclimática para edifícios que corrigia algumas limitações do diagrama proposto por Olgyay. KOENIGSBERGER et al (1977) elaboram revisão na carta original de OLGYAY (1963), adaptando-a a países quentes, baseando-se em estudos realizados na Austrália.

GIVONI (1992) reavalia o conforto em edifícios sem condicionamento (naturalmente ventilados). Haja vista que os moradores destas edificações aceitam mais facilmente uma grande variação térmica como sendo normal, então fez-se necessário criar uma nova carta bioclimática, para países em desenvolvimento.

II.4 – A Teoria Adaptativa

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.

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 linha de pensamento que tem sido chamada de Adaptativa.

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

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.

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).

Dessa forma modelos adaptativos têm 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.

DE DEAR & AULICIEMS (1985) realizaram experiências em seis prédios de escritórios, em diferentes regiões climáticas da Austrália, e concluíram que a técnica proposta pela ISO não pode ser usada

universalmente, uma vez que as temperaturas de neutralidade térmica obtidas foram inferiores[11] às previstas pelo PMV.

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 (EUA) durante o inverno de 1987 e o verão seguinte.

SCHILLER (1990) e BRAGER (1992) concluem 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.

OLESEN (1993) diz que 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 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.

BUSCH (1992) estudou as condições térmicas de trabalho de indivíduos de clima tropical que realizavam atividades de escritórios

[11] 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.

em quatro edifícios, dois naturalmente ventilados e dois condicionados, em Bangkok, Tailândia.

A pesquisa indicou que as pessoas acostumadas a esse clima são mais tolerantes ao calor quando comparadas às pessoas que vivem em regiões de clima temperado.

CROOME, GAN & AWBI (1992) estudaram o conforto térmico de um escritório sob condições de ventilação natural em Montreal, Canadá, no inverno.

Os resultados desse estudo mostraram que quando as janelas e/ou portas estavam abertas, houve uma grande dispersão dos votos ao longo da escala de sensações térmicas.

No entanto, o contrário ocorreu com o PMV obtido a partir da Equação de Conforto de Fanger, sugerindo que a equação subestimou as sensações térmicas para a situação em questão.

GAN & CROOME (1994) consideraram importante ressaltar que Fanger desenvolveu os modelos do PMV e PPD baseado em estudos de laboratório e que alguns estudos de campo mostraram que esses modelos não puderam estimar exatamente as sensações térmicas de indivíduos em circunstâncias reais de trabalho (particularmente em edificações naturalmente ventiladas, onde as condições climáticas são temporárias e variáveis e onde os ocupantes mudam invariavelmente de atividade).

DE DEAR & FOUNTAIN (1994) repetiram a experiência de SCHILLER *et al.* (1988) em doze edifícios de escritórios com ar condicionado em Townsville, 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).

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; OLENSEN & HONG (1994).

DE DEAR & FOUNTAIN (1994) não encontraram diferença nas temperaturas neutras de homens e mulheres, mas verificaram maior freqüência 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.

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 em relação às temperaturas neutras obtidas anteriormente.

ROWE, LAMBERT & WILKE (1995) e ROWE (1995) estudaram edifícios de escritório, com e sem ar condicionado, em Sydney,

Austrália. Concluíram que a proporção de insatisfeitos é alta quando a temperatura excede o limite superior para o verão especificado pela ISO 7730 (1984).

KARYONO (1995) realizou sua pesquisa em Jacarta, Indonésia, com indivíduos em atividades leves de escritório. Os resultados indicaram que as pessoas acostumadas ao clima tropical são mais tolerantes ao calor que as de clima temperado. BUSCH (1992) e JAMY (1995) concordam com esta conclusão.

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 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.

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 PPD<10% e os insatisfeitos devido ao *draught*[12], forem inferior a 15%.

A norma cita que devido às diferenças individuais[13], é impossível estabelecer condições de conforto térmico que satisfaçam a todos num grande grupo.

---

[12] Desconforto localizado causado por correntes de ar indesejadas (em velocidade inadequada);

[13] Para a estimativa das variáveis pessoais, a ISO 7730 (1994) traz tabelas de valores de metabolismo e resistência térmica de roupas. Estas tabelas encontram-se respectivamente nos anexos I e II deste trabalho;

HUMPHREYS & NICOL (1998) discordam da utilização universal do índice PMV. Eles questionam 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.

HUMPHREYS (1976) apresentou uma revisão de 36 pesquisas de campo realizadas em vários paises e encontrou uma dependência estatisticamente significante entre a temperatura de neutralidade térmica[14] (Tn) e a temperatura interna média das edificações (Ti).

HUMPHREYS (1978) comparou as temperaturas de neutralidade térmica (Tn) encontradas naqueles experimentos com as temperaturas externas médias mensais[15] (Tm) dos locais onde eles foram realizados.

O pesquisador encontrou influência significativa da temperatura externa na temperatura de neutralidade térmica, especialmente nas edificações naturalmente ventiladas.

AULICIEMS & DE DEAR (1986) apud NICOL (1995), NICOL (1995), HUMPHREYS & NICOL (1995), NICOL & HUMPHREYS (2001) apresentaram outras correlações para a temperatura de neutralidade térmica (Tn).

---

[14] Temperatura de neutralidade térmica = temperatura de conforto;

[15] A temperatura externa média, Tm, foi calculada como a média aritmética entre a média das mínimas e a média das máximas para um mês.

BRAGER & DE DEAR (1998) é uma extensa revisão de literatura sobre adaptação térmica no ambiente construído. No referido trabalho conclui-se que:

1. 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;

2. 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;

3. Análises sugerem que os modelos baseados no balanço térmico do corpo, como o PMV, 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.

DE DEAR, BRAGER & COOPER (1997) realizaram o mais amplo projeto sobre o desenvolvimento de modelos adaptativos: o ASHRAE RP 884.

Este projeto reuniu uma amostra com cerca de 21000 dados, de 160

edificações situadas em 8 países da América, Ásia, Oceania e Europa. Isto permitiu um controle de qualidade e padronização nos dados disponíveis de experimentos de campo, em diferentes regiões climáticas ao redor do mundo.

Os dados foram separados em função de a edificação dispor ou não de sistema de ar condicionado e do período de realização do experimento (verão ou inverno). Na sua grande maioria, os experimentos foram realizados em prédios de escritório onde eram desenvolvidas atividades sedentárias.

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.

FANGER & TOFTUM (2002) afirmam que 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).

Os autores acreditam que o resultado obtido no ASHRAE RP 884, de que o PMV superestima a sensação térmica das pessoas acostumadas em climas quentes e em prédios sem ar condicionado, deve-se a dois motivos principais:

1. Estas pessoas têm expectativa diferente daquelas que vivem em climas amenos e/ou costumam freqüentar prédios com ar condicionado;

2. 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 PMV para que essa variável psicológica seja considerada (vide tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Valores para o fator de expectativa "e"

Expectativa	Classificação das edificações	Valor de e
Alta	Edificações sem ar condicionado, localizadas em 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, 2002)

HUMPHREYS & NICOL (2002) são incisivos em defender a revisão da norma ISO 7730, para corrigir-se erros na determinação do índice de conforto PMV em climas quentes.

No entanto, os próprios pesquisadores esclarecem que o desvio se deve a erros nas variáveis estimadas (vestimenta e metabolismo). Também ressaltam que o modelo da ISO 7730 não é válido para situações de transiente térmico, apenas regime permanente.

LOVEDAY *et al.* (2002) avaliaram ambientes resfriamento pelo teto, comparando o contexto da norma ISO 7730 com a teoria adaptativa.

A conclusão foi que o modelo PMV/PPD de Fanger se enquadra adequadamente à situação analisada. Desta forma, não haveria necessidade de uma abordagem alternativa (nesse caso a adaptativa) já que o modelo de Fanger é mais simples e imediato.

NICOL (2004) propõe a abordagem adaptativa para estudar o conforto térmico em locais de clima tropical, haja vista que o PMV superestima a sensação de calor nestas regiões.

De fato, o artigo mostra uma melhor correlação entre os dados experimentais e o modelo adaptativo, em relação ao modelo da ISO 7730.

VAN DER LINDEN *et al.* (2006) sugerem um novo método para cálculo da temperatura de conforto em prédios na Holanda, baseado no conceito de conforto adaptativo.

II.5 - 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.

Desde o início dos anos setenta importantes trabalhos têm sido desenvolvidos 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.

OELSEN *et al.* (1972), FANGER *et al.* (1974), ROHLES *et al* (1974) e MCINTYRE (1978) foram os primeiros estudos de avaliação do desconforto causado pelo *draught*. Os dois primeiros foram feitos na Dinamarca, ao passo que o terceiro foi realizado nos EUA e o quarto no Reino Unido.

Todos as pesquisas supracitadas envolviam pessoas com atividades sedentárias (até 1,2 met) e roupas normais (em torno de 0,5 clo).

Alguns anos mais tarde, THORSHAUGE (1982) investigou a suposição de que a intensidade da turbulência do ar influenciava o conforto térmico

HANZAWA *et al.* (1987) identificaram as características da turbulência que ocorre nas zonas de ocupação de ambientes ventilados típicos da Dinamarca.

ROHLES *et al.* (1983) focou sua pesquisa na modificação dos limiares de conforto causada por ventiladores de teto (estes aparelhos produzem altar turbulência no ar ambiente).

JONES *et al.* (1986) foram os primeiros autores a analisarem o efeito do movimento do ar no conforto térmico de pessoas em atividade não sedentária.

FANGER e CHRISTENSEN (1986) concluíram que a porcentagem de insatisfeitos aumenta com as flutuações da velocidade do ar e que 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).

No Japão, TANABE e KIMURA (1987) verificaram que o Voto Médio Estimado (PMV) não prevê adequadamente a sensação térmica com altas velocidades do ar porque não considera a maior perda por evaporação do suor nessas condições.

Ainda sobre a influência da turbulência na sensação de *draught*, FANGER *et al.* (1988) afirmaram que, para uma dada temperatura e velocidade do ar a porcentagem de insatisfeitos é diretamente proporcional à intensidade de turbulência. Também concluíram que o fenômeno *draught* é uma particularidade das atividades sedentárias.

SCHEATZLE *et al.* (1989) quiseram 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.

FOUNTAIN *et al.* (1994) desenvolveram testes para verificar a velocidade do ar preferida por pessoas em atividade sedentária. As pessoas podiam controlar a velocidade do ar.

A principal conclusão foi que 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.

Os trabalhos de TOFTUM (1994) e de GRIEFAHN *et al.* (2001), relativos a atividades não sedentárias, mostraram que a porcentagem de insatisfeitos devido à sensação de *draught* diminui com o aumento da taxa de metabolismo.

As pesquisas constataram que o modelo recomendado pela ISO 7730 (1994) subestima a sensação de *draught* e por isso, propuseram diferentes alterações no modelo.

Uma análise crítica permite a dedução de que há carência de pesquisas sobre o efeito do movimento do ar em pessoas desenvolvendo atividades não sedentárias.

Essas atividades abrangem a maioria do trabalho industrial e o único trabalho encontrado com essa característica (JONES *et al.*, 1986) concluiu que obtem-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.

ZHOU *et al.* (2006) realizaram um experimento com 32 pessoas submetidas a três diferentes condições de insuflamento de ar. Em seguida, eles respondiam a um questionário sobre sua sensação térmica em cada tipo de insuflamento.

ZHOU *et al.* concluíram que alta turbulência aumenta a percepção do escoamento e pode gerar maior conforto em ambientes quentes. Todavia, em ambientes frios o desconforto aumenta, devido à maior troca de calor por convecção entre a pessoa e o meio.

II.6 – A Influência do Conforto Térmico na 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.

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.

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 no desempenho de militares quando da realização de tarefas que exigem esforço mental.

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.

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.

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.

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 de cerca de mil trabalhadores.

O principal resultado foi que no verão o intervalo de máximo conforto foi de 20 a 22°C e somente na temperatura de 38°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.

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.

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.

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.

LORSCH & ABDOU (1994a) relatam uma pesquisa em escritórios de empresas seguradoras que apresentou resultados conflitantes em relação ao aumento de produtividade com a melhoria das condições do ambiente de trabalho.

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% 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%.

LORSCH & ABDOU (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 que:

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.

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.

KOSONEN & TAN (2004) correlacionam a queda de produtividade em tarefas de digitação e de raciocínio com os índices PMV e PPD. Os resultados provam que pequenas variações no conforto térmico podem gerar enormes transtornos.

II.7 – Principais Pesquisas Brasileiras

De acordo com RUAS (2002), DE OLIVEIRA (2003) e GOUVÊA (2004), os pioneiros na avaliação de conforto térmico no Brasil foram Paulo Sá e Benjamin Alves Ribeiro.

Os trabalhos de SÁ (1934 e 1936) foram realizados no Instituto de Tecnologia do Rio de Janeiro (INT) 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 e visou verificar a correlação entre a sensação térmica dos brasileiros e os índices da catatermometria e o das temperaturas efetivas. 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.

O índice da catatermometria relacionava o conforto térmico com a capacidade do ambiente em resfriar o corpo humano e isso era medido com catatermômetros[16], seco e úmido. Os valores obtidos eram usados em ábacos que forneciam índices que representavam a capacidade de resfriamento do ambiente.

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.

GUIMARÃES (1985) realizou sua dissertação de mestrado acerca da análise energética na construção de habitações. LOMARDO (1988) revisitou o tema três anos mais tarde, abrangendo alguns estudos de caso de consumo de energia em grandes prédios comerciais.

A pesquisa de ARAÚJO (1996) foi desenvolvida em edificações escolares, sem sistemas de condicionamento do ar, da cidade de Natal.

O objetivo do trabalho foi determinar os parâmetros das variáveis ambientais que propiciam o conforto térmico aos alunos, bem como, compará-los com os intervalos de conforto propostos por Olgyay, por

[16] O catatermômetro é um termômetro a álcool com um bulbo grande na extremidade inferior e um bulbo pequeno na extremidade superior.

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.

Novamente LOMARDO (1998) volta a propor uma legislação para mensurar o gasto energético de edifícios, bem como tornar estes mais sustentáveis.

O trabalho de RUAS (1999) 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, pode haver 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.

O estudo de XAVIER (1999) foi realizado nas salas de aula da Escola Técnica Federal de Santa Catarina e com alunos desempenhando atividade exclusivamente escolar.

A conclusão da pesquisa foi que, embora a temperatura de neutralidade térmica [17] encontrada esteja bem próxima daquela estimada através da ISO 7730, a porcentagem de insatisfeitos correspondente (19,96%) é superior ao previsto pela norma (5%).

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.

As medições das variáveis ambientais foram realizadas depois de pelo menos uma hora de permanência das pessoas na sala e as variáveis pessoais foram estimadas, por tabelas, de acordo com informações obtidas em questionário.

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

HACKENBERG (2000) desenvolveu pesquisa em ambientes industriais, condicionados, com ventilação forçada e com ventilação natural, visando avaliar a sensação térmica dos trabalhadores em edificações.

---

[17] Temperatura de neutralidade térmica é aquela correspondente à mínima porcentagem de insatisfeitos.

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.

LOMARDO (2000) direcionou sua tese de doutorado para avaliar a possibilidade de se criar uma legislação de estímulo à eficiência energética de edifícios.

ROLA (2000) avalia as potencialidades e limitações do bambu como material de construção. A dissertação pondera acerca dos inúmeros benefícios proporcionados por esta matéria-prima construtiva não convencional.

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.

A pesquisa 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.

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. No entanto, 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.

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.

FALKENBERG (2001) analisa o conforto térmico em situações de transferência de calor em regime transiente. A autora baseia sua análise em dois modelos computacionais.

São abordados dois estudos de caso: o metrô de superfície da linha 2 (zona norte e subúrbio) da cidade do Rio de Janeiro e uma usina termelétrica na cidade de Macapá.

Em ambos os estudos de caso a situação de desconforto térmico ficou evidenciada. No metrô carioca, mesmo com sistema de ar condicionado, os passageiros sofrem com o calor ambiente.
Em Macapá os trabalhadores também sofrem, principalmente em decorrência do calor associado à alta umidade relativa atmosférica verificada na região amazônica.

VERGARA (2001) visou estabelecer as condições de conforto térmico de trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do

Hospital Universitário de Florianópolis. O autor constatou que as sensações térmicas de conforto descritas pelas pessoas em seus ambientes de trabalho são bem diferentes das calculadas através do modelo do PMV, quando se utilizam taxas metabólicas presentes na ISO 7730 (1994).

Neste caso, devem ser consideradas as imprecisões relacionadas às variáveis pessoais, sobretudo as taxas metabólicas estimadas, especialmente para ambientes como o analisado, onde as atividades eram bastante diversificadas fazendo com que as taxas de metabolismo fossem individualmente estimadas.

JÚNIOR E TRIBESS (2002) elaboraram um respeitável trabalho de iniciação científica sobre parâmetros de conforto térmico em escritórios, com insuflamento de ar pelo piso.

Foram coletados dados experimentais e depois plotados os perfis verticais de temperatura e velocidade do ar. No estudo, os índices PMV e PPD propostos por Fanger mostraram-se adequados à situação analisada.

ROLA (2002a) redigiu sobre a racionalização de energia em habitações de interesse social (de baixo custo). O artigo demonstra o zelo que deve-se dispensar ao projeto arquitetônico de residências populares.

ROLA (2002b, 2003a, 2003b) apresenta três trabalhos acerca da cobertura verde de habitações, também denominada “telhado verde” ou “naturação”.

CARVALHO et al.(2003), avaliaram o conforto térmico de salas de aula, de exposições e de estudos do Centro Universitário de Araraquara, no período do verão.

Utilizando o método computacional de Fanger, os autores obtiveram o PMV que representa a sensação térmica média das pessoas, e também a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD) nesse ambiente.

Assumindo que existe a possibilidade efetiva do uso do PMV como meio de avaliação do conforto térmico, CARVALHO et al.(2003) concluíram que na maioria dos períodos, as salas apresentaram situação de desconforto térmico.

BARBOSA (2004) avaliou, de acordo com a norma ISO 7730 (1994), o conforto térmico em indústrias de móveis, através da medição dos parâmetros ambientais e aplicação de questionários para obtenção dos parâmetros pessoais e a sensação térmica dos trabalhadores.

Os dados obtidos em campo foram analisados e verificou-se que apenas 4,3% encontravam-se em conformidade com os limites do PMV recomendados pela ISO 7730 (1994) para o conforto térmico.

Os artigos LOMARDO (2004a, 2004b) reforçam a necessidade de um marco regulatório para a classificação energética de prédios comercias. O primeiro é mais específico no que tange à regulação, ao passo que o segundo insere esta possibilidade junto à questão da crise energética brasileira.

NOGUEIRA, DURANTE & NOGUEIRA (2005) estudaram o conforto térmico em uma escola pública da cidade de Cuiabá, MT. Esta cidade tem duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa.

O resultado foi preocupante. No início do dia o PMV ficou entre 1,0 e 2,0. Entretanto, das 11h às 14h o PMV flutuou entre 2,0 e 3,0. Ou seja, a situação é de total desconforto para os alunos e docentes daquele estabelecimento de ensino.

Os autores verificaram que o calor interfere negativamente no aprendizado, pois os alunos têm seu rendimento prejudicado. Inclusive, mesmo em aulas noturnas, a temperatura observada foi alta, devido à inércia térmica da construção.

II.8 – Estado da Arte

As pesquisas mais recentes em conforto térmico tem tido diferentes enfoques, sendo os mais inovadores sobre lógica fuzzy, climatização individual, modelos adaptativos e queda de produtividade.

FANGER (2001) altera mais uma vez o conceito de conforto quando propõe estações de ar personalizado (PA), individuais, que ficariam localizadas a cerca de 0,50m da zona de respiração da pessoa.

Assim, cada um poderia ajustar seu equipamento ao seu gosto pessoal, reduzindo consideravelmente o consumo energético, bem como o percentual de pessoas em desconforto.

A figura 2.3 ilustra essa inovação:

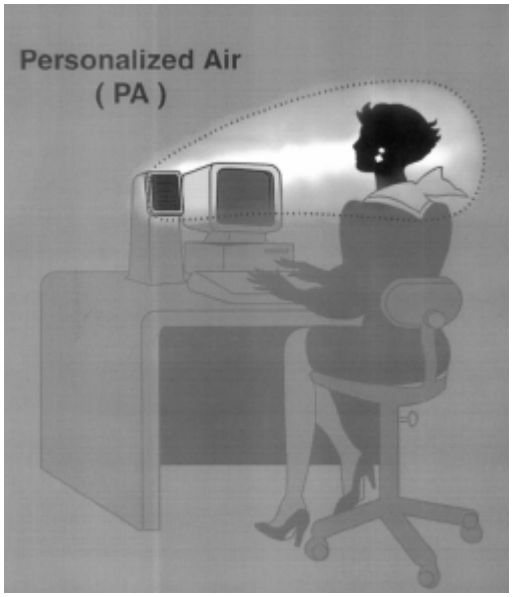


Figura 2.3 – Estações Individuais de Ar Personalizado
(Fonte: Fanger, 2001)

ATTHAJARIYAKUL & LEEPHAKPREEDA (2004) apresentam um modelo de monitoração em tempo real, com base em sistemas de controle, para a situação do ar interno de edificações.

CALVINO *et al*. (2004) sugerem a adoção de um controlador lógico fuzzy, do tipo PID [18], para o controle térmico de equipamentos de HVAC [19].

[18] PID = Proporcional Integral Derivativo;
[19] Sigla em inglês: *Heating, Ventilation and Air Conditioning*.

A escola adaptativa continua questionando o adequamento do índice PMV em regiões de clima quente-úmido (sugerindo que esta métrica superestima a sensação real de calor).

NICOL (2004) e VAN DER LINDEN *et al.* (2006) defendem a abordagem adaptativa como ferramenta ideal para uma avaliação precisa do conforto humano no que tange à temperatura ambiente.

Por sua vez, FANGER & TOFTUM (2002) rebatem as críticas ao modelo de Fanger e sugerem pequenas correções, como o fator de expectativa "e" (já mencionado no subitem 2.4).

A perda de produtividade devido à falta de conforto térmico tem ganho cada vez mais a atenção dos pesquisadores, pois envolve não somente o bem-estar do trabalhador[20], mas também a eficiência da empresa e, conseqüentemente, os resultados financeiros da mesma.

Analisando-se a figura 2.4, percebe-se que para um índice PMV=1,0 (equivalente a um PPD=25%) o percentual de queda de rendimento em atividades de raciocínio é de cerca de 25%, enquanto que serviços de digitação são reduzidos em quase 35%.

[20] Do ponto de vista da segurança do trabalho, o calor no ambiente laboral tira a concentração do trabalhador e pode gerar incidentes e acidentes.

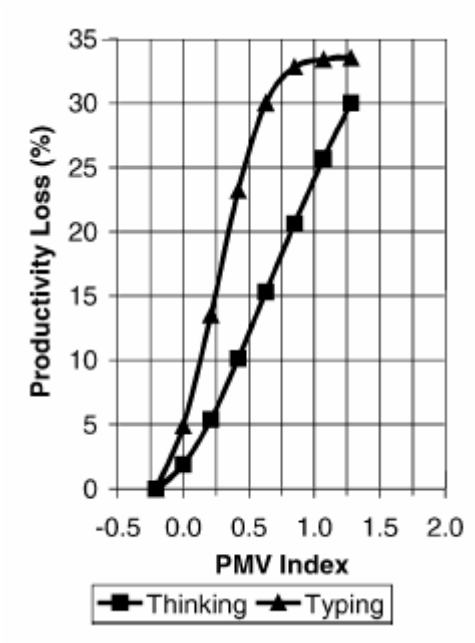


Figura 2.4 – Perda de Produtividade em Atividades de Digitação e Raciocínio

(Fonte: Kosonen & Tan, 2004)

II.9 – Legislação Sobre Conforto Térmico

II.9.1 – Normas Internacionais

As principais normas internacionais na área de conforto ambiental são elaboradas pela ISO e pela ASHRAE. Cita-se como as mais importantes:

- *ISO 7243/89 - Ambientes quentes - Estimativa do stress por calor em trabalhadores, baseado no índice IBUTG (Índice de bulbo úmido e temperatura de globo)*

Fornece um método que pode ser facilmente utilizado em ambientes industriais, utilizando-se o índice IBUTG, e permite um rápido diagnóstico.

- *ISO/DIS 7726/98 - Ambientes Térmicos - Instrumentos e Métodos para medições das quantidades físicas*

Esta norma internacional especifica as características mínimas dos instrumentos de medição das variáveis físicas, assim como apresenta métodos de medição desses parâmetros

- *ISO 7730/94 - Ambientes térmicos moderados - Determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para conforto térmico*

Esta norma propõe um método de determinação da sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados e especifica condições térmicas aceitáveis para o conforto.

Aplicável na avaliação do efeito médio do calor sobre o homem durante um período representativo de sua atividade, mas não se aplica para a avaliação do stress verificado durante períodos muito curtos, nem para a avaliação de stress por calor próximo das zonas de conforto térmico.

- *ISO 7933/89 - Ambientes quentes - Determinação analítica e interpretação do stress térmico, utilizando o cálculo da taxa requerida de suor*

Esta norma ISO especifica um método de avaliação e interpretação do stress térmico a que está sujeita uma pessoa em um ambiente quente, através do índice da taxa requerida de suor (SWreq).

Descreve um método para o cálculo do balanço térmico, bem como para o cálculo da taxa de suor requerida pelo corpo, para manter esse balanço em equilíbrio.

- *ISO 8996/90 - Ergonomia - Determinação da produção de calor metabólico*

Esta norma internacional especifica métodos para a determinação e medição da taxa de calor metabólico, necessário para a avaliação da regulação de calor humana.

Esta norma também pode ser utilizada para outras aplicações, como por exemplo a verificação da prática de atividades, o custo energético de atividades específicas ou atividades físicas, bem como o custo total energético das atividades.

- *ISO 9920/95 - Ergonomia de ambientes térmicos - Estimativa de isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje de roupas*

Esta norma internacional especifica métodos para a estimativa das características térmicas, resistência à perdas de calor seco e à perda por evaporação, em condições de estado estacionário para um traje de

roupa, baseado em valores de vestimentas conhecidas, trajes e tecidos.

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.

- *ISO 10551/95 - Ergonomia de ambientes térmicos - Verificação da influência do ambiente térmico usando escalas subjetivas de julgamento*

Fornece subsídios para a construção e uso de escalas de julgamento (tais como escala de percepção ou de conforto térmico, de preferências térmicas, de aceitabilidade térmica e de tolerância térmica) para a utilização na obtenção de dados confiáveis e comparativos sobre os aspectos subjetivos do conforto e estresse térmico.

- *ISO/TR 11079/93 - Avaliação de ambientes frios - Determinação do isolamento requerido das vestimentas (IREQ)*

Este relatório técnico internacional (não é uma norma), propõe métodos e estratégias para se verificar o stress térmico, associado à permanência em ambientes frios, através da utilização do índice IREQ.

Os métodos aplicam-se a casos de exposição contínua, intermitente ou ocasional em ambientes de trabalho tanto externos como internos.

- *ASHRAE Standard 55-2004: Ambientes Térmicos - Condições para ocupação humana*

Esta norma especifica condições ambientais aceitáveis para ao interior de edificações. Deve ser aplicada nas fases de projeto, instalação e testes dos sistemas de HVAC, a fim de aferir se há ou não conforto térmico ambiental.

II.9.2 – Normas Nacionais

O Brasil não dispõe de especificação de método para avaliar a sensação térmica das pessoas. Na prática, adota-se intervalos de conforto para homens europeus e norte-americanos (com biotipo e metabolismo diferentes do nosso) estabelecidos em climas temperados.

Dentre as normas da ABNT [21], foi encontrada uma única norma relacionada ao assunto:

- *NBR 6401/80 – Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto*

Especifica intervalos de temperatura do ambiente e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividade sedentária.

Embora a norma não faça referência 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 2.2:

[21] Associação Brasileira de Normas Técnicas

Tabela 2.2 – Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária dados pelas normas NBR 6401 e ISO 7730

	NBR 6401(1980)		ISO 7730 (1994)	
	t_{bs} (°C)	UR (%)	t_o (°C)	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

(Fonte: RUAS, 2002, adaptada)

A legislação trabalhista brasileira trata do assunto temperatura em duas Normas Regulamentadoras[22] do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE):

- *Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres*

Esta norma trata especificamente a questão de exposição a temperaturas extremas. Ou seja, é aplicável tanto a siderúrgicas quanto a frigoríficos.

A partir do parâmetro IBUTG[23], é possível determinar se o trabalhador faz jus a adicional de insalubridade[24] por exposição ao agente físico (temperatura extrema).

[22] Trata-se de portarias do Ministério do Trabalho e Emprego que regulamentam as atividades profissionais em todo o território nacional, seja o trabalhador funcionário público ou privado;
[23] IBUTG = Índice Bulbo Úmido de Termômetro Globo;
[24] Pode variar de 20% a 40% do valor do salário mínimo, dependendo do grau de insalubridade (leve, médio ou grave) associado ao agente físico em questão;

Também é através do índice IBUTG que se determina se a atividade profissional desempenhada terá ou não pausas, a cada uma hora de trabalho.

- *Norma Regulamentadora 17 – Ergonomia*

Esta portaria aborda o conforto térmico propriamente dito. No subitem 17.5.2, visando o conforto em atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, é definido um intervalo aceitável para os seguintes parâmetros:

- Índice de temperatura efetiva entre 20°C e 23 °C;
- Velocidade do ar não superior a 0,75 m/s;
- Umidade relativa não inferior a 40%;
- Níveis de ruído de acordo com o estabelecido na NBR 10152[25].

[25] NBR 10152/2000 – Nível de ruído para conforto acústico.

CAPÍTULO III – CONFORTO TÉRMICO E TERMOREGULAÇÃO HUMANA

O presente capítulo discorre inicialmente sobre o conceito de conforto térmico. A seguir detalham-se os mecanismos fisiológicos que propiciam a homeostase térmica nos seres humanos. Por fim, estuda-se a teoria de conforto térmico proposta por Fanger.

III.1 – Definição de Conforto Térmico

Definir conforto térmico é bastante complexo pois, além dos fatores físicos, envolve uma gama de fatores pessoais que tornam sua conceituação bastante subjetiva.

A definição mais aceita na literatura internacional é aquela dada pela ASHRAE (2001), que trata conforto térmico como sendo: *"a condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico"*.

Todavia, esta descrição não é suficientemente elucidativa. Do ponto de vista físico, é dito confortável o ambiente que esteja em equilíbrio térmico com o organismo humano. Ou seja, o calor produzido pelo homem mais o calor recebido do ambiente deve ser numericamente igual ao calor liberado para o meio externo.

Neste caso, as condições supracitadas permitiriam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos corpóreos termoreguladores.

III.2 - Homeotermia e termoregulação humana

Os mamíferos e as aves são seres ditos homeotérmicos, isto é, são capazes de manter sua temperatura interna corporal aproximadamente constante, variando dentro de estreitos limites, enquanto a temperatura externa apresenta oscilações significativas.

Os animais homeotérmicos sofrem pouca perda de calor produzido, devido à baixa condutividade térmica da pele e ao eficiente isolamento térmico desenvolvido por esses animais (pêlos, penas, camada de gordura).

A termoregulação visa evitar efeitos danosos causados pela temperatura e possibilita o funcionamento corporal nas mais diversas condições ambientais.

A exposição a temperaturas adversas pode levar à morte por um conjunto de fatores, tais como a desnaturação de proteínas; inativação de enzimas; suprimento insuficiente de oxigênio; efeitos em diferentes reações metabólicas; alteração na estrutura das membranas.

Em geral, a temperatura interna de um ser humano adulto situa-se em torno de 37,0°C ± 0,5°C. GUYTON (1973) revela que um ser humano adulto, mesmo despido, suportaria com facilidade a variação térmica na faixa compreendida entre cerca de 15°C até 50°C, com sua temperatura interna oscilando menos de 1°C (figura 3.1).

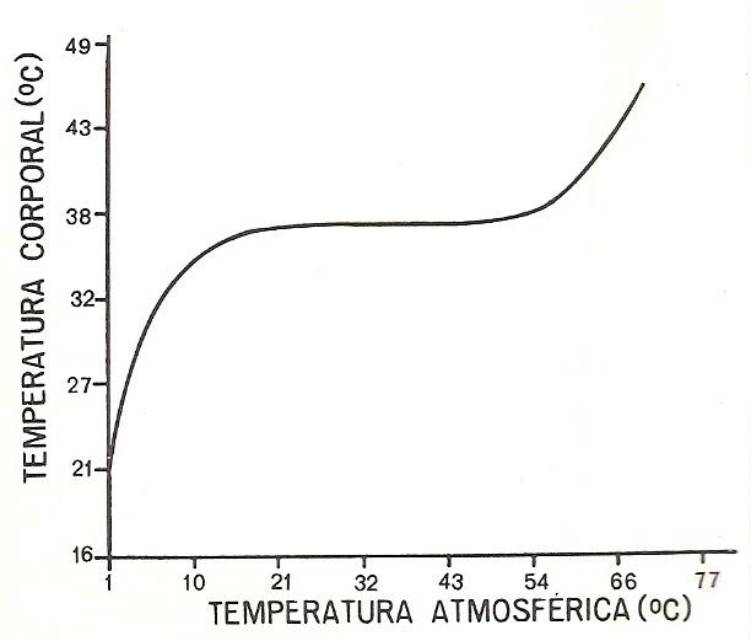


Figura 3.1 – Variação da temperatura corporal interna em relação à oscilação na temperatura ambiente

(Fonte: GUYTON, 1973)

Todavia, nenhum homem conseguiria suportar variações superiores a 4°C na sua temperatura interna sem que houvesse comprometimento de sua capacidade física e mental.

A elevação da temperatura interna até 41°C causaria a desnaturação de proteínas, a inativação de enzimas do corpo e disfunções no sistema nervoso central. Atingindo mais um grau centígrado, 42°C, seria suficiente para causar o óbito da pessoa.

Segundo COUTO (1978, *apud* GALLOIS, 2002), pode-se dizer que a proteção do organismo é maior no frio do que no calor. Desta forma,

seria mais fácil a sobrevivência humana em ambientes com temperaturas mais baixas.

III.2.1 – A importância do hipotálamo

O controle da temperatura corporal é realizado pelo sistema nervoso central. Mais especificamente, na região cerebral denominada "hipotálamo", que possui sensores de temperatura bastante sensíveis.

O organismo também possui receptores periféricos que contribuem para a termoregulação ao enviar as informações térmicas para o hipotálamo. Tais receptores estão localizados na pele, nas vísceras e na medula espinhal.

Em suma, o hipotálamo consegue estabelecer um equilíbrio entre a produção e a dissipação de calor, a fim de manter a temperatura corporal constante.

Dentre os diversos processos fisiológicos de controle de temperatura controlados pelo hipotálamo, se destaca como mais frequentemente utilizado a variação do fluxo sanguíneo na região termicamente afetada (como será detalhado nos subitens a seguir).

III.2.2 – Metabolismo humano

A quantidade de calor produzida pelo metabolismo humano depende quase que exclusivamente da atividade física. Em atletas bem treinados, o metabolismo de atividade pode ser até 20 vezes maior que o metabolismo basal. São dois tipos, a saber:

- Metabolismo basal → Potência dissipada em vigília e repouso absoluto;

- Metabolismo de atividade → Relacionado ao esforço físico.

O calor basal de um adulto é cerca de 100W. Como as trocas térmicas são feitas principalmente pela pele, é conveniente caracterizar a atividade metabólica em termos de quantidade de calor por área corporal.

Baseado na média de 1,8m² de área corporal para homens europeus, estabeleceu-se uma nova unidade para avaliar taxas de atividade corporal: 1 met = 58,15W/m².

A equivalência foi adotada em relação ao metabolismo basal. Por sua vez, taxas metabólicas maiores são descritas em termos da taxa basal (múltiplos de 1 met).

No que tange à dissipação de calor gerado pelas atividades metabólicas, esta deve ser realizada continuamente, nas formas sensível e latente, a fim de que se mantenha as temperaturas corporais normais.

O calor sensível contribui para aumento da temperatura do ar e pode ser transferido por 3 formas: condução (através da vestimenta e da pele), convecção (entre o ar e superfície corporal) ou radiação (do céu ou superfícies vizinhas para a superfície corporal).

Já o calor latente provoca acréscimo da umidade relativa atmosférica e corresponde à evaporação de água que ocorre na superfície da pele (sudorese) e nas vias respiratórias no processo de respiração.

Como será apresentado nos subitens subseqüentes, perdas de calor insuficientes causam superaquecimento corporal (também denominado hipertermia), enquanto que perdas excessivas causam resfriamento do mesmo (também denominado hipotermia).

III.2.3 – Hipotermia

SECO *et al*. (2005) conceituam hipotermia como o estado fisiológico no qual a temperatura central do corpo atinge valores inferiores a 36,0°C.

A estratégia do corpo em resposta a um decréscimo na temperatura envolverá dois componentes básicos: a conservação e a produção de calor.

A conservação de calor depende de características como o acúmulo de gordura e a relação massa/superfície. O acúmulo de gordura não é visto como artifício humano para evitar a perda de calor, uma vez que existem mecanismos mais eficientes e saudáveis para isolamento térmico (como roupas de frio ou cobertores).

Por sua vez, a relação massa/superfície torna-se importante pois o calor perdido por qualquer corpo é diretamente proporcional à área superficial do mesmo. Desse modo, quanto maior o quociente massa/superfície, mais fácil a conservação térmica.

Isso explica porque os alpinistas geralmente têm seus dedos congelados quando ocorrem imprevistos nas expedições (além de eles estarem afastados do centro do corpo), ou ainda porque se encolher no frio ou abraçar alguém ajuda a conservar calor.

A conservação de calor também envolve a vasoconstrição cutânea, uma vez que o sangue é uma fonte de calor das partes mais internas do corpo para as mais externas, por convecção.

O sangue ganha calor quando passa por órgãos de grande geração de calor (como o coração, o cérebro, o fígado e o baço) e perde calor para a pele e os pulmões.

A vasoconstrição é uma resposta dos vasos, a partir do estímulo hipotalâmico, de diminuição do fluxo sangüíneo da periferia para o centro do corpo, impedindo que o calor perdido por convecção nas regiões mais superficiais diminua a temperatura central.

Outro mecanismo de conservação térmica na espécie humana, embora menos eficiente, é a piloereção. Também chamado de “arrepio”, é a resposta biológica à queda repentina da temperatura periférica.

Nesta situação, os poros dérmicos se fecham e os pelos superficiais levantam, criando uma tênue barreira isolante à perda de calor.

A produção de calor é conseqüência da termogênese, que pode ser dividida em três grupos: o efeito termogênico dos alimentos, a termogênese com calafrios e a termogênese sem calafrios.

O efeito termogênico dos alimentos refere-se ao aumento do metabolismo pelas reações químicas associadas à digestão, sobretudo para as proteínas. Contudo, não pode ser relacionado, assim como atividades físicas voluntárias, como fator direto na termoregulação.

A termogênese sem calafrios é a produção de calor em resposta ao frio, através do aumento da atividade metabólica, produzindo calor.

A termogênese com calafrios (tiritação) é um processo associado ao aumento metabólico e refere-se à produção de calor a partir de um aumento na atividade muscular. O tiritar pode até dobrar a taxa de produção de calor do metabolismo basal e é um mecanismo de defesa bastante eficiente para elevar a temperatura interna.

III.2.4 - Hipertermia

Os mesmos autores, SECO *et al*. (2005), afirmam que hipertermia é o estado fisiológico no qual a temperatura do corpo atinge valores superiores a 38,0°C.

A perda de calor ocorre de quatro formas distintas: radiação, condução, convecção e evaporação.

Radiação é a perda de calor sob a forma de raios infravermelhos. Qualquer ser vivo ou objeto, cuja temperatura seja superior ao zero absoluto, emite calor por radiação.

Esta forma de transferência de calor se processa sem necessidade de contato físico entre as partes e representa cerca de 60% da perda de calor para o ambiente.

Condução é a transferência de calor de um corpo mais quente para outro mais frio, por meio de contato físico direto. GUYTON (1973) afirma que a condução totaliza 3% das trocas térmicas com o meio.

Um exemplo seria a troca de calor entre uma pessoa e uma chapa metálica. Ao tocar a chapa, a pessoa pode receber calor (se o metal estiver mais quente que sua pele) ou ceder calor (caso contrário).

Convecção é a transferência de calor para moléculas de um fluido (ar ou água) em contato com o corpo. O processo é bastante simples: as moléculas do fluido mais próximas à pele são aquecidas e perdem densidade, sendo substituídas por moléculas mais frias (mais densas).

Esse processo gera uma pequena circulação de ar sobre a fonte quente que aumenta ainda mais a perda de calor. Estima-se que a transmissão térmica por convecção seja 12% do total.

Evaporação é a transferência de calor do corpo para a água sobre a superfície cutânea (cerca de 25% do total). Quando a água ganha energia suficiente é convertida em vapor retirando o calor.

A evaporação normalmente ocorre por três vias: a partir do trato respiratório, da pele e da transpiração. Como descrito abaixo, as

duas primeiras compõem a perspiração insensível, enquanto que a última representa a perspiração sensível.

- Perspiração Insensível → Refere-se à perda de calor que ocorre independente da temperatura da pele – a pele sempre perde água, o mesmo ocorrendo no trato respiratório a cada vez que respiramos;

- Perspiração Sensível → Refere-se à perda de calor pela transpiração, mecanismo termoregulador que ocorre apenas quando a soma dos outros mecanismos não é suficiente para a necessidade de perda de calor.

Neste ponto vale ressaltar que, caso sejam boas as condições para evaporação (baixa umidade relativa), a pele permanece relativamente seca mesmo para altas taxas de sudorese.

No entanto, caso a umidade relativa seja elevada, o suor não evaporará e a pele ficará molhada. Neste caso, a taxa de retirada de calor é menor, pois não haverá evaporação, apenas o deslizamento da gota de suor sobre a pele (convecção).

III.2.5 – O sangue como elemento termoregulador

A vasodilatação pode aumentar o fluxo sanguíneo aproximadamente 15 vezes. Em repouso, a vazão normal é de cerca de 100ml/(min.m²) e pode alcançar 1500ml/(min.m²) em casos de calor extremo.

Analogamente, quando há redução na temperatura ambiente ocorre o efeito inverso. A vasoconstrição reduz o fluxo sanguíneo e ajuda na conservação de calor corpóreo.

A figura 3.2 mostra os mecanismos supracitados. Na imagem da esquerda (ambiente frio) o corpo tende a perder calor. Então, a vasoconstrição periférica desvia o fluxo sanguíneo da pele para o interior do corpo, a fim de se conservar calor corporal.

Em contraste, na imagem à direita o objetivo é oposto: liberar calor (ambiente quente). Nesta situação os vasos capilares sofrem dilatação e o fluxo sanguíneo aumenta na região. Este efeito leva mais calor até a pele, que servirá como trocador de energia com o meio ambiente.

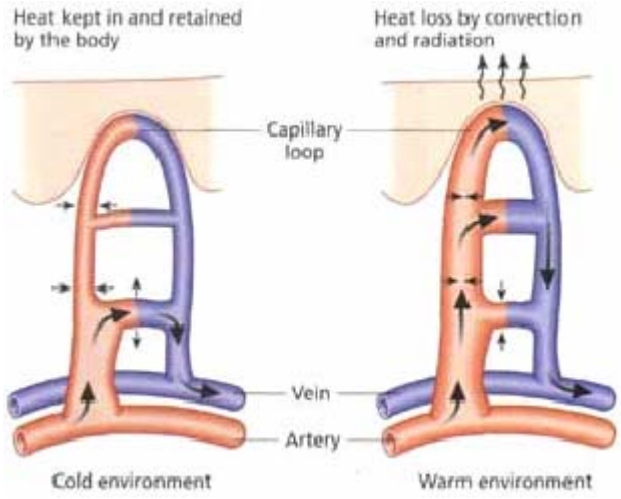


Figura 3.2 – Vasoconstrição e vasodilatação na homeotermia
(Fonte: SECO *et al.*,2005)

III.3 – O modelo de Fanger

Para a avaliação do conforto térmico em ambientes construídos, a abordagem mais apropriada é a utilização da metodologia proposta pelo cientista dinamarquês Povl Ole Fanger (1967).

Este modelo, proposto pelo autor em sua tese de doutorado, é significativamente inovador. Fanger percebeu que o foco da análise deveria estar nas pessoas, em suas vestimentas e nas atividades físicas por elas desempenhadas.

Em suma, Fanger propôs que se fizesse um balanço de energia cujo volume de controle[26] fosse delimitado em torno do indivíduo, e não em torno da edificação.

Esta nova forma de pensar reduziu significativamente a dificuldade de avaliação térmica dos ambientes, haja vista que não era mais necessário modelar as etapas de transmissão de calor na estrutura física da edificação.

Portanto, este procedimento mais simples permite o balanço de energia mesmo em situações nas quais não se conheça com precisão algumas variáveis, tais como:

- Propriedades termofísicas dos materiais construtivos (difusividade, condutividade, resistência térmica, emissividade, entre outros).

[26] Segundo VAN WYLEN, G. J., SONNTAG, R. E. e BORGNAKKE, C. (1998), volume de controle é a região imaginária delimitada em volta de um corpo (ou um equipamento) que simplifica a análise termodinâmica do mesmo.

- Radiação solar em tempo real;

Com o passar dos anos, Fanger obteve amplo reconhecimento internacional. Inclusive, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*), adota até hoje sua metodologia como sendo ideal para a análise de conforto térmico ambiental.

Fanger baseou seu modelo no estudo de 6 variáveis, sendo 4 ambientais e 2 pessoais, a saber:

- <u>Parâmetros Ambientais</u>:

    1. Temperatura do Ar;
    2. Umidade Relativa do Ar;
    3. Temperatura Média Radiante;
    4. Velocidade do Ar.

- <u>Parâmetros Individuais</u>:

    5. Vestimenta;
    6. Atividade Física (Metabolismo).

III.3.1 – Variáveis Ambientais

a) Temperatura do Ar → O mesmo que temperatura de bulbo seco atmosférica, é obtida por um termômetro comum.

É o gradiente de temperatura entre o ar e corpo humano que propicia as trocas térmicas do mesmo com o ambiente em seu entorno;

b) Umidade Relativa do Ar → É caracterizada pela quantidade de vapor de água contido no ar.

Relaciona a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado, para a mesma temperatura.

Esta variável é decisiva na avaliação pois, conforme visto no subitem 3.2.4, quanto maior a umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor;

c) Temperatura Média Radiante → Representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real com temperatura não uniforme (vide figura 3.3).

O cálculo da temperatura média radiante pode ser feito através da determinação da temperatura de termômetro de globo e da temperatura do ar.

O termômetro globo simula com fidelidade a troca por radiação térmica entre a pele humana e o ambiente (devido ao fato de as respectivas emissividades terem valores muito próximos);

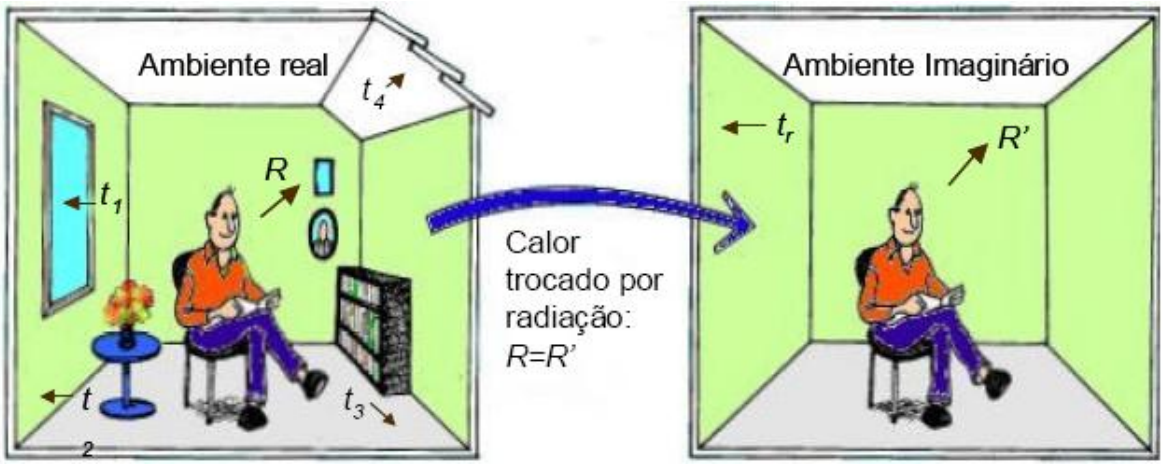


Figura 3.3 – Conceito de Temperatura Média Radiante
(Fonte: LAMBERTS *et al.*, 2006)

d) <u>Velocidade do Ar</u> → Em ambientes internos, fechados, quase sempre fica abaixo de 1,0m/s (geralmente em torno de 0,1m/s).

A circulação de ar pode ser natural (devido à diferença de densidade entre o ar quente e o ar mais frio) ou forçada (por algum equipamento mecânico).

O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência reduzindo, assim, a sensação de calor;

III.3.2 – Variáveis Pessoais

e) Vestimenta → Equivale a uma resistência térmica entre o corpo e o ambiente, dificultando a troca de calor por convecção.

A resistência térmica depende de vários aspectos, por exemplo: o tipo de tecido, o tipo de fibra e o ajuste da roupa ao corpo.

A vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor.

Cada peça de roupa possui um índice de vestimenta[27] (I_{cl}) que pode ser expresso em m².K/W ou clo. A conversão entre as duas unidades é dada a seguir:

$$1 \text{ clo} = 0{,}155 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Para saber qual o $I_{cl\ total}$ de uma pessoa, soma-se o I_{cl} de cada peça do vestuário que está sendo utilizada no momento da avaliação térmica.

No anexo I deste trabalho encontra-se a relação completa dos valores I_{cl} atribuídos a cada peça de roupa, de acordo com a norma ISO 7730 (1994).

f) Atividade Física → Segundo LAMBERTS *et al*. (2006) apenas 20% da energia obtida através dos alimentos é convertida em

[27] Do termo em inglês *clothing*. Um clo corresponde ao traje passeio completo (terno).

trabalho. O restante, 80%, é transformado em calor e dissipado através dos mecanismos termoreguladores.

No subitem 3.2.2 já se mostrou que, para estabelecer-se os valores de troca corporal de calor, adotou-se 1,8m² como a área de pele de um homem adulto.

Todavia, DUBOIS e DUBOIS (1916, *apud* ÁGUAS, 2000) mostraram que, na verdade, a área corporal varia em função da altura e do peso da pessoa (vide figura 3.4).

$$Área = 0{,}202 \times Altura^{0{,}725} \times Peso^{0{,}425}$$

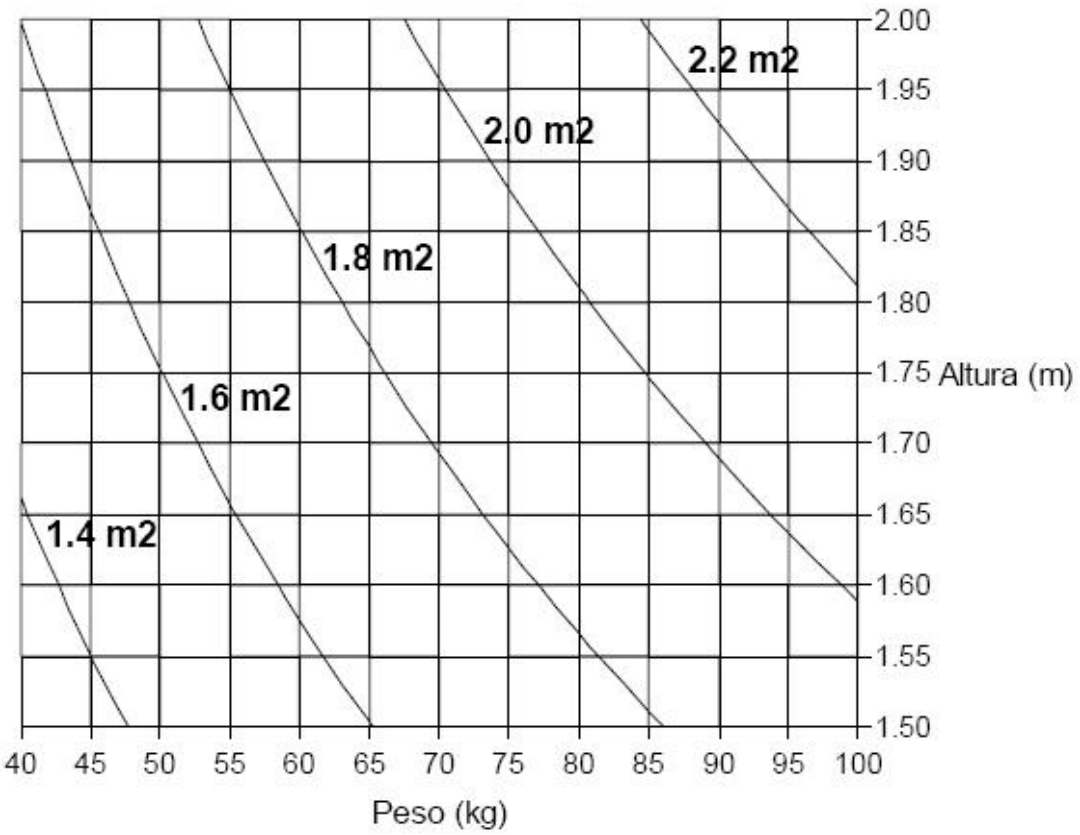


Figura 3.4 – Área Corporal em Função do Peso e da Altura
(Fonte: DUBOIS, D. e DUBOIS, E.F., 1916, *apud* ÁGUAS, 2000)

O metabolismo[28] pode ser expresso em W/m² ou Met. A conversão entre as duas unidades é dada abaixo:

$$1 \text{ Met} = 58{,}15 \text{ W/m}^2$$

No anexo II deste trabalho encontra-se a relação completa dos valores atribuídos a cada atividade física, de acordo com a norma ISO 7730 (1994);

III.3.3 – Balanço térmico proposto por Fanger

Como já relatado anteriormente, a teoria de FANGER (1967) é baseada fundamentalmente no balanço térmico entre o indivíduo e o ambiente no qual o mesmo se encontra.

A figura 3.5 representa o balanço térmico ao redor de uma pessoa e será analisada ao longo deste subitem[29]. Tanto as quatro variáveis ambientais quanto as duas variáveis pessoais estão representadas nesta imagem.

[28] Um Met corresponde ao metabolismo de um adulto em ócio, sentado e relaxado.
[29] O balanço térmico que será apresentado neste subitem é resumido. Para uma consulta ao equacionamento completo proposto pelo autor dinamarquês Fanger, sugere-se consultar as referências FANGER (1970) ou ASHRAE (2001).

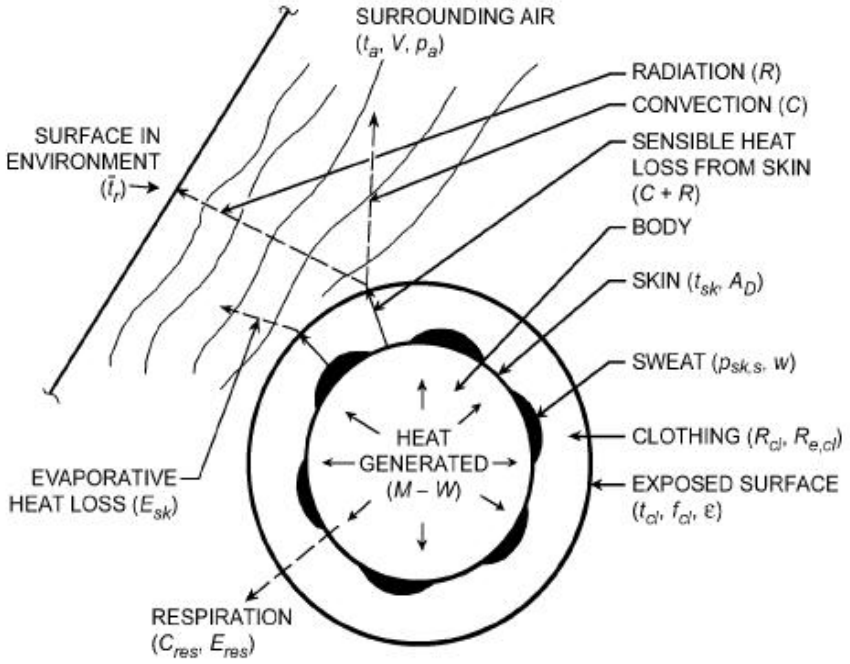


Figura 3.5 – Interação Térmica entre o Corpo Humano e o Ambiente
(Fonte: ASHRAE, 2001)

O primeiro passo é explicar o significado dos termos que serão utilizados no equacionamento subseqüente:

- M = metabolismo [W/m²];
- W = trabalho realizado para o exterior [W/m²];
- L = termo de acumulação de energia térmica [W/m²];
- Q_{sk} = calor liberado através da pele [W/m²];
- Q_{res} = calor liberado através da respiração [W/m²];

- E_{sk} = calor latente liberado pela pele por evaporação [W/m²];

- C = perda de calor sensível através da pele por convecção [W/m²];

- R = perda de calor sensível através da pele por radiação [W/m²];

- C_{res} = perda de calor convectivo na respiração [W/m²];

- E_{res} = perda de calor evaporativo na respiração [W/m²];

- E_{dif} = calor perdido por difusão de água através da superfície cutânea [W/m²];

- E_{trans} = calor perdido por transpiração de água através da superfície cutânea [W/m²];
- p_a = pressão parcial do vapor de água no ambiente [Pa];

- t_a = temperatura de bulbo seco [°C];

- f_{cl} = fator de vestimenta, adimensional;

- h_c = coeficiente de convecção entre a superfície do vestuário e o ar ambiente [W/(m².K)];

- t_{cl} = temperatura da vestimenta [°C];

- t_r = temperatura média radiante dos elementos opacos no espaço [°C];

- t_{sk} = temperatura da pele [°C];

- v_a = velocidade do ar ambiente [m/s].

A premissa inicial do equacionamento que se segue é de que, em uma situação hipotética de conforto térmico pleno, todo o calor gerado pelo corpo humano seria liberado para o ambiente.

$$\sum Q_{gerado} = \sum Q_{dissipado} \tag{1}$$

Haja vista que esta situação dificilmente ocorre, torna-se conveniente a inclusão de um termo de acumulação de energia (carga térmica corpórea).

$$Q_{gerado} = Q_{dissipado} + L \tag{2}$$

Reordenando a equação (2) fica fácil perceber que, em conforto térmico pleno, o termo de acumulação de energia é nulo, de forma que as equações (3) e (1) tornam-se iguais.

$$Q_{gerado} - Q_{dissipado} = L \tag{3}$$

Pode-se reescrever a equação (2) em função dos termos apresentados anteriormente. À esquerda tem-se o calor gerado (definido como a diferença entre metabolismo e trabalho), enquanto que à direita o calor liberado é desmembrado em duas parcelas (calor perdido pela pele, Q_{sk}, mais calor oriundo da respiração, Q_{res}).

$$(M - W) = (Q_{sk} + Q_{res}) + L \tag{4}$$

A seguir detalha-se cada termo de liberação de energia pelo corpo, nas formas latente (E_{sk}, E_{res}) e sensível (C, R, C_{res}).

$$(M - W) = (E_{sk} + C + R) + (C_{res} + E_{res}) + L \tag{5}$$

O próximo passo é a separação do calor latente dissipado pela superfície corporal em suas duas vertentes, difusão e transpiração.

$$(M - W) = (E_{dif} + E_{trans} + C + R) + (C_{res} + E_{res}) + L \tag{6}$$

A equação (7) apresenta uma simples reordenação de termos em relação à anterior. Isto é conveniente neste momento para facilitar o cálculo iterativo final.

$$(M - W) = (E_{dif} + E_{trans} + C_{res} + E_{res}) + (C + R) + L \tag{7}$$

Neste ponto detalha-se os seis termos dissipadores de calor corpóreo humano.

$$E_{dif} = 3{,}05 \times [5{,}73 - 7 \times 10^{-3} \times (M - W) - p_a] \tag{8}$$

$$E_{trans} = 0{,}42 \times [(M - W) - 58{,}15] \tag{9}$$

$$E_{res} = 1{,}73 \times 10^{-2} \times M \times (5{,}87 - p_a) \tag{10}$$

$$C_{res} = 1{,}4 \times 10^{-3} \times M \times (34 - t_a) \tag{11}$$

$$R = 3{,}96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \tag{12}$$

$$C = f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \tag{13}$$

Substituindo-se as equações de (8) a (13) em (7), obtem-se a expressão completa das trocas térmicas entre o indivíduo e o ambiente.

$$(M - W) = \left\{ \begin{array}{l} 3{,}05 \times \left[5{,}73 - 7 \times 10^{-3} \times (M - W) - p_a\right] + 0{,}42 \times \left[(M - W) - 58{,}15\right] + \\ 1{,}73 \times 10^{-2} \times M \times (5{,}87 - p_a) + 1{,}4 \times 10^{-3} \times M \times (34 - t_a) + \\ 3{,}96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4\right] + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} + L$$

(14)

Para ser possível resolver a equação (14) é preciso antes definir as expressões para temperatura da vestimenta (t_{cl}) e temperatura da pele (t_{sk}).

$$t_{cl} = t_{sk} - 0{,}155 \times I_{cl} \times (C + R) \tag{15}$$

$$t_{sk} = 35{,}7 - 0{,}028 \times (M - W) \tag{16}$$

$$\begin{array}{l} t_{cl} = \left[35{,}7 - 0{,}028 \times (M - W)\right] - 0{,}155 \times I_{cl} \times \\ \left\{3{,}96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4\right] + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\right\} \end{array} \tag{17}$$

Vale ressaltar que as equações (14) e (17), além de serem implícitas, não possuem solução analítica. Por isso, utiliza-se algoritmos computacionais iterativos para se obter soluções numéricas adequadas.

Assim sendo, a precisão do resultado final vai depender primordialmente da qualidade do algoritmo desenvolvido para o equacionamento.

Para o cálculo do coeficiente de convecção entre a superfície do vestuário e o ar ambiente (h_c), deve-se escolher o maior valor obtido entre as duas opções abaixo.

$$h_c = 2{,}38 \times \sqrt[4]{(t_{cl} - t_a)} \tag{18}$$

$$h_c = 12{,}1 \times \sqrt[2]{v_a} \tag{19}$$

Já o fator de vestimenta (f_{cl}) é selecionado de acordo com o valor total do índice de vestimenta (I_{cl}).

$$f_{cl} = 1{,}00 + 0{,}2 \times I_{cl} \qquad (\mathrm{I_{cl}} \leq 0{,}5\,\mathrm{clo}) \tag{20}$$

$$f_{cl} = 1{,}05 + 0{,}1 \times I_{cl} \qquad (\mathrm{I_{cl}} > 0{,}5\,\mathrm{clo}) \tag{21}$$

Finalmente, após 21 equações, é possível resolver o balanço de energia proposto por Fanger. ASHRAE (2001) reorganiza a equação (14) de acordo com as condições das equações (15) a (21).

O resultado final são dois indicadores bastante úteis para estimar-se a satisfação humana com o ambiente térmico, que serão apresentados a seguir.

III.3.4 – PMV – Voto Médio Previsto

O primeiro índice a ser apresentado é o PMV (Voto Médio Previsto[30]). Matematicamente, trata-se de uma correlação envolvendo os termos de acumulação de energia (L) e de metabolismo (M).

$$PMV = \left[0{,}303 \times \exp\left(-0{,}036 \times M\right) + 0{,}028\right] \times L \qquad (22)$$

A relevância científica do PMV se deve ao fato de este indicador ser capaz de prever, com considerável precisão estatística, a média das respostas individuais de uma amostragem numerosa e heterogênea de entrevistados, submetidos a um mesmo ambiente térmico.

No sentido mais subjetivo, ou menos cartesiano, o PMV pode ser descrito como uma escala de satisfação pessoal, simétrica, constituída por sete pontos, a saber:

- +3 → Insuportavelmente quente;
- +2 → Quente;
- +1 → Ligeiramente quente;
- 0 → Neutro;
- −1 → Ligeiramente frio;
- −2 → Frio;

[30] Tradução do termo em inglês *"Predicted Mean Vote"*.

- $-3 \rightarrow$ Insuportavelmente frio;

É interessante ressaltar que, na situação hipotética de conforto térmico pleno, espera-se que a resposta humana seja PMV=0 (neutro). Isto pode ser ratificado aplicando-se a condição de nulidade do termo de acumulação de energia térmica ($L = 0$) na equação (22).

III.3.5 – PPD – Percentual de Pessoas em Desconforto

O segundo indicador de satisfação elaborado por Fanger é o PPD (Percentual de Pessoas em Desconforto[31]). Sua fórmula é dada na equação abaixo:

$$PPD = \left\{100 - 95 \times \exp\left[-\left(0{,}03353 \times PMV^4 + 0{,}2179 \times PMV^2\right)\right]\right\} \qquad (23)$$

Alguns aspectos acerca do PPD devem ser destacados, tais como:

1. Mesmo na situação de neutralidade térmica, $PMV = 0$, haveria 5% de pessoas insatisfeitas no recinto. Este é o patamar mínimo de insatisfação térmica previsto pelo modelo;

2. A norma ISO 7730 adota o patamar de 10% de descontentes como sendo um parâmetro aceitável para projetos de climatização de ambientes.

[31] Tradução do termo em inglês *"Predicted Percentage of Dissatisfied"*.

A figura 3.6 mostra que, para se atingir o percentual máximo de 10% de insatisfação, $PPD \leq 10\%$, o indicador PMV deve variar dentro do intervalo $-0{,}5 < PMV < +0{,}5$.

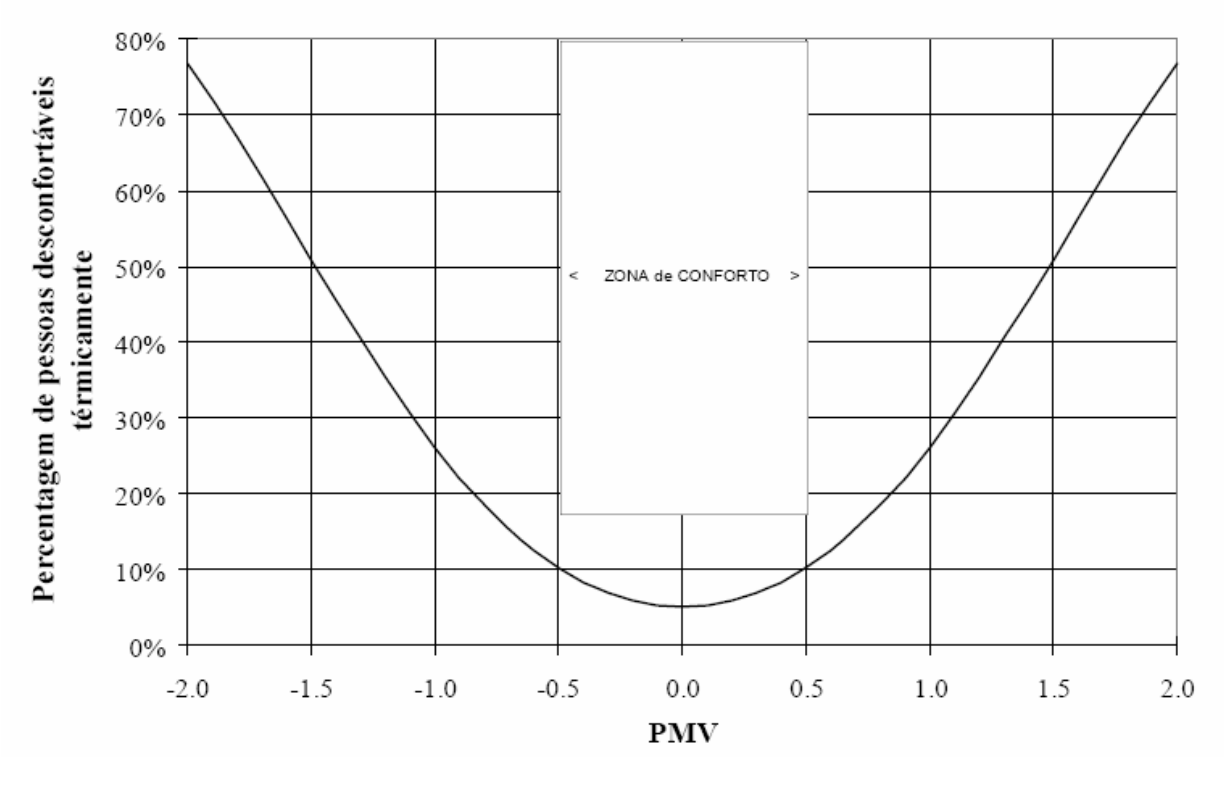


Figura 3.6 – Zona de conforto térmico segundo a norma ISO 7730, em função dos índices PMV e PPD

(Fonte: ÁGUAS, 2000)

III.3.6 – Atualização do modelo para regiões tropicais

Conforme já relatado no capítulo 2 desta dissertação, a ISO 7730 (1984) adotou os parâmetros PMV e PPD de Fanger como referência para avaliação de conforto térmico.

A partir deste momento surgiram pesquisadores, em sua maioria adeptos da vertente adaptativa, questionando a adequação do trabalho de Fanger para países tropicais (clima quente e úmido).

A publicação mais completa desta série foi feito por DE DEAR, BRAGER & COOPER (1997). Trata-se do relatório ASHRAE RP 884, desenvolvido em 160 edificações, situadas em 8 países, de 4 diferentes continentes.

A compilação de mais de 20.000 dados coletados deu o embasamento estatístico que os adaptativos precisavam para criticar com argumentos sólidos o modelo escolhido pela ASHRAE em 1984.

As duas principais críticas se deviam ao fato de o modelo de Fanger ignorar a adaptação humana a situações térmicas desfavoráveis, sobretudo nos aspectos fisiológico e psicológico.

A adaptação fisiológica refere-se a alterações na resposta fisiológica do organismo que atenuam os efeitos danosos ao corpo causados por condições ambientais severas.

Por exemplo, sob calor intenso e umidade relativa elevada das regiões tropicais, o corpo humano reduz seu metabolismo de forma a

reduzir a produção de calor e, conseqüentemente, evitar que o sistema termoregulador corporal seja sobrecarregado.

Por sua vez, a adaptação psicológica diz respeito a modificações na percepção e na reação às condições térmicas, em função da expectativa existente sobre as condições térmicas de um ambiente.

É fato conhecido que pessoas que sempre viveram em ambientes naturalmente ventilados são mais tolerantes ao calor que pessoas acostumadas a ambientes climatizados.

Em outros termos, pode-se afirmar que indivíduos que usualmente habitam edificações sem ar condicionado (ou demais equipamentos mecânicos de condicionamento térmico) são menos exigentes no que tange ao conforto térmico.

Por conseguinte, em prédios com sistema de ar condicionado, espera-se que haja uma maior expectativa (exigência) quanto ao conforto. Ou seja, imagina-se que as pessoas sejam mais sensíveis a condições que se afastem do patamar idealizado por elas mesmas.

O impacto destas duas contestações era claro: em ambientes quentes (PMV>0) o modelo usual poderia superestimar o desconforto (PPD), ao admitir que todos os cidadãos respondem da mesma forma às condições ambientais. Além disso, não prever uma redução no metabolismo era outra falha evidente.

Após a publicação do ASHRAE RP 884, Fanger percebeu que sua teoria precisava ser ligeiramente modificada, de forma a atender às críticas bem fundamentadas dos adaptativos. O artigo FANGER & TOFTUM (2002), propõe solução plausível para ambas as questões.

A tabela 3.1 apresenta o chamado "fator de expectativa" (e). Para que a influência psicológica sobre percepção térmica seja considerada, o fator de expectativa deve ser multiplicado ao valor do PMV obtido por entrevistas individuais.

Tabela 3.1 – Valores para o fator de expectativa "e"

Expectativa	A edificação possui ar condicionado?	Duração do período quente	Há outros prédios na região com ar condicionado?	Valor do fator de expectativa "e"
Alta	SIM	Indiferente	Sim, vários	1,0
Alta	NÃO	Breve período durante o verão	Sim, vários	0,9 a 1,0
Moderada	NÃO	Verão	Sim, vários	0,8 a 0,9
Moderada	NÃO	Verão	Não, nenhum	0,7 a 0,8
Baixa	NÃO	Ano inteiro	Sim, vários	0,7
Baixa	NÃO	Ano inteiro	Sim, alguns	0,6
Baixa	NÃO	Ano inteiro	Não, nenhum	0,5

(Fonte: FANGER & TOFTUM, 2002, adaptada)

No que diz respeito à redução da taxa metabólica do organismo em situações de calor, os autores estimam que os processos fisiológicos reduzam em 6,7% o metabolismo humano, a cada unidade de PMV acima da neutralidade térmica (PMV=0).

A tabela 3.2 apresenta a redução prevista em função do calor, expresso pelo índice PMV. Esta modificação corrigirá o cálculo de calor gerado pelo corpo que, por sua vez, afeta todo o equacionamento descrito no subitem 3.3.3.

Tabela 3.2 – Redução metabólica humana em função do PMV

PMV	Redução no metabolismo
0	0%
+ 0,5	3,3%
+ 1,0	6,7%
+ 1,5	10%
+ 2,0	13,3%
+ 2,5	16,7%
+ 3,0	20%

(Fonte: FANGER & TOFTUM, 2002, adaptada)

CAPÍTULO IV – A BIOCLIMATOLOGIA COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Neste capítulo são mostradas algumas das cartas bioclimáticas propostas por diversos autores, visando o estudo térmico de ambientes e edificações. Em seguida faz-se uma apresentação de cada sub-região da carta bioclimática de Givoni, mais adequada ao clima brasileiro. Também são mostradas estratégias a serem seguidas em cada sub-região, e faz-se uma discussão sobre arquivos de dados climáticos. Por fim, aborda-se a norma ABNT NBR 15220-3/2005, que define os diferentes subtipos bioclimáticos de cada parte do território nacional.

IV.1 – Breve Histórico

BOGO *et al.* (1994) apresentam um importante trabalho de revisão bibliográfica acerca de estudos bioclimáticos. Os índices de conforto de Fanger, PMV e PPD, são contrapostos com alguns diagramas bioclimáticos a fim de se verificar a adequação dos mesmos.

No que tange aos primórdios da bioclimatologia, a primeira carta bioclimática surge na década de 1960, elaborada por OLGYAY (1963). Nesta, o autor propunha estratégias de adaptação da edificação ao clima, a partir de dados do clima externo.

Olgyay afirmou que a zona de conforto não possuía limites precisos, haja vista que a zona de neutralidade térmica (que se encontra no

centro do conforto) varia mesmo com um mínimo de esforço físico, passando à situação de desconforto.

Os limites da zona de conforto, segundo o próprio Olgyay, baseiam-se em suposições relativamente arbitrárias. Por exemplo, a sua carta bioclimática foi elaborada para a zona temperada dos Estados Unidos, em altitude inferior a 300m, supondo que o habitante está usando vestimenta comum (índice Clo = 1,0) e exercendo atividade leves ou sedentárias.

Cinco anos mais tarde, OLGYAY (1968) apresentou novas cartas bioclimáticas para regiões tropicais. Os estudos de caso foram as cidades de Buenaventura (Colômbia) e Miami (EUA).

De forma resumida, pode-se dizer que no levantamento dos novos diagramas foram mantidos constantes os fatores razão metabólica, dieta e indivíduo (idade, sexo e peso).

Em compensação fez-se necessário alterar os parâmetros aclimatação e vestimenta. O primeiro devido ao fato de que as constantes temperaturas elevadas das regiões tropicais geram uma melhor aceitação do calor, aumentando a região de conforto. O segundo justifica-se porque o vestuário tipicamente utilizado nestas áreas é sensivelmente diferente daquele utilizado em zonas temperadas (inferior a 1,0 clo).

Neste ponto vale ressaltar que começaram a surgir outros autores que discordavam da aplicabilidade da carta bioclimática de Olgyay como parâmetro de avaliação de conforto térmico.

KOENIGSBERGER *et al.* (1977) apresentam um nova proposta de diagrama bioclimático para climas quentes. A figura 4.1 mostra a nova sugestão.

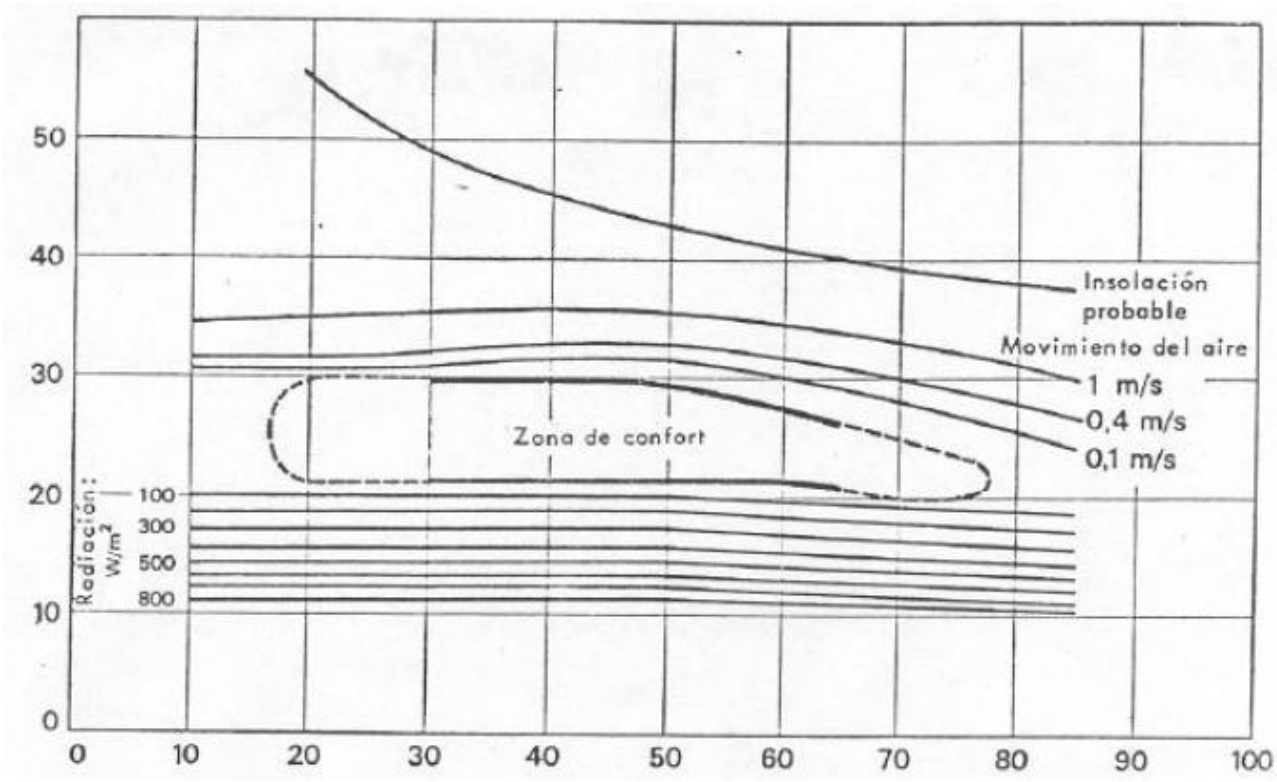


Figura 4.1 – Diagrama Bioclimático Adaptado para Climas Quentes (Fonte: Koenigsberger *et al.*, 1977, apud Bogo *et al.*, 1994, p.30)

Nesta nova carta, a zona de conforto está delimitada entre as temperaturas de bulbo seco (eixo vertical) de 21ºC e 30ºC e entre as umidades relativas (eixo horizontal) de 16% e 78%. Esta zona foi desenvolvida para pessoas que realizam trabalho sedentário e vestem 1,0 clo.

A fim de estabelecer uma comparação, a carta de Koenigsberger mostra o efeito do vento, com linhas variando entre 0,1m/s e 1,0m/s. No diagrama de Olgyay para a Colômbia, a variação vai até 6,0m/s.

Além disso, Koenigsberger *et al.* elaboraram sua carta bioclimática para a Austrália (nível do mar). Não há qualquer referência ao fato de a altitude influenciar ou não a modificação na zona de conforto. Deste modo, não há certeza se a proposta deste grupo pode ser aplicada para situações diferentes daquelas observadas na Austrália.

GIVONI (1969) faz uma releitura inovadora do trabalho de OLGYAY (1963). A primeira grande modificação é que a carta de Olgyay tinha como eixo horizontal a escala de umidade relativa, enquanto que a temperatura de bulbo seco era o eixo vertical.

Givoni, por sua vez, decidiu traçar seu diagrama bioclimático sobre uma carta psicrométrica[32]. Isso permitiu um salto de qualidade na informação, pois possibilitou a delimitação de zonas de atuação, por meio de estratégias, visando a obtenção do conforto térmico.

Outra mudança significativa foi o cenário da análise. A carta de Olgyay é voltada estritamente para o exterior de edificações, enquanto que a de Givoni foi projetada para a avaliação de ambientes internos.

[32] Diagrama utilizado em estudos térmicos das áreas de ventilação, refrigeração e aquecimento, para determinar as propriedades termodinâmicas do ar em um ambiente, a partir de um estado definido por apenas duas propriedades.

GIVONI e MILNE (1979, apud ANDRADE, 1996) fizeram uma revisão do diagrama, para tentar corrigir a limitação de aplicação limitada da mesma para climas quentes. Eles adaptaram a carta original modificando os limites, tanto da zona de conforto quanto das demais estratégias.

Outra atualização teve de ser feita (GIVONI, 1992) a partir do momento que diversas pesquisas mostraram que pessoas que vivem e trabalham em cidades de países em desenvolvimento, situadas em regiões úmidas e quentes, declaram-se conforto térmico para valores superiores de temperatura.

Desta vez, Givoni constatou a necessidade de haver uma diferenciação das diretrizes para projeto de edificações, baseadas em diagramas de conforto. Propôs então duas cartas bioclimáticas, uma para países desenvolvidos (clima temperado) e outra para países em desenvolvimento (clima quente e úmido).

A variação de temperaturas sugerida para países de clima temperado é entre 18ºC e 25ºC no inverno e entre 20ºC e 27ºC no verão. Para regiões de clima quente e úmido, Givoni propõe o aumento de 2ºC neste limite.

A umidade absoluta também recebeu limites. Deve estar entre 10g/kg e 12g/kg, em nações desenvolvidas ou 12g/kg a 14g/kg em nações subdesenvolvidas.

Apenas para efeito comparativo, a figura 4.2 junta as duas cartas de Givoni em uma só, a fim de ressaltar a diferença na zona de conforto para países desenvolvidos (linha contínua) e países em desenvolvimento (linha tracejada).

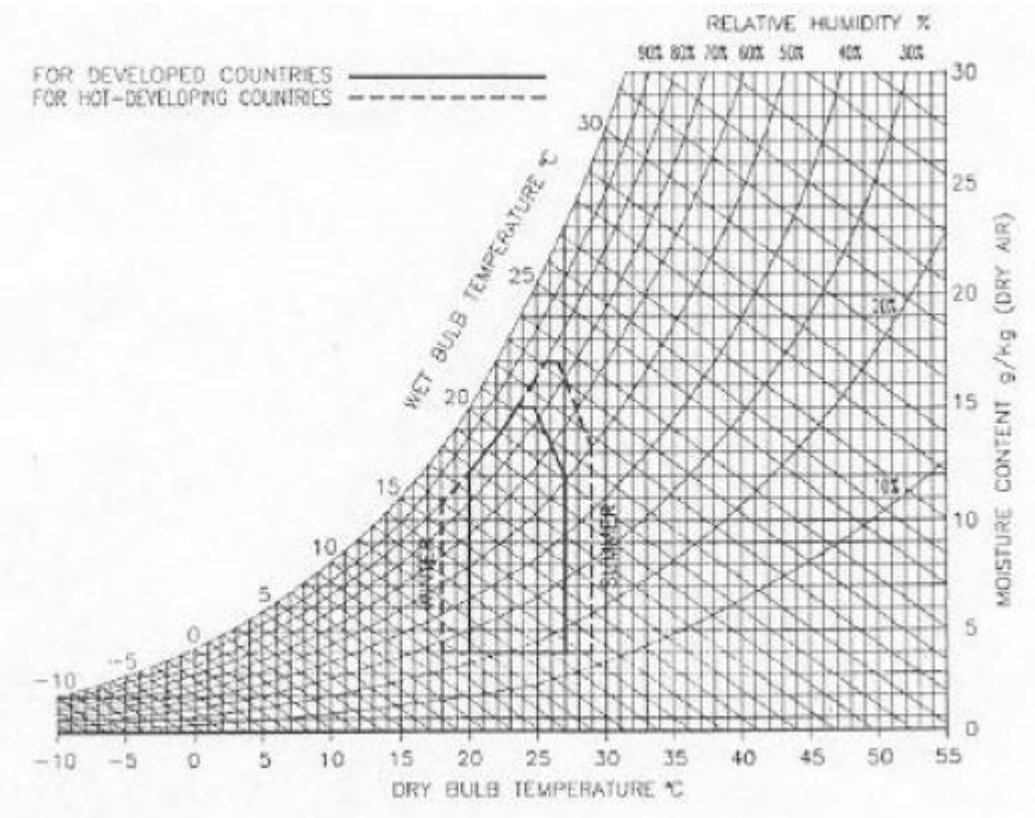


Figura 4.2 – Carta Bioclimática de Givoni para Países Desenvolvidos e em Desenvolvimento

(Fonte: Givoni, 1992, apud Bogo *et al.*, 1994, p.48)

O detalhamento dos limites de cada sub-região do diagrama de Givoni para países em desenvolvimento, bem como das estratégias de atuação para cada caso, será feito em outro subitem neste capítulo.

IV.2 – Escolha de uma Carta Bioclimática para o Brasil

Analisando todas as possibilidades de adoção de diagramas bioclimáticos para o Brasil, conclui-se que a opção mais adequada é a carta de Givoni (1992).

Esta decisão baseia-se em quatro aspectos principais, a saber:

- Givoni desenvolveu um trabalho específico voltado para nações quentes e em desenvolvimento;

- A sua metodologia adota maiores limites de velocidade do ar para temperaturas mais elevadas, coerentes com a realidade dos países de clima quente e úmido;

- Seu trabalho foi fundamentado na aclimatação de indivíduos a climas quentes e úmidos, sendo seu estudo confirmado por experimentos na Tailândia;

- O espaço interno da edificação pode ser resfriado com menor consumo elétrico, já que se adotou temperatura máxima para o conforto superior àquela observada em outros modelos.

A figura 4.3 mostra o diagrama de Givoni dividido em 12 partes. Trata-se de 9 estratégias bioclimáticas e 3 áreas híbridas, que abrangem duas ou mais estratégias, de forma individual ou simultaneamente.

As nove principais são as seguintes:

1. Zona de Conforto;
2. Zona de Ventilação;
3. Zona de Resfriamento Evaporativo;
4. Zona de Massa Térmica para Resfriamento;
5. Zona de Ar-condicionado;
6. Zona de Umidificação;
7. Zona de Massa Térmica para Aquecimento;
8. Zona de Aquecimento Solar Passivo;
9. Zona de Aquecimento Artificial.

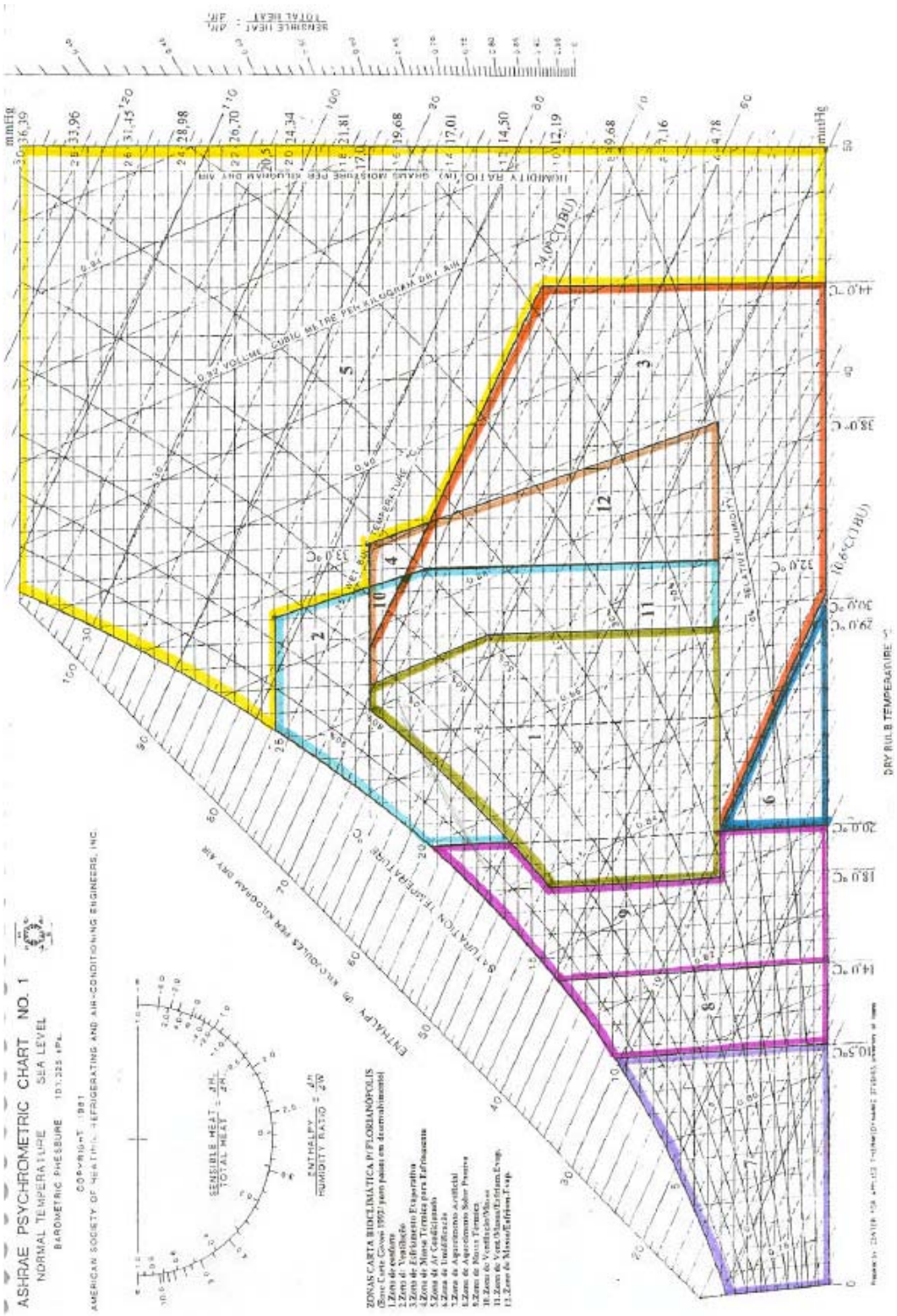


Figura 4.3 – Carta Bioclimática de Givoni para o Brasil

(Fonte: Bogo *et al.*, 1994)

Como relatado anteriormente, as regiões 10, 11 e 12 da carta de Givoni representam interseções entre duas ou mais áreas. Assim sendo, pode-se optar por uma ou mais táticas de mitigação térmica. Eis as 3 áreas mistas:

1. Interseção entre a Zona de Ventilação e a Zona de Massa Térmica para Resfriamento;

2. Interseção entre a Zona de Ventilação, a Zona de Resfriamento Evaporativo e a Zona de Massa Térmica para Resfriamento;

3. Interseção entre a Zona de Resfriamento Evaporativo e a Zona de Massa Térmica para Resfriamento.

IV.3 – Detalhamento de cada Zona Térmica e das Respectivas Estratégias

IV.3.1 – Zona de Conforto

A primeira região a ser descrita é a zona de conforto, cujos limites na carta psicrométrica são:

- Temperatura de bulbo seco entre 18°C e 29°C;

- Umidade relativa do ar entre 20% e 80%;

- Razão de umidade entre 4g/kg e 17g/kg;

- Volume específico entre 0,83m³/kg e 0,87m³/kg.

Em um ambiente que esteja nas condições ambientais supracitadas, há uma grande probabilidade de que as pessoas se sintam em conforto térmico.

A zona de conforto pode ser melhor visualizada na figura 4.4.

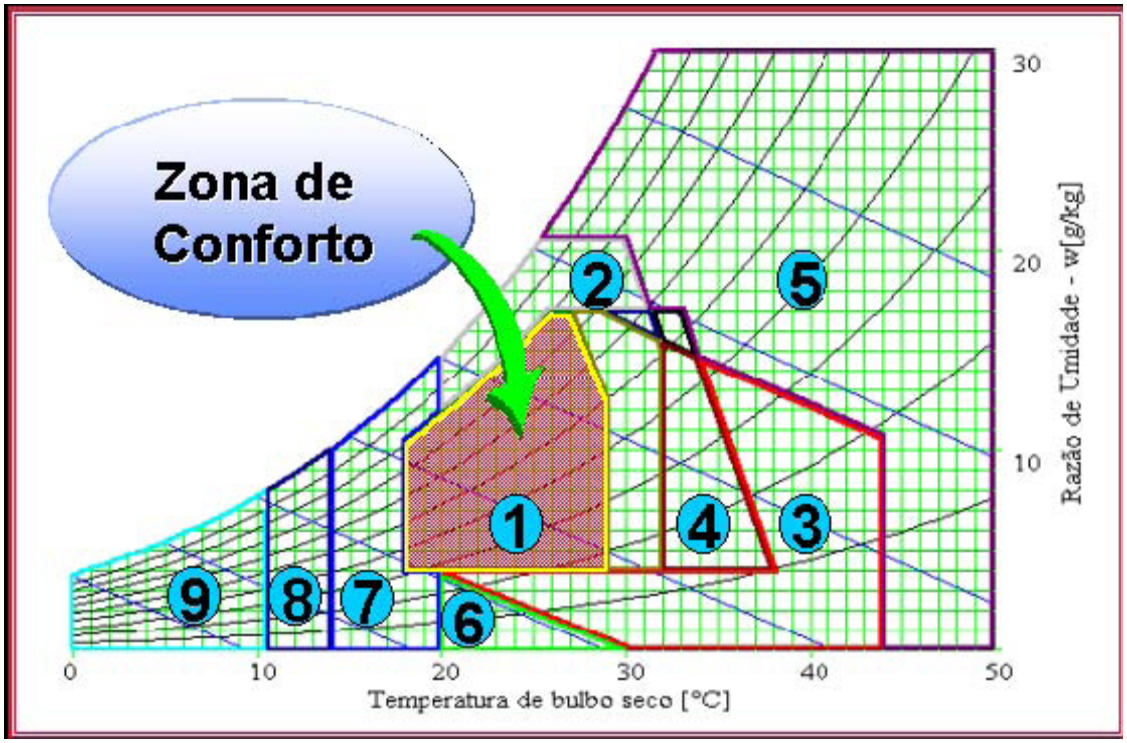


Figura 4.4 – Zona de Conforto

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

No entanto, a fim de se manter o conforto, sugere-se que:

a) Quanto mais baixa for a temperatura encontrada, menor deve ser a velocidade do vento local, para evitar desconforto;

b) Da mesma forma, quanto maior a temperatura observada, menor deve ser a incidência direta de radiação solar no recinto.

IV.3.2 – Zona de Ventilação

A região de ventilação fica à direita da zona de conforto e tem um formato delimitado por dez arestas, dentre as quais:

- Temperatura de bulbo seco entre 20°C e 32°C;
- Umidade relativa do ar entre 15% e 100%;
- Razão de umidade entre 4g/kg e 20,5g/kg;
- Volume específico entre 0,85m³/kg e 0,88m³/kg.

A figura 4.5 mostra a subárea:

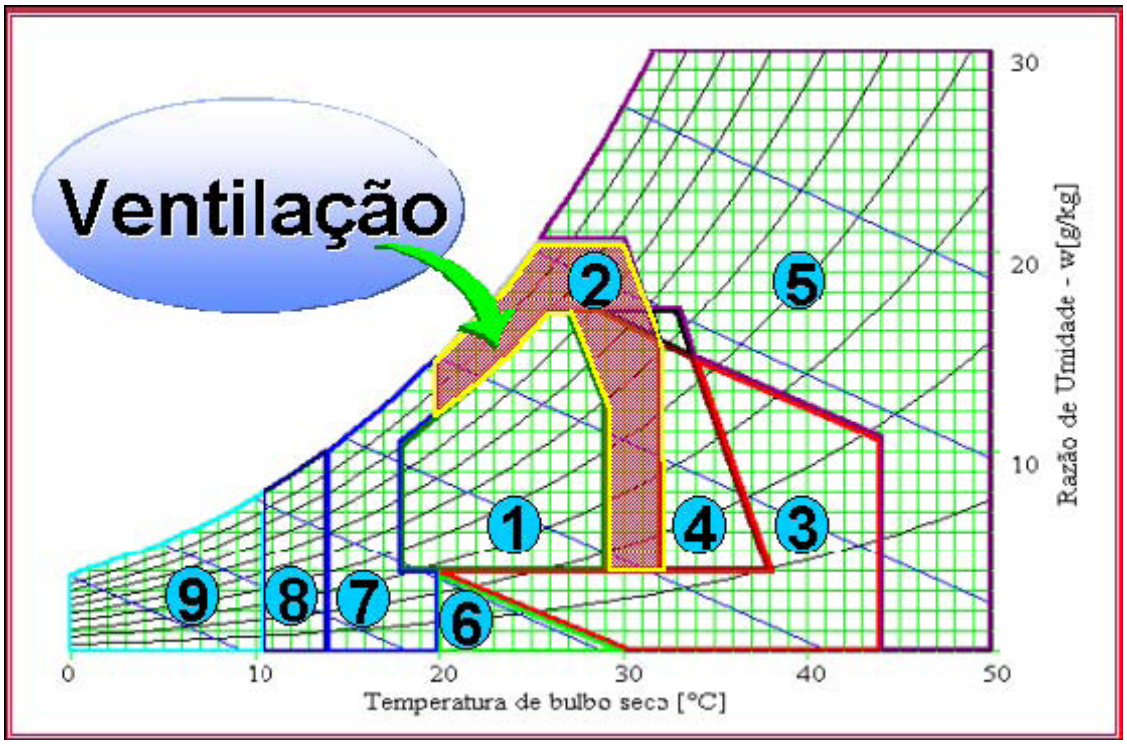


Figura 4.5 – Zona de Ventilação

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

No clima quente e úmido, a ventilação cruzada (figura 4.6) é a tática mais simples a ser adotada, fazendo com que a temperatura interna acompanhe a variação da temperatura externa.

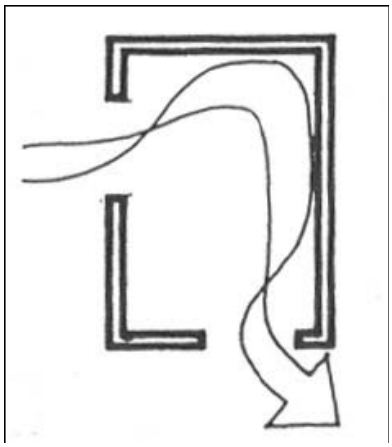


Figura 4.6 – Ventilação Cruzada, em planta

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

Outras soluções arquitetônicas bastante utilizadas são: ventilação sob a casa, ventilação da cobertura (figura 4.7) e o uso de captadores de vento.

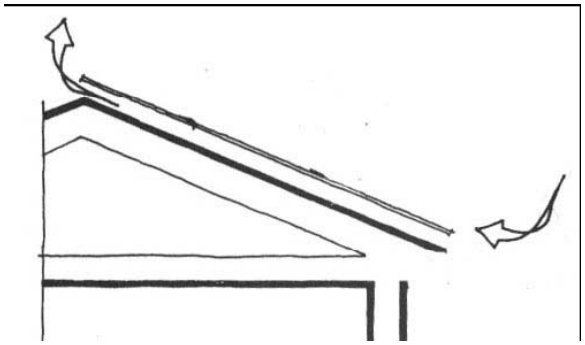


Figura 4.7 – Ventilação da Cobertura

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

IV.3.3 – Zona de Resfriamento Evaporativo

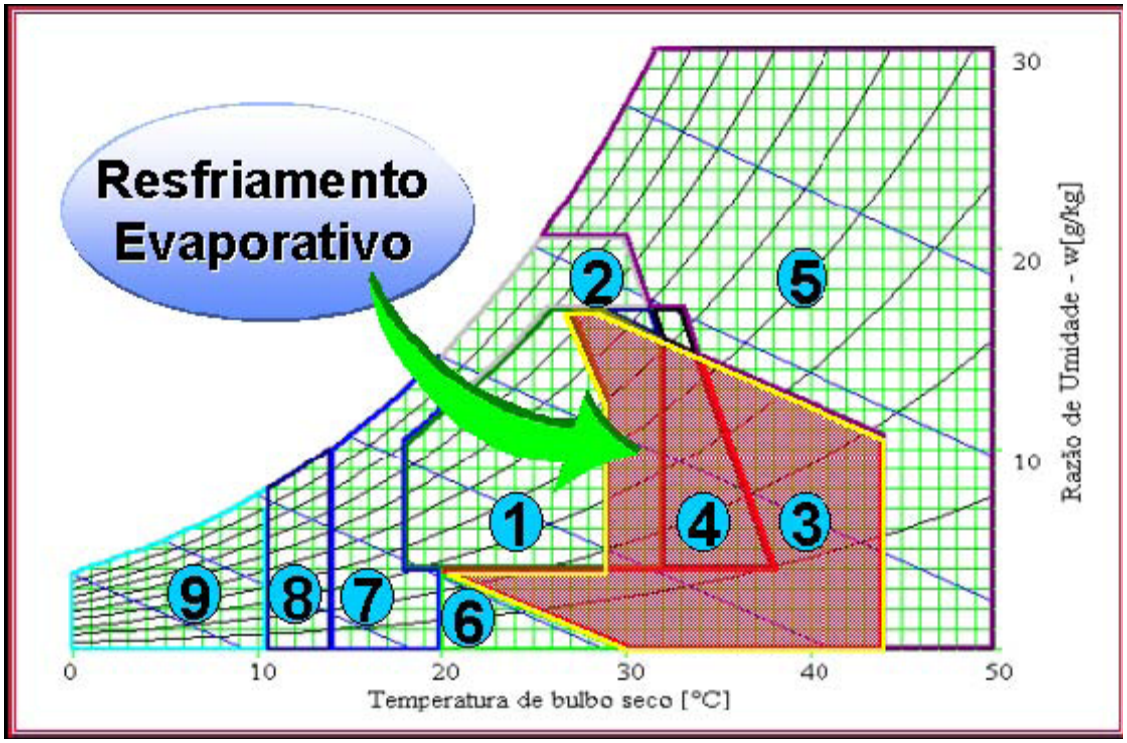


Figura 4.8 – Zona de Resfriamento Evaporativo

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

A zona de resfriamento evaporativo (figura 4.8) tem como parâmetros básicos:

- Temperatura de bulbo seco entre 20°C e 44°C;
- Temperatura de bulbo úmido entre 10,5°C e 24°C;
- Razão de umidade entre 0g/kg e 17g/kg;

O resfriamento térmico é uma estratégia para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta.

A evaporação da água pode causar um duplo efeito benéfico: reduzir a temperatura e, simultaneamente, aumentar a umidade relativa local. Um exemplo de aplicação deste recurso são as típicas fontes do pátios árabes.

O uso de vegetação, de fontes de água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo (figura 4.9).

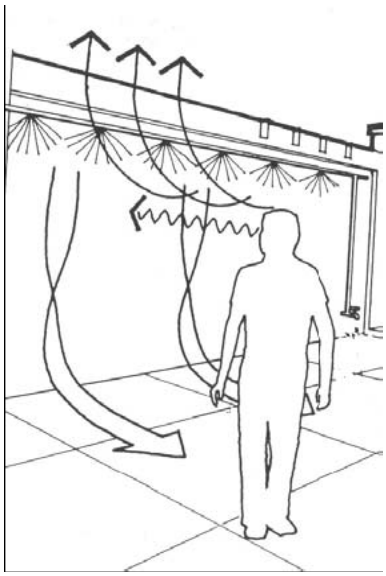


Figura 4.9 – Resfriamento Evaporativo Direto, por Microasperção de Água no ar

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

Uma forma indireta pode ser através de tanques de água sombreados, executados sob a laje da cobertura (vide figura 4.10).

Neste caso, a temperatura inicial da água é igual à temperatura do ambiente interno. Com a evaporação, a água perderá calor, diminuindo a temperatura do teto e, consequentemente, a temperatura radiante média do recinto.

Pode-se utilizar esta alternativa tanto em edificações de um único pavimento quanto no último andar de prédios com mais pavimentos.

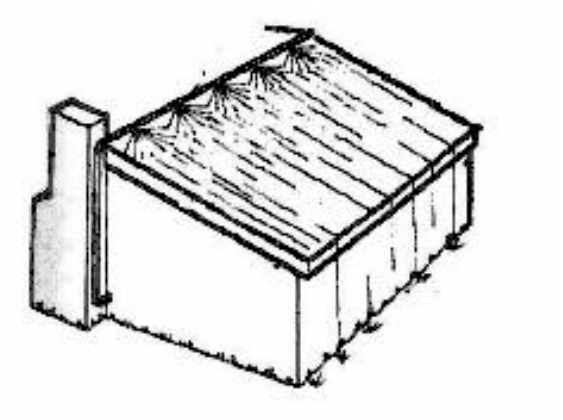


Figura 4.10 – Resfriamento Evaporativo Indireto, através da Cobertura

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

IV.3.4 – Zona de Massa Térmica para Resfriamento

Esta zona está situada entre:

- Temperatura de bulbo seco entre 29°C e 38°C;
- Razão de umidade entre 4g/kg e 17g/kg;
- Volume específico entre 0,87m³/kg e 0,89m³/kg.

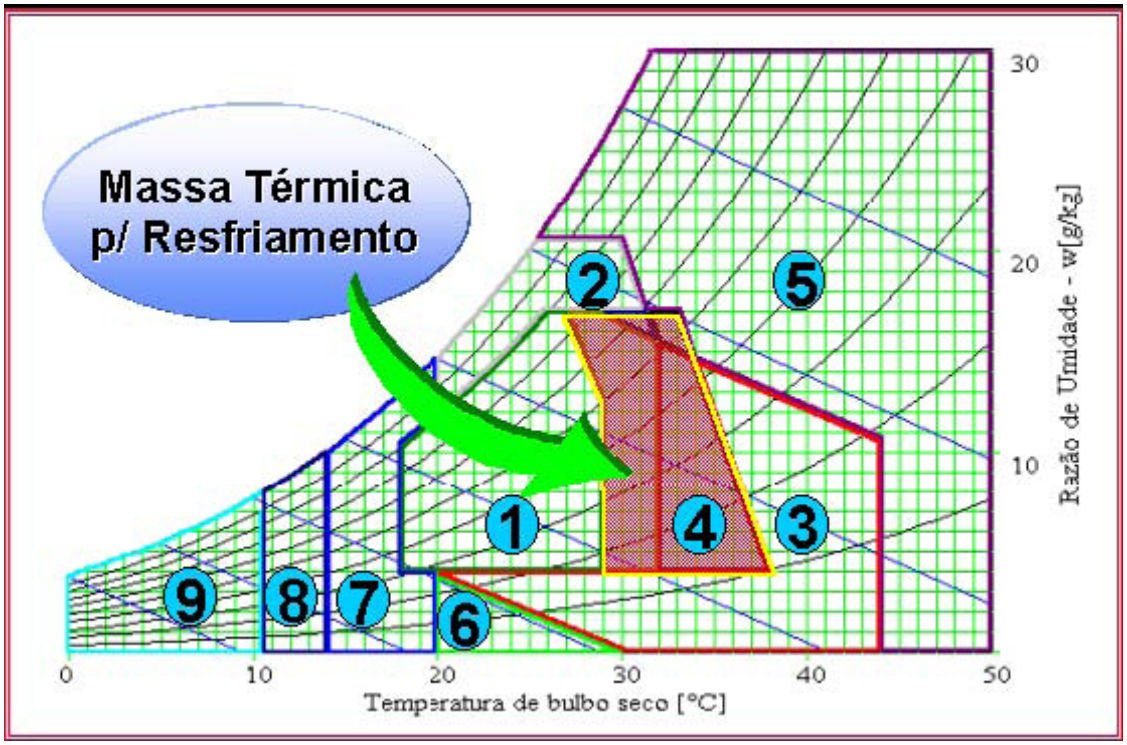


Figura 4.11 – Zona de Massa Térmica para Resfriamento

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

A utilização de componentes construtivos com inércia térmica (capacidade térmica) superior faz com que a amplitude da temperatura interior diminua em relação a exterior, ou seja, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente.

O comportamento dos materiais com inércia térmica ao longo do dia é descrito abaixo:

- Durante o dia armazenam calor na estrutura térmica da edificação, devolvendo ao ambiente somente à noite, quando há a redução das temperaturas externas;

- Como efeito complementar, a estrutura térmica que se resfriou no período noturno mantem-se fria durante a maior parte do dia, resfriando o ambiente interno.

A figura 4.12 mostra duas diferentes técnicas de resfriamento por inércia térmica.

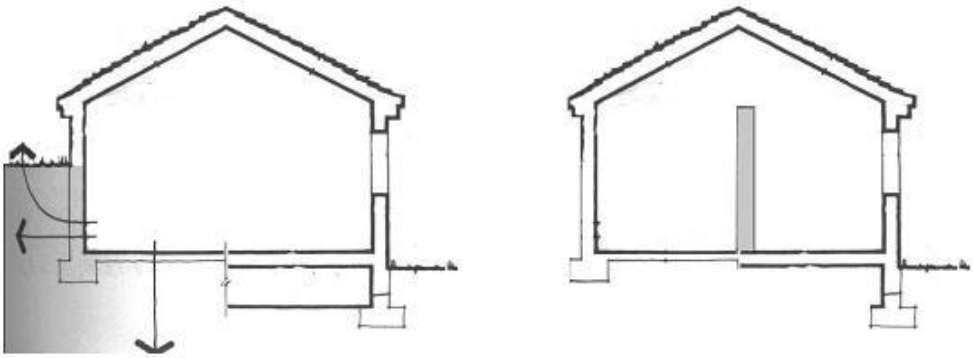


Figura 4.12 – Estratégias de Resfriamento por Massa Térmica
(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

A imagem da esquerda utiliza o solo como elemento de inércia térmica, ao passo que na imagem da direita há uma parede interna na edificação

IV.3.5 - Zona de Ar-condicionado

A figura 4.13 mostra a zona de ar-condicionado (limite à direita da carta bioclimática).

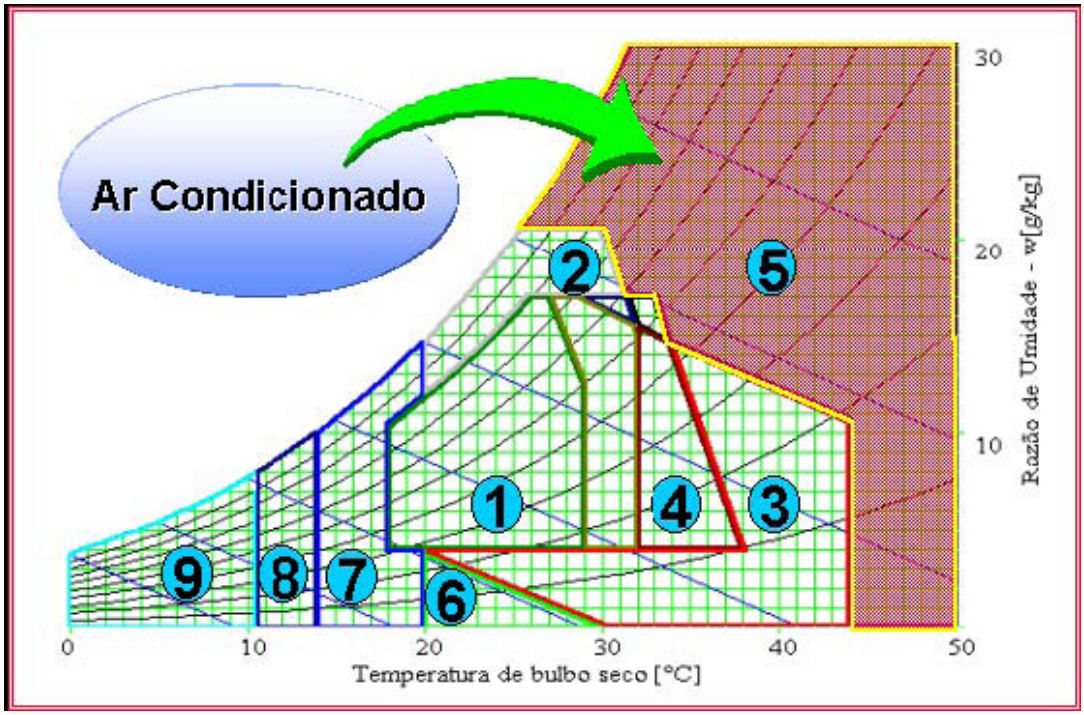


Figura 4.13 – Zona de Ar-condicionado

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

O resfriamento artificial por ar-condicionado deve ser utilizado quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas de conforto.

Pode-se afirmar que, quando houver uma das seguintes condições ambientais, apenas o ar-condicionado será capaz de prover conforto aos indivíduos presentes:

- Temperatura de bulbo seco acima de 44°C;
- Temperatura de bulbo úmido acima de 24°C;
- Razão de umidade acima de 20,5g/kg.

Todavia, vale ressaltar que não se restringe a utilização de ar-condicionado apenas nestas condições. O mesmo pode ser emprego como auxiliar em outras zonas anteriormente estudadas.

Do mesmo modo, a aplicação dos sistemas já descritos não seria suficiente para retirar a carga térmica da região de ar-condicionado. No entanto, haveria redução da necessidade de uso deste último e, conseqüentemente, redução do consumo elétrico.

IV.3.6 - Zona de Umidificação

A zona de umidificação é um triângulo situado sob a zona de conforto, com as delimitações abaixo:

- Temperatura de bulbo seco entre 20°C e 30°C;

- Temperatura de bulbo úmido inferior a 10,5°C;

- Razão de umidade entre 0g/kg e 4g/kg.

A figura 4.14 detalha a zona de umidificação.

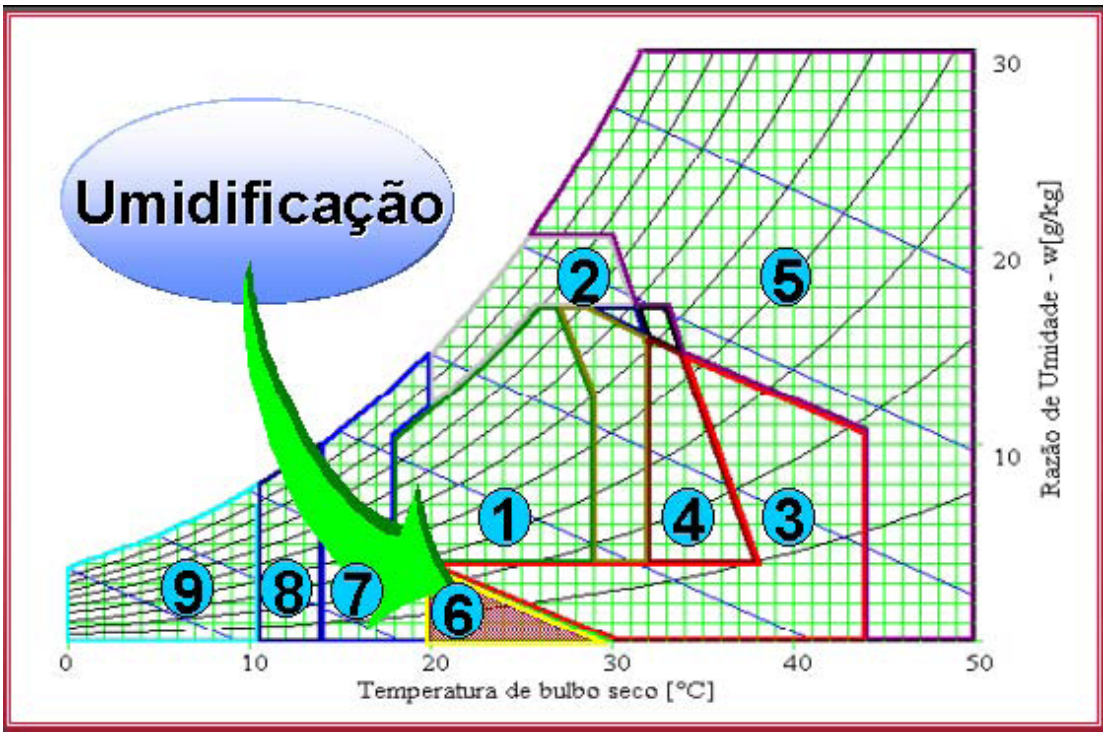


Figura 4.14 – Zona de Umidificação

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

Quando a umidade relativa do ar é muito baixa, inferior a 20%, há desconforto devido à secura do ar. Nestes casos a umidificação do ar melhora a sensação de conforto, ainda que possa produzir um efeito indesejado de resfriamento evaporativo.

As baixas taxas de renovação de ar permitem manter o vapor de água em níveis confortáveis, com mínima evaporação e resfriamento.

Recursos simples, como recipientes com água colocados no ambiente interno (figura 4.15) podem aumentar a umidade relativa do ar. Da mesma forma, aberturas herméticas podem manter esta umidade, além do vapor de água gerado por atividades domésticas ou produzido por plantas.

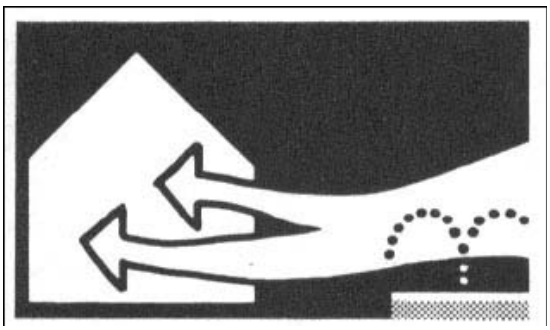


Figura 4.15 – Umidificação com Fontes de Água
(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

IV.3.7 - Zona de Massa Térmica para Aquecimento

A zona de massa térmica para aquecimento localiza-se à esquerda das zonas de conforto, ventilação e umidificação. A figura 4.16 ilustra a região.

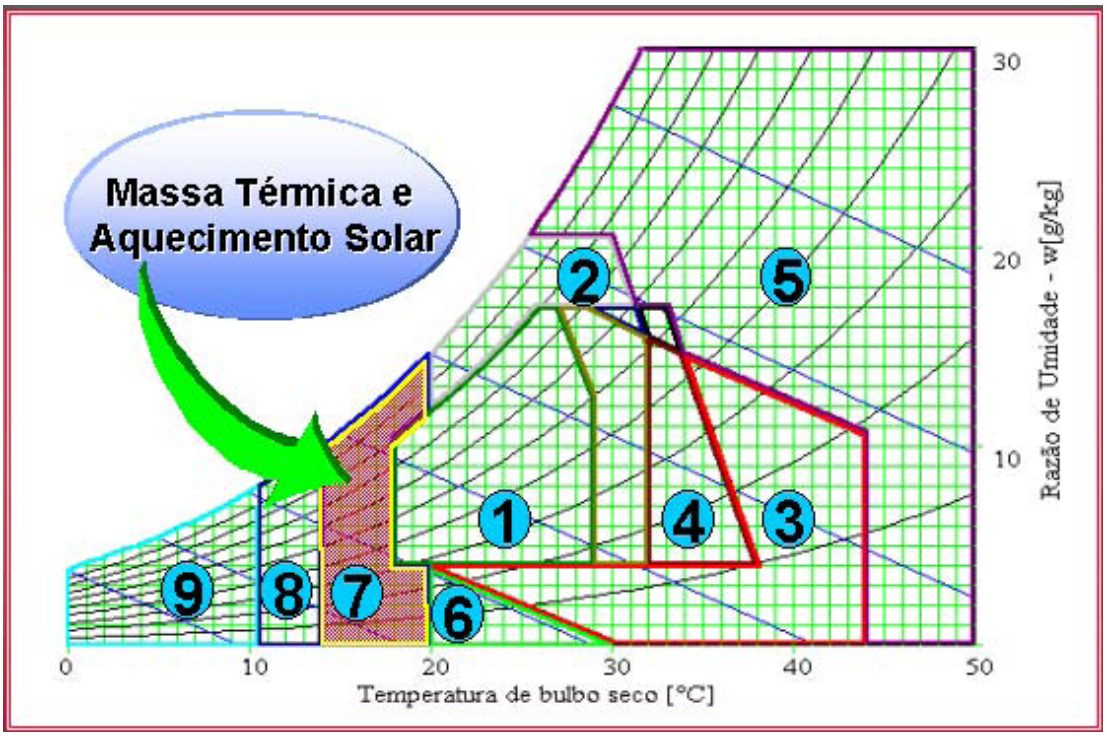


Figura 4.16 – Zona de Massa Térmica para Aquecimento
(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

As fronteiras neste caso são:

- Temperatura de bulbo seco entre 14°C e 20°C;
- Umidade relativa entre 0% e 100%.

Caso se observe estas condições térmicas no local da edificação, deve-se optar pela inclusão de componentes construtivos com maior inércia térmica.

Assim, as baixas temperaturas (principalmente noturnas) seriam compensadas pela cessão ao ambiente do calor solar armazenados na

construção ao longo do dia.

Além disso, pode-se reduzir as perdas de calor pelas aberturas e pela cobertura (telhado e forro), conforme demonstrado nas duas imagens da figura 4.17.

À esquerda aproveita-se a inércia térmica do forro, enquanto que à direita faz-se uso da inércia térmica de paredes internas e do piso.

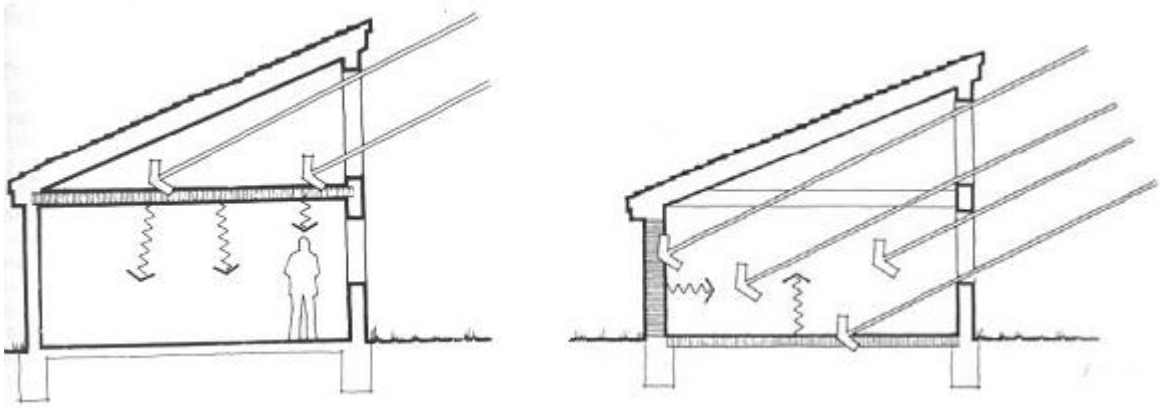


Figura 4.17 – Estratégias de Massa Térmica para Aquecimento
(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

IV.3.8 - Zona de Aquecimento Solar Passivo

Esta oitava zona (figura 4.18) tem como delimitações:

- Temperatura de bulbo seco entre 10,5°C e 14°C;

- Umidade relativa entre 0% e 100%.

Nesta situação é recomendado o uso de aquecimento solar passivo, haja vista que as perdas de calor deverão ser significativamente maiores.

O projeto do edifício deve incorporar superfícies envidraçadas orientadas ao sol, aberturas reduzidas nas orientações que recebem menos insolação (para reduzir a perda de calor) e proporções apropriadas de espaços externos para se aproveitar o sol no inverno.

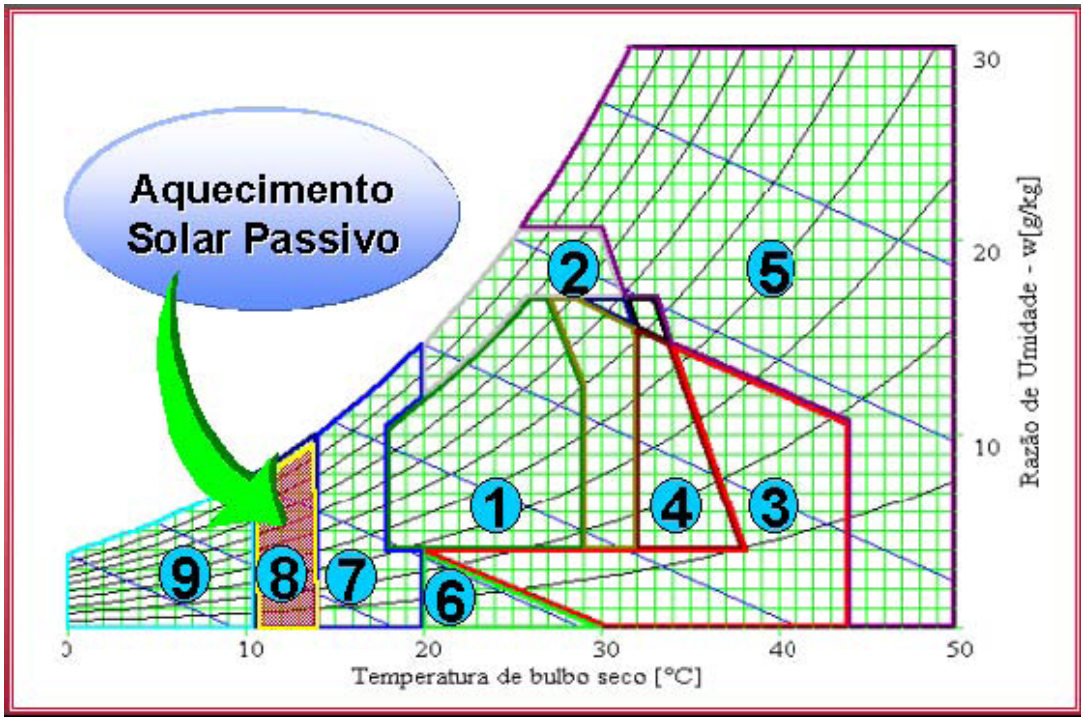


Figura 4.18 – Zona de Aquecimento Solar Passivo

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

Esta estratégia pode ser conseguida através de orientação adequada da edificação (norte) e de cores que maximizem os ganhos de calor, através de aberturas zenitais, de coletores de calor colocados no telhado e de isolamento para reduzir perdas térmicas. Abaixo, duas das possíveis estratégias aparecem na figura 4.19.

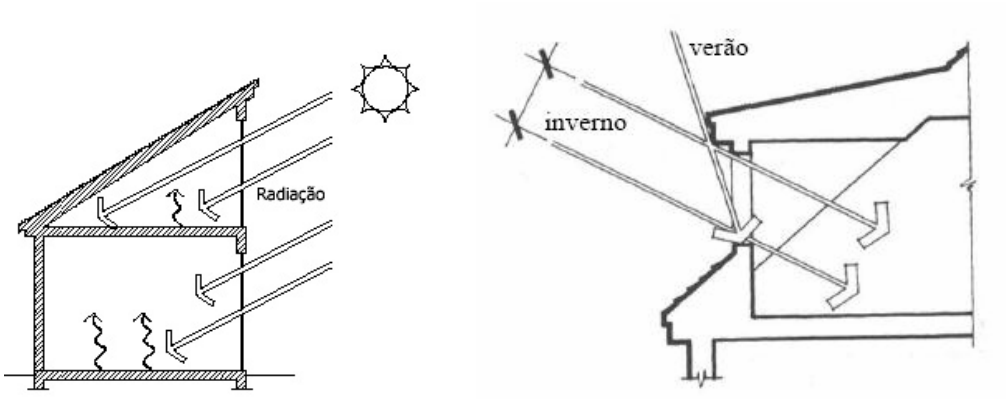


Figura 4.19 – Estratégias de Aquecimento Solar Passivo
(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

IV.3.9 - Zona de Aquecimento Artificial

Finalmente, a figura 4.20 apresenta a última região. Trata-se da zona de aquecimento artificial, que é o limite à esquerda da carta bioclimática e engloba qualquer ponto com:

- Temperatura de bulbo seco inferior a 10,5°C;
- Umidade relativa entre 0% e 100%.

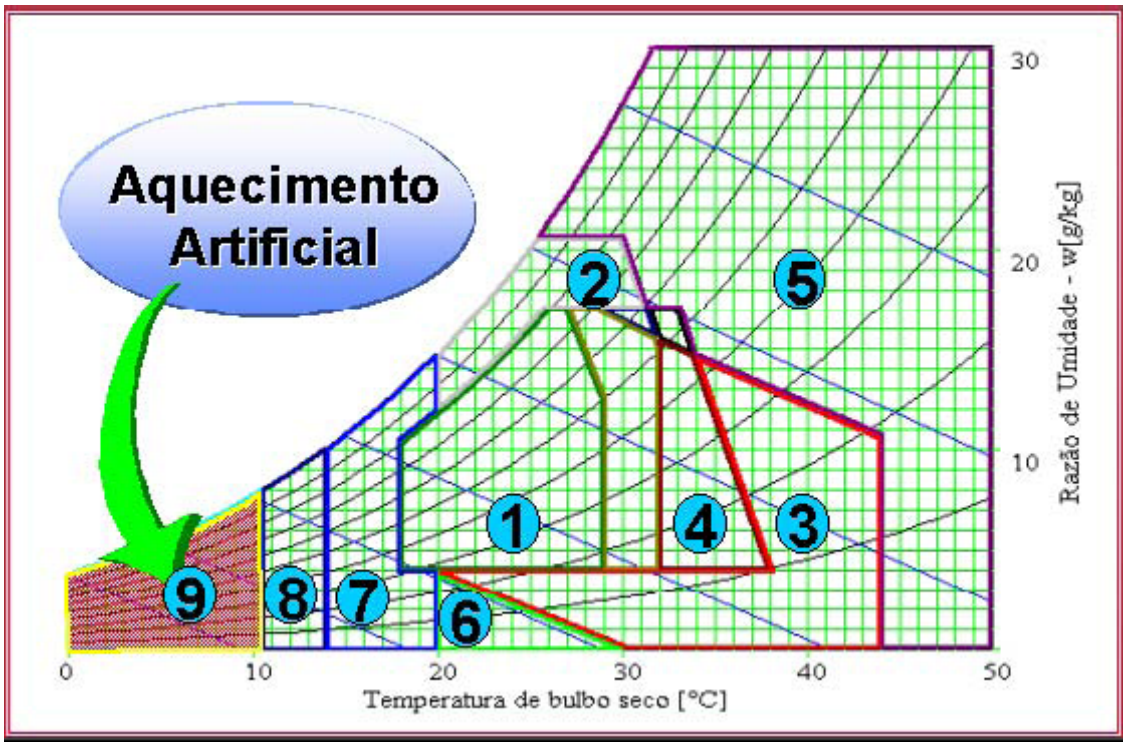


Figura 4.20 – Zona de Aquecimento Artificial

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2006)

Em locais regularmente muito frios (com temperaturas abaixo de 10,5°C), o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para a obtenção da sensação de conforto térmico. Nestes casos, o uso do aquecimento artificial costuma ser indispensável.

Porém, vale ressaltar que o uso combinado de ambos os sistemas (artificial e solar passivo) é extremamente aconselhável, pois reduz o consumo elétrico, assim como a dependência por uma única solução.

IV.4 – Ano Climático de Referência (TRY) x Normais Climatológicas

Há duas formas de se utilizar os dados ambientais coletados em estações meteorológicas de uma determinada região, para análise na carta bioclimática de Givoni:

- Ano Climático de Referência (TRY);
- Normais Climatológicas.

IV.4.1 – Ano Climático de Referência (TRY)

Segundo GOULART *et al.* (1998), o ano climático de referência (TRY)[33] é um banco de dados ambientais, geralmente coletados em estações meteorológicas permanentes, em aeroportos.

As informações registradas são:

- Ano, mês, dia e hora da observação;
- Total de nuvens (registro de nebulosidade);
- Direção do vento (corresponde à direção do vento registrada em graus em relação ao norte verdadeiro);

[33] Sigla oriunda da expressão em inglês "*Test Reference Year*"

- Intensidade do vento (registro de velocidade do vento);
- Visibilidade horizontal (registro de visibilidade);
- Tempo presente (corresponde à condição do tempo como: névoa, fumaça, poeira ou nevoeiro);
- Quantidade, tipo e altura das nuvens nas camadas 1, 2, 3 e 4 (registros das informações de nuvens por camadas);
- Ponto de orvalho (corresponde aos valores da temperatura de ponto de orvalho);
- Pressão ao nível do mar (registro da pressão atmosférica ao nível do mar);
- Pressão ao nível da pista (registro da pressão atmosférica ao nível da pista);
- Direção das nuvens (registro da direção das nuvens em relação aos oito pontos cardeais);
- Temperatura de bulbo seco (registro da temperatura de bulbo seco);
- Temperatura de bulbo úmido (registro da temperatura de bulbo úmido);
- Precipitação (registro de precipitação);
- Umidade relativa (registro de umidade relativa).

No entanto, os autores alertam que as temperaturas nos centros das cidades são, na maioria das vezes, maiores que as temperaturas nos aeroportos. Isso se deve primordialmente ao efeito denominado "ilha de calor"[34].

Na mesma publicação, GOULART *et al.* (1998) apresentam uma compilação de informações atmosféricas, bem como a metodologia de tratamento de dados que gerou os anos climáticos de referência (arquivos *TRY*) para catorze grandes cidades brasileiras[35].

O ano climático de referência representa cada hora do dia como um único ponto no diagrama de Givoni. Portanto, o arquivo *TRY* gera um total de 8760 pontos na mesma carta bioclimática.

No subitem 4.5 deste capítulo apresenta-se a aplicação dos dados do ano climático de referência do Rio de Janeiro em um software gratuito, disponível na internet.

---

[34] Fenômeno caracterizado pelo aumento de temperatura nos grandes centros urbanos, em relação à temperatura do entorno não urbanizado da cidade.
Ocorre principalmente devido à maior capacidade de absorção de calor das estruturas presentes nas zonas urbanas (como asfalto e concreto), à falta de áreas revestidas de vegetação; à impermeabilização dos solos e à alteração da circulação atmosférica pela construção de grandes edifícios.
À noite o fenômeno se agrava, pois há a liberação do calor armazenado nas edificações durante o dia, evitando assim o resfriamento natural do ar no período noturno;

[35] As catorze capitais brasileiras que já possuem arquivo *TRY* são: Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Brasília, Salvador, Maceió, Natal, Recife, Fortaleza, São Luís e Belém.

IV.4.2 – Normais Climatológicas

Caso a cidade a ser estudada não faça parte das 14 capitais que já possuem o respectivo Ano Climático de Referência, a alternativa passa a ser utilizar as Normais Climatológicas.

Estas são séries históricas de 30 anos, publicadas pelo MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1979) e MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA (1992). A primeira série corresponde ao período entre 1931 e 1960 e a segunda série é relativa aos anos de 1961 a 1990.

O procedimento para utilizar estas informações não é complexo e encontra-se descrito com detalhamento em LAMBERTS *et al.* (2004). Para tal, são fundamentais os seguintes dados:

- Temperatura média mensal;
- Média mensal das temperaturas máximas diárias;
- Média mensal das temperaturas mínimas diárias;
- Temperatura máxima absoluta mensal;
- Temperatura mínima absoluta mensal;
- Umidade relativa média mensal.

Basicamente o processo consiste nas cinco etapas descritas na páginas seguintes.

1) <u>Obtenção do ponto A</u>: a partir do cruzamento da temperatura média mensal com a umidade relativa média mensal, conforme figura 4.21;

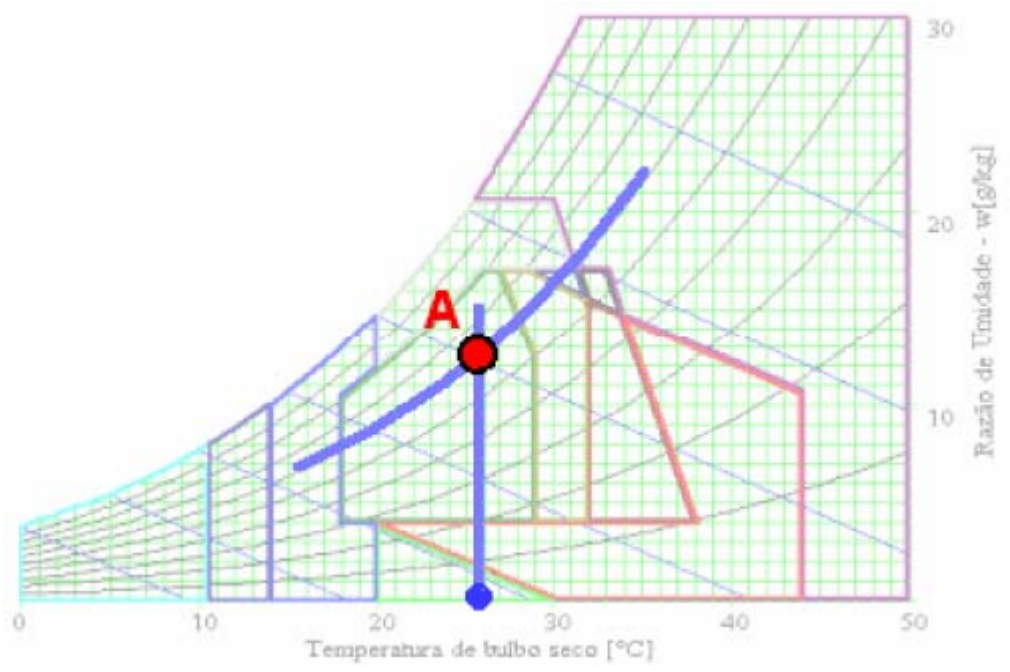


Figura 4.21 – Método das Normais Climatológicas – 1ª etapa
(Fonte: LABEEE/UFSC)

2) <u>Obtenção dos pontos B e C</u>: traçar uma horizontal que passe pelo ponto A, até encontrar as duas verticais, referentes à média mensal das temperaturas máximas diárias e à média mensal das temperaturas mínimas diárias. Isto delimitará um segmento de reta (vide figura 4.22);

3) <u>Obtenção da inclinação da reta</u>: supondo o valor médio para o Brasil de 3g/kg na variação média mensal do conteúdo diário de umidade, obtem-se a inclinação subtraindo 1,5g/kg no ponto B e adicionando o mesmo montante no ponto C (figura 4.23);

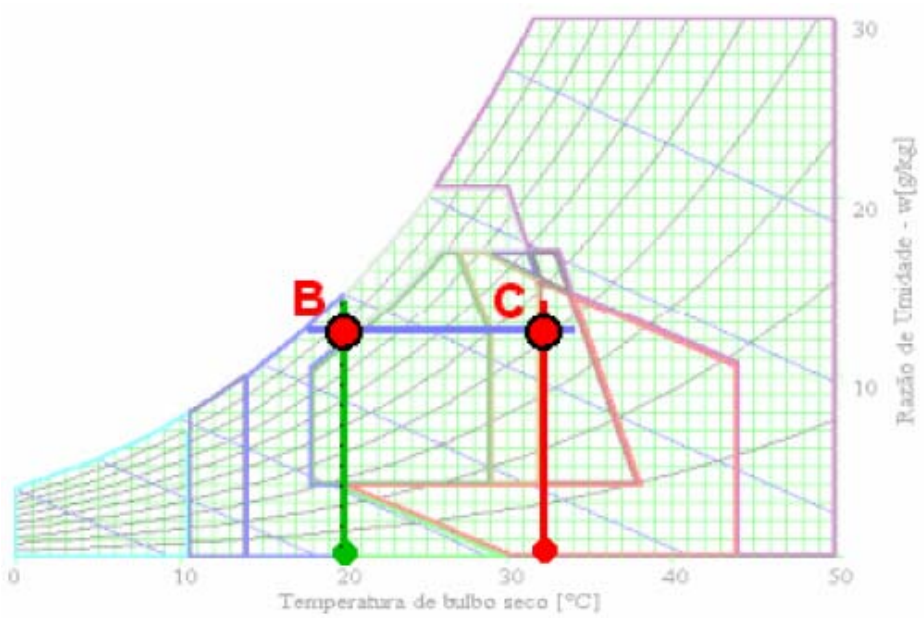


Figura 4.22 – Método das Normais Climatológicas – 2ª etapa

(Fonte: LABEEE/UFSC)

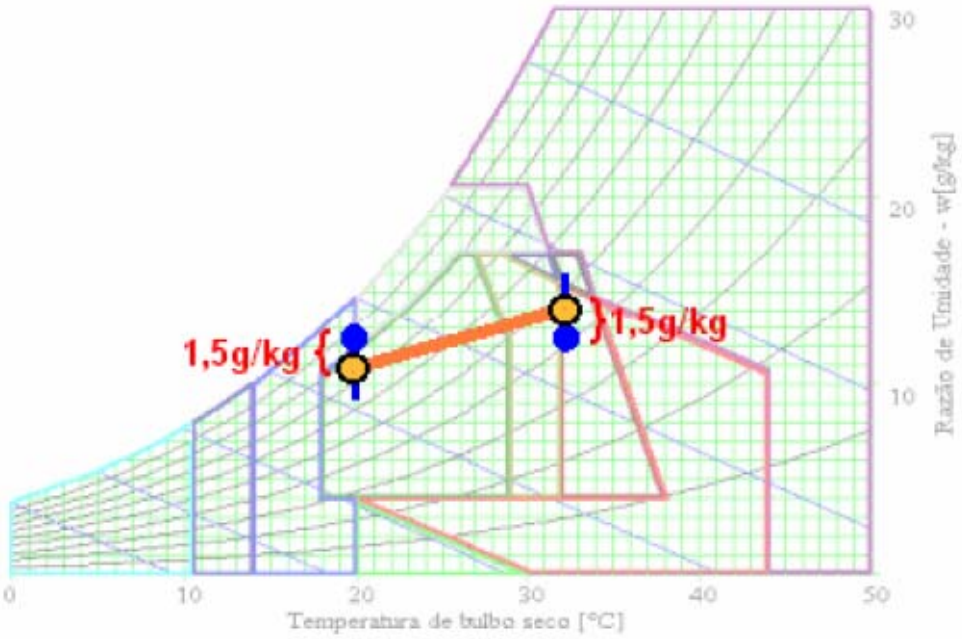


Figura 4.23 – Método das Normais Climatológicas – 3ª etapa

(Fonte: LABEEE/UFSC)

4) Obtenção das demais retas: até agora se conseguiu traçar uma reta, portanto apenas um mês do ano está representado. Deve-se repetir o procedimento para os onze meses restantes;

5) Comparação relativa entre as retas: a etapa final consiste em medir o comprimento de cada segmento retilíneo e calcular a porcentagem do total que está traçado sobre cada zona bioclimática da carta de Givoni. Com isso, consegue-se estimar o percentual de horas do ano em que deve-se utilizar cada estratégia de mitigação térmica.

Vale ressaltar que na abordagem via normais climatológicas será gerada uma reta pra representar cada mês do ano, ao passo que no arquivo TRY cada ponto representa uma hora do ano.

Assim sendo, haverá 12 retas representando o clima da cidade, ao invés de 8760 pontos, o que pode acarretar uma série de interpretações errôneas como será mostrado a seguir.

IV.4.3 – Comparação entre as duas abordagens

Como discutido no subitem anterior, a metodologia das normais climatológicas propicia que um segmento de reta represente 30 dias de coleta de dados meteorológicos.

É fundamental lembrar que no caso do ano climático de referência seriam necessários 730 pontos pra representar o mesmo período de tempo.

Esta diferença quantitativa tem sido suficiente para causar significativa discrepância na análise bioclimática das catorze cidades que já possuem arquivo climático *TRY*.

A razão principal é que, em qualquer área de conhecimento científico, não se deve utilizar a média como único parâmetro de avaliação.

É mister que a informação tenha qualidade, ou seja, é mandatório que o tratamento de dados seja suficientemente eficiente para garantir confiabilidade nos resultados finais.

Portanto, a média deve estar acompanhada de um parâmetro que descreva o grau de correlação entre os dados como, por exemplo, o desvio padrão.

No caso em questão, acerca da inserção de informações climatológicas em carta bioclimática, este problema se agrava ainda mais. Como não há nenhuma preocupação com a correlação entre os dados, as normais climatológicas não conseguem captar a dispersão dos dados no diagrama bioclimático. Assim sendo, estas tendem a mascarar a real situação ambiental.

Extrapolando a análise para todo o ano, é bastante provável que as normais climatológicas não prevejam as menores temperaturas do inverno, assim como as maiores temperaturas do verão.

Com certeza, a falta deste tipo de informação pode ser fatal para o sucesso de uma estratégia de atuação bioclimática, pois a tendência natural é que se projete ambientes que acabarão sendo desconfortáveis o ano inteiro.

Por fim, vale frisar que uma análise equivocada pode representar não somente um projeto arquitetônico inadequado, mas também um investimento desnecessário em equipamentos caros para propiciar climatização e conforto térmico.

IV.5 – Software Gratuito para Análise Bioclimática

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE/UFSC) disponibiliza em seu sítio na internet um link[36] para o *download* gratuito do *software* Analysis Bio.

Trata-se de uma ferramenta muito útil na avaliação bioclimática de uma cidade, pois permite a plotagem sobre a carta de Givoni de dados em ambos os formatos detalhados no subitem anterior (arquivos *TRY* ou normais climatológicas).

Para melhor entendimento, reproduz-se na figura 4.24 o Ano Climático de Referência da cidade do Rio de Janeiro, plotado no referido programa.

[36] http://www.labeee.ufsc.br/software/analysisBIO.html

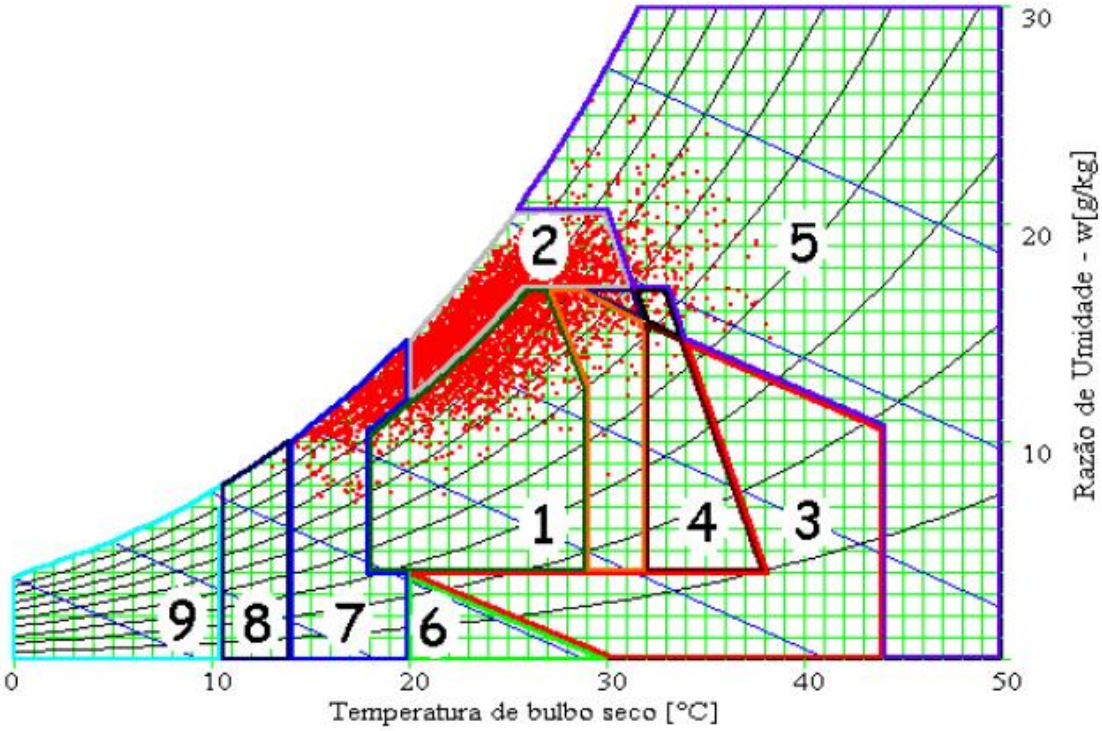


Figura 4.24 – Ano Climático de Referência da cidade do Rio de Janeiro, plotado no programa Analysis Bio

(Fonte: GOULART *et al.*, 1998)

A plotagem destas informações permite visualizar o comportamento ambiental esperado para uma determinada estação do ano, para alguns dias, ou ainda discretizar a simulação para um determinado período do dia.

Isto é de fundamental importância, pois permite uma análise estatística do percentual de horas do ano em que deve-se empregar cada estratégia de mitigação térmica.

No caso do Rio de Janeiro, as estratégias sugeridas estão apresentadas na tabela 4.1. Antes, porém faz-se necessário esclarecer a legenda adotada:

- V = Ventilação;
- RE = Resfriamento Evaporativo;
- MR = Massa Térmica para Resfriamento;
- AC = Ar condicionado;
- U = Umidificação;
- MA = Massa Térmica para Aquecimento;
- AS = Aquecimento Solar Passivo;
- AA = Aquecimento Artificial.

Tabela 4.1 – Estratégias de Mitigação Térmica para a Cidade do Rio de Janeiro (% de horas anuais)

CONFORTO					20,8
DESCONFORTO	CALOR	V	56,9	≈64,2	79,2
		RE	0,0114		
		MR	0,321		
		AC	2,84		
		U	0,0		
		V, MR	0,572		
		V, MR, RE	3,4		
		MR, RE	0,183		
	FRIO	MA, AS	14,9	≈15,0	
		AS	0,0458		
		AA	0,0		

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2004, adaptado)

IV.6 – Normatização sobre o Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Em âmbito nacional existe desde 2005 uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – que abrange e define alguns dos temas tratados nestes capítulo[37].

A norma ABNT NBR 15220-3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares e de interesse social – divide o território brasileiro em 8 (oito) zonas bioclimáticas.

[37] No anexo III deste trabalho encontra-se o anteprojeto da NBR na íntegra.

A figura 4.25 mostra as zonas supracitadas, bem como o percentual do território coberto por cada uma.

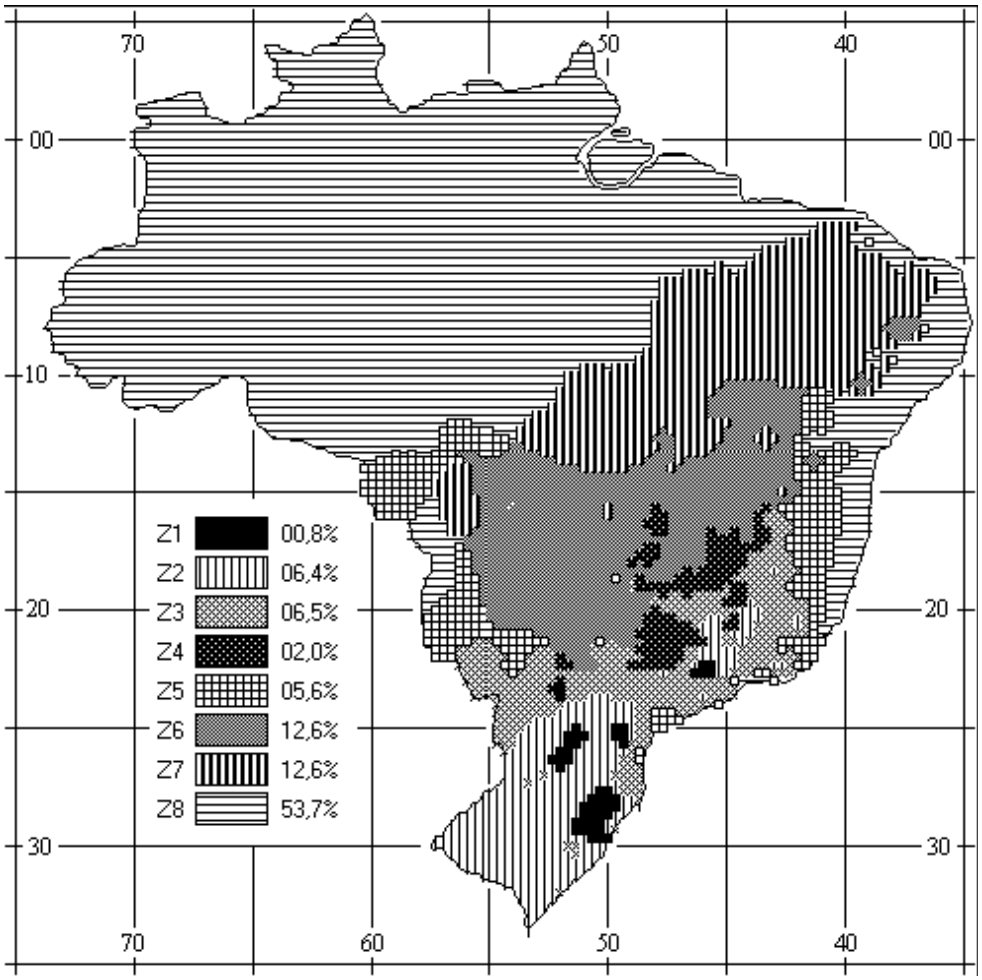


Figura 4.25 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro, segundo a ABNT (Fonte: NBR 15220-3, 2005)

No que tange à cidade do Rio de Janeiro, a classificação pertinente à mesma é Z8 (Zona Bioclimática 8). Esta zona abrange 53,7% do território nacional e englobou 99 dentre as 330 cidades cujos climas foram classificados.

A figura 4.26 destaca a referida zona.

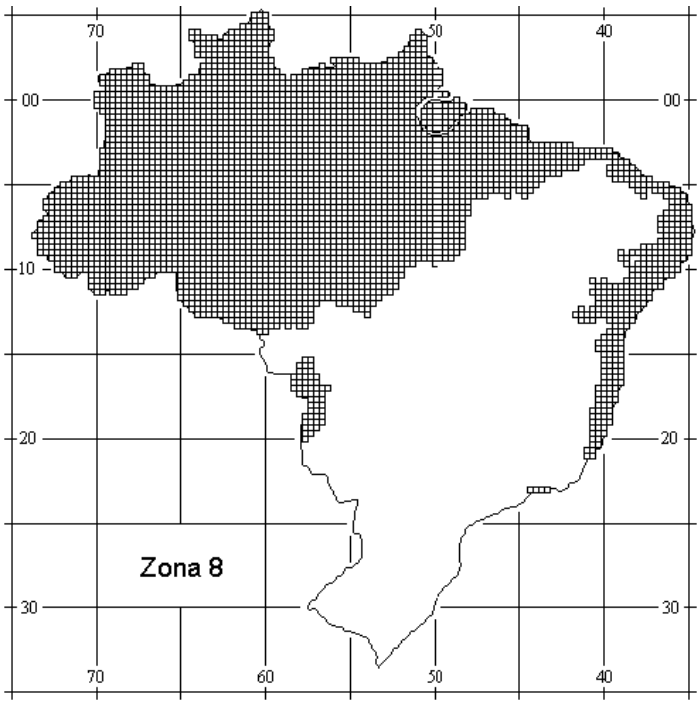


Figura 4.26 – Zona Bioclimática 8
(Fonte: ABNT NBR 15220-3, 2005)

Como diretrizes de projeto, a norma ABNT NBR 15220-3 indica:

- Grandes aberturas para ventilação;
- Sombreamento das aberturas;
- Nas paredes e cobertura, vedação externa leve e refletora;
- Ventilação cruzada permanente;

- Nas horas mais quentes, somente a climatização por ar condicionado será capaz de gerar conforto.

A tabela 4.2 reproduz as estratégias apontadas pela ABNT para a Zona Bioclimática 8 (Z8).

Tabela 4.2 – Estratégias de Condicionamento Térmico para a Zona Bioclimática 8

Estratégia	Detalhamento
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes.Esta estratégia pode ser obtida por meio da renovação do ar interno por ar externo, através da ventilação dos ambientes.
I, J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que, se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

(Fonte: NBR 15220-3, 2005, adaptado)

Como crítica à norma ABNT NBR 15220-3, o autor desta dissertação registra que cidades geograficamente próximas e situadas à mesma altitude receberam classificação bioclimática diferenciada.

Como visto anteriormente, o Rio de Janeiro foi listado como pertencente à zona bioclimática 8 (Z8). A cidade de Niterói, igualmente litorânea e distante menos de 15 km da capital, foi citada na zona bioclimática 5 (Z5).

É no mínimo curiosa esta segregação entre dois municípios tão parecidas climaticamente. Ironicamente, o Rio de Janeiro foi classificado como tendo clima semelhante ao da maioria das cidades amazônicas listadas, tais como Manaus (AM), Belém (PA) e Porto Velho (RO).

Niterói, por sua vez, está agrupada juntamente com municípios situados no interior de alguns estados brasileiros. Por exemplo, as cidades de Governador Valadares (MG), Araçatuba (SP) e São Francisco do Sul (SC) também estão na região denominada Z5 e possuem climas significativamente distintos.

Por fim, os anexos da norma ABNT NBR 15220-3 tratam dos seguintes aspectos:

i) Anexo A: relação das 330 cidades cujos climas foram classificados (com a zona e a respectivas estratégias);

ii) Anexo B: explicação da metodologia utilizada para a classificação do anexo A;

iii) Anexo C: recomendações e diretrizes construtivas para a adequação da edificação ao clima local;

iv) Anexo D: transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas.

CAPÍTULO V – ESTUDO DE CASO

O quinto capítulo versará sobre o estudo de caso desta dissertação. Inicialmente redige-se acerca da localização da Casa Ecológica e descrevem-se os materiais não-convencionais utilizados na referida construção. Em seguida é feita a apresentação técnica do equipamento de aquisição de dados. Por fim, são tecidas considerações a respeito da metodologia adotada neste experimento.

V.1 – A Casa Ecológica do IVIG/CETS/UFRJ

O estudo de caso desta dissertação de mestrado tem como base uma habitação de interesse social, de baixo custo, erguida na Universidade Federal do Rio de Janeiro, especificamente no campus da Ilha do Fundão.

V.1.1 – Financiamento e apoio governamental

Esta residência unifamiliar é denominada "Casa Ecológica" e se baseia em conceitos de sustentabilidade e arquitetura bioclimática. Surgiu através de um convênio entre a UFRJ e o Procel-Edifica (vertente do programa governamental Procel que visa avaliar o potencial de conservação de eletricidade no setor residencial).

Na verdade, a iniciativa do Procel é mais ampla e consta de um aporte pecuniário de cerca de R$3 milhões, para financiar pesquisas em 14 (catorze) laboratórios de 12 (doze) universidades brasileiras.

Os laboratórios financiados pelo Procel-Edifica são os seguintes:

1) Laboratório de Conforto Ambiental – UFRJ;

2) Laboratório de Conservação de Energia e Conforto Ambiental – UFF;

3) Laboratório de Conforto Ambiental – UFPel;

4) Laboratório de Conforto Ambiental – UFMG;

5) Laboratório de Conforto Ambiental – UFRN;

6) Laboratório de Conforto Ambiental – UFMS;

7) Laboratório de Conforto Ambiental – UFAL;

8) Laboratório de Conforto Ambiental – UFRGS;

9) Laboratório de Conforto Ambiental – UNB;

10) Laboratório de Conforto Ambiental – UFSC;

11) Laboratório de Eficiência Energética – UFBA;

12) Laboratório de Eficiência Energética – UFSC;

13) Laboratório de Sistemas Térmicos – PUC-PR;

14) Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis – CETS/UFRJ.

V.1.2 – CETS – Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis

O CETS – Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis – se localiza na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, e faz parte do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG/COPPE/UFRJ).

Desde sua inauguração, no ano de 1999, o IVIG tem se destacado por realizar trabalhos de notória qualidade, em diversas áreas do conhecimento científico.

Composto por equipes multidisciplinares, o IVIG conta atualmente com cerca de 40 (quarenta) pesquisadores distribuídos por 9 (nove) linhas de pesquisa, conforme figura 5.1.

O CETS foi inaugurado em junho de 2006, sendo fruto da consolidação e expansão das diversas linhas de pesquisas do instituto. O complexo arquitetônico possui três edificações, a saber:

i) Industrial – galpão com instalação industrial para a produção e pesquisa de biodiesel;

ii) Escritórios - nova sede do IVIG;

iii) Residencial – habitação de interesse social: casa ecológica.

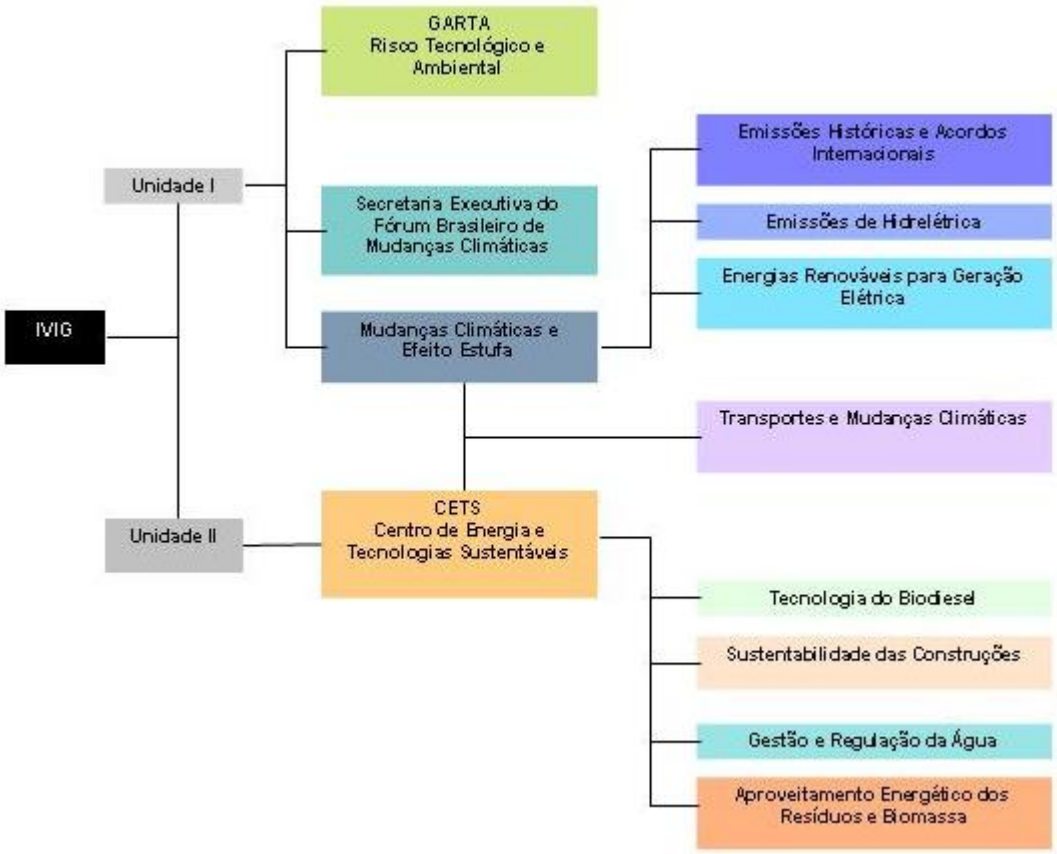


Figura 5.1 – Linhas de Pesquisa existentes no IVIG/COPPE/UFRJ
(Fonte: Elaboração própria)

A fachada principal do CETS surge na figura 5.2. Nesta imagem, o galpão industrial de biodiesel está à esquerda, a nova sede do IVIG está ao centro e a Casa Ecológica à direita (entre duas árvores, destacada por um círculo vermelho).

Figura 5.2 – Fachada frontal do CETS/IVIG/UFRJ
(Fonte: Elaboração própria)

V.1.3 – Localização

Conforme já relatado neste capítulo, a Casa Ecológica é uma das três edificações que compõem o Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis.

Localizada no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro, na Ilha do Fundão, a residência de interesse social possui as seguintes coordenadas espaciais[38]:

- Latitude → 22°51'49.68"S;
- Longitude → 43°13'42.49"W.

O *software* Google Earth fornece a foto de satélite do sítio descrito (figura 5.3). Como mostrado na imagem, o CETS situa-se bem próximo ao Centro de Tecnologia da UFRJ.

[38] Obtidas através do programa computacional Google Earth.

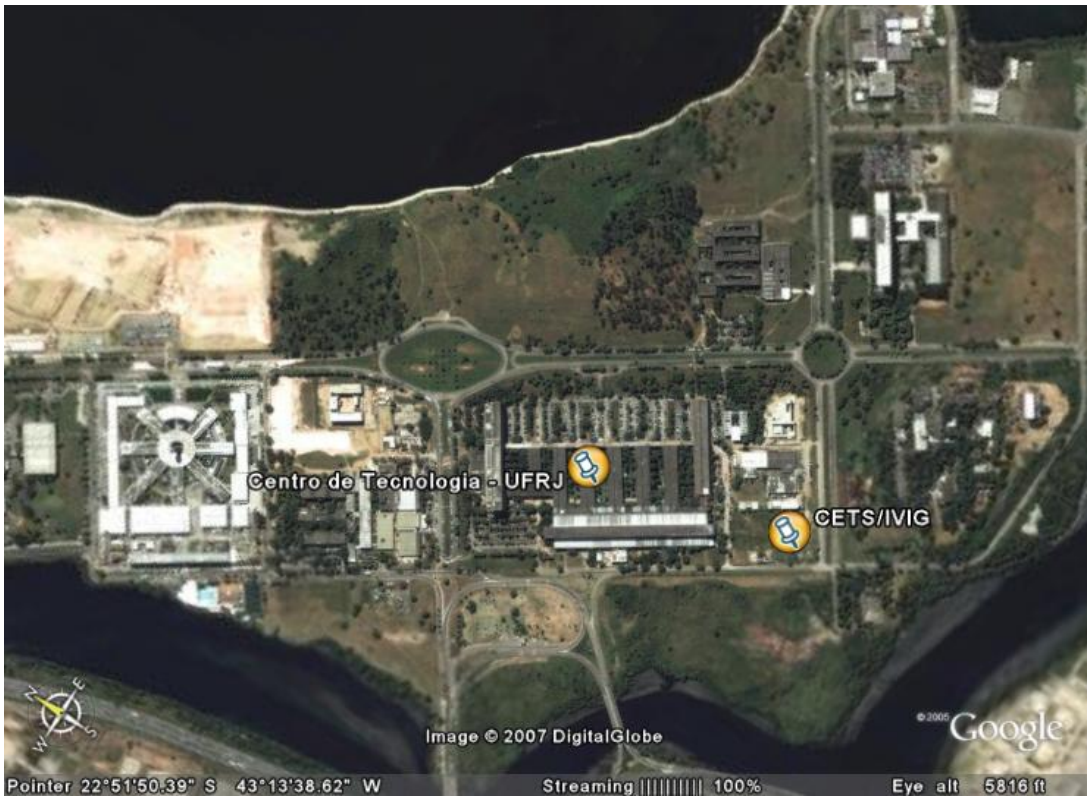


Figura 5.3 – Localização do CETS/IVIG/UFRJ

(Fonte: Elaboração própria)

O clima na cidade do Rio de Janeiro é do tipo "tropical quente e úmido". O índice pluviométrico registrado anualmente é elevado, inclusive no verão, e não há nenhum período climático seco (todas as estações são úmidas).

V.1.4 – Descrição arquitetônica

O estudo de caso desta dissertação, a Casa Ecológica do CETS, é uma residência unifamiliar projetada segundo conceitos de sustentabilidade ambiental.

A construção fez uso de materiais não-convencionais, não-intensivos energeticamente e de menor custo, conforme será detalhado no próximo subitem.

Com 46m² de área construída e 38m² de área útil, a habitação possui um único pavimento, dividido em dois quartos, sala, cozinha e banheiro. A planta baixa da edificação é apresentada na figura 5.4.

Todos os cômodos apresentam aberturas nas paredes de alvenaria para possibilitar a ventilação cruzada (natural). Esta estratégia bioclimática de condicionamento tem efeito significativo na sensação humana de conforto térmico.

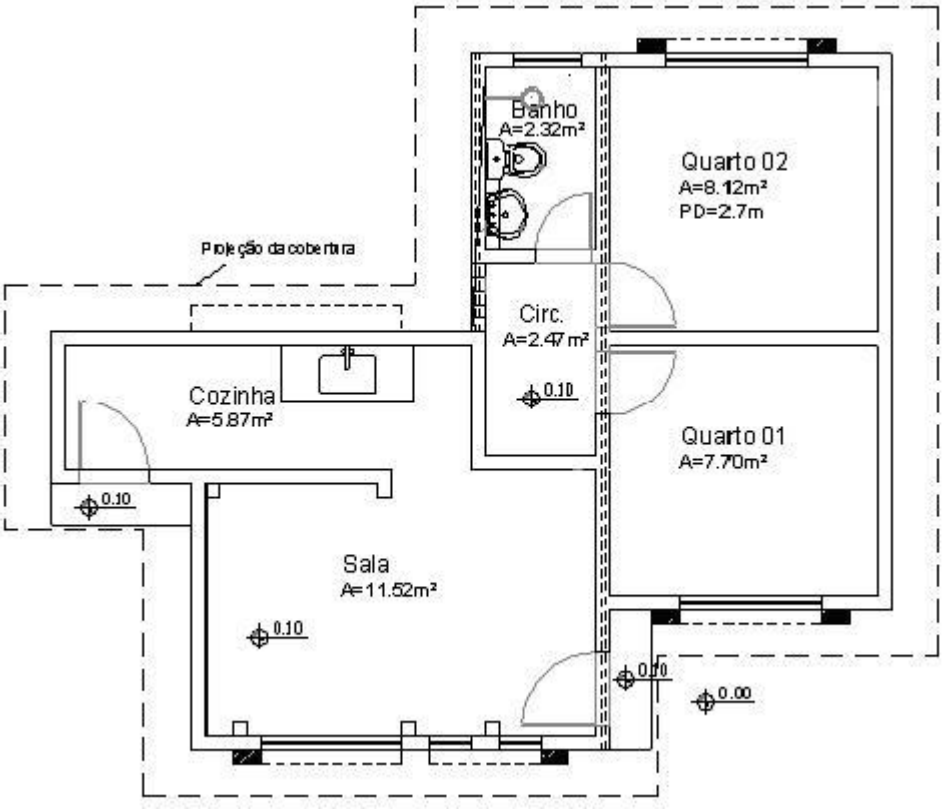


Figura 5.4 – Planta baixa da Casa Ecológica do CETS

(Fonte: Freitas *et al.*, 2005)

V.1.5 – Materiais não-convencionais utilizados na Casa Ecológica

Os materiais usados na construção civil estão classificados em materiais convencionais e não-convencionais. Dentre os convencionais cita-se o aço, o tijolo cozido, a telha de fibro-cimento e o alumínio. Exemplifica-se como não-convencionais o bambu, o tijolo de solo cimento, as telhas ecológicas e o cimento ecológico.

Segundo FREITAS *et al.* (2005), o uso racional de recursos naturais renováveis na construção compreende um dos principais ganhos tecnológicos face à necessidade de implementação de ações de baixo custo e disponibilidade imediata para a superação da crise de energia.

Na construção da Casa Ecológica da UFRJ utilizou-se alguns materiais não-convencionais em substituição parcial aos materiais convencionais. Eis os insumos alternativos adotados:

a) <u>Tijolo Ecológico de Solo Cimento</u>

- Processo de fabricação → no processo de fabricação de tijolos de solo cimento utiliza-se uma prensa hidráulica que processa a mistura solo-cimento e água, resultando em tijolos modulares;

- Assentamento → os tijolos são fabricados com sistema de encaixe macho e fêmea (figura 5.5), dispensando argamassa de assentamento;

Figura 5.5 – Tijolo de solo cimento

(Fonte: Freitas *et al.*, 2005)

- Dimensões: Os tijolos utilizados no projeto do CETS foram produzidos pela fábrica Lapin tijolos nos formatos em L, meio tijolo e série canelada (utilizado para compor as vigas) nas dimensões de 12,5cm X 25,0cm X 6,5cm.

Como vantagens comparativas do uso do tijolo de solo cimento ao invés do tijolo cozido, convencional, cita-se:

i) Elevados ganhos energéticos e ambientais → pelo fato de não haver, neste tijolo alternativo, a etapa de cozimento nos fornos das olarias;

ii) Ausência de argamassa de assentamento → a eliminação deste insumo construtivo representa redução de custos na obra e benefícios ambientais;

iii) Utilização dos furos da peça → toda a tubulação referentes às instalações (eletricidade, telefonia, água e esgoto) deve ser passada por dentro dos furos existentes nos tijolos de solo cimento.Isto reduz o desperdício de material, quando houver necessidade de alguma obra, pois torna-se mais fácil saber com precisão a direção na qual passa a tubulação desejada.

b) Telha de Fibra Vegetal

O aproveitamento do lixo pode resultar em muitos benefícios energéticos e ambientais. Um deles é a obtenção de compósitos utilizando fibras do coco verde, celulose reciclada e aglutinantes naturais.

- Processo de fabricação → por métodos manuais faz-se a separação das fibras, que são dispostas sobre telas onde já foram colocados os compósitos de celulose reciclados (que juntamente com as fibras serão impregnados com resina, asfalto ou líquido da castanha de caju para ser feita uma prensagem);

- Assentamento → a fixação da telha de fibra de coco é similar à da telha onduline. Para maiores detalhes, verificar instruções detalhadas em FREITAS *et al.* (2005).

Como vantagens destacam-se os ganhos energéticos e ambientais (devido ao fato de se reaproveitar o resíduo como para obtenção de sua fibra), além da maior resistência e da maior durabilidade do material.

A figura 5.6 documenta a telha de fibra de coco produzida pelo IVIG e adotada na Casa Ecológica do CETS.

Figura 5.6 – Telha de fibra de coco

(Fonte: Freitas *et al.*, 2005)

c) Cimento Ecológico

Ainda segundo FREITAS *et al.* (2005), a utilização deste material decorre da necessidade de reduzir os níveis de emissão de CO_2, o consumo de energia e o uso de matérias-primas naturais; aliados à necessidade de se aumentar a durabilidade das estruturas de concreto.

- Processo de fabricação → o resíduo cerâmico da produção de tijolos furados é moído até que fique com uma granulometria que atenda aos requisitos da norma brasileira para uso como material pozolânico[39] no concreto.

[39] ABNT NBR 12653/1992 – Materiais Pozolânicos.

Para produção de concreto de baixo impacto ambiental, é feita uma substituição de 20% a 40% do cimento Portland comum pelo resíduo cerâmico.

São dois os benefícios da adoção deste material alternativo:

i) Ganhos energéticos e ambientais, visto que a única demanda energética para o uso do resíduo é a sua própria moagem e mistura com o cimento gerando um produto com baixo impacto ambiental;

ii) Maior resistência mecânica do concretos contendo tijolo moído em comparação ao concreto convencional.

d) Bambu

Segundo o sítio da internet www.bambubrasileiro.org, acessado em 03/03/2007, existem atualmente mais de 1100 espécies de bambu, divididas em cerca de 90 gêneros.

Dependendo do tipo, o bambu pode ser encontrado desde o nível do mar até 4800m de altitude. Esta planta tolera ampla faixa de temperaturas, desde o calor tropical até o frio intenso, inferior a 0°C.

No Brasil a espécie mais comum é a *Bambusa vulgaris "vittata"*, figura 5.7, também conhecida como "bambu brasileiro" ou "bambu imperial", entre outros nomes.

Figura 5.7 – *Bambusa vulgaris "vittata"* (bambu brasileiro)
(Fonte:www.tropicalbamboo.org, acessado em 03/03/2007)

São três os benefícios da adoção deste material alternativo:

O bambu é a planta que cresce mais rápido em toda a natureza (1/3 mais rápido que a árvore de crescimento mais veloz). Isto possibilita sua utilização intensiva, haja vista que a taxa de renovação natural é favorável;

i) Ganhos energéticos e ambientais, pois é muito eficiente na fixação de CO_2 e na produção de oxigênio;

ii) Sendo um compósito natural, conjuga as qualidades de resistência e flexibilidade.

Todavia há também algumas precauções quando se deseja empregar este material não-convencional:

i) O bambu nacional não é tão flexível e resistente como as variantes asiáticas. Este fato limita um pouco seu uso, principalmente em prédios com muitos pavimentos ou em estruturas com armações que exijam curvatura do bambu;

ii) O bambu precisa passar por um tratamento prévio, antes de ser colocado na edificação, a fim de aumentar sua durabilidade. Isto evita que a exposição ao sol e à chuva, bem como a ação de microorganismos, danifiquem o mesmo;

iii) Furos devem ser feitos com extremo cuidado, para evitar que a referida planta rache longitudinalmente, onde é mais frágil.

V.1.6 –Redução das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa

Em recente estudo interno, uma equipe de pesquisadores do IVIG calculou o ganho ambiental decorrente da adoção de materiais não energo-intensivos na construção do CETS.

As metas consistiam em contabilizar a redução das emissões de gases de efeito estufa (em toneladas de CO_2 equivalente) e avaliar a viabilidade de um projeto deste porte ser classificado como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e, conseqüentemente, estar apto a comercializar créditos de carbono.

A abordagem detalhou as emissões provenientes de cada material empregado na obra (aço, cimento ecológico, cerâmica, tijolo de solo-cimento, entre outros).

Além disso, estabeleceu-se dois cenários como linha de base. O primeiro (denominado como "linha de base – caso 1" nas tabela 5.1 a 5.3) considerou que a cobertura foi feita com telhas de fibrocimento, enquanto que o material do segundo cenário (denominado como "linha de base – caso 2" nas tabelas 5.1 a 5.3) foi telha de cerâmica.

A tabela 5.1 resume as informações acerca das emissões totais (em toneladas de CO_2), segregando por edificação.

Tabela 5.1 – Emissões atmosféricas totais [t CO_2]

	Casa Ecológica	Galpão Industrial	Prédio do IVIG	Total
Projeto	1,486	4,650	6,009	12,145
Linha de base – caso 1	4,045	13,433	15,594	33,072
Linha de base – caso 2	3,735	12,210	14,750	30,695

(Fonte: equipe do IVIG, 2006, adaptado)

Considerando-se a área construída de cada um dos três prédios, é possível obter-se um resultado fidedigno, adequado para qualquer comparação com construções similares (de mesmo uso final). A tabela 5.2 detalha a análise neste sentido.

Tabela 5.2 – Emissões atmosféricas em relação à área construída [t CO_2/m² construído]

	Casa Ecológica	Galpão Industrial	Prédio do IVIG
Projeto	0,0324	0,0234	0,0278
Linha de base – caso 1	0,0881	0,0677	0,0720
Linha de base – caso 2	0,0814	0,0615	0,0681

(Fonte: equipe do IVIG, 2006, adaptado)

A partir da última tabela torna-se imediato o cálculo das emissões evitadas. Trata-se da diferença aritmética entre as emissões de projeto e aquelas correspondentes a cada linha de base. Esta análise é feita na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Emissões atmosféricas evitadas em relação à área construída [t CO_2/m² construído]

	Casa Ecológica	Galpão Industrial	Prédio do IVIG
Emissões evitadas – caso 1	0,0558	0,0442	0,0443
Emissões evitadas – caso 2	0,0490	0,0381	0,0404
% de emissões evitadas – caso 1	63,34%	65,29%	61,53%
% de emissões evitadas – caso 2	60,20%	61,95%	59,32%

(Fonte: equipe do IVIG, 2006, adaptado)

Verificando os benefícios ambientais apenas para a Casa Ecológica, cerne desta dissertação, as tabelas 5.1 a 5.3 demonstram com clareza os ganhos atmosféricos.

A implementação de um projeto com materiais não-convencionais representou uma redução de mais de 60% nas emissões atmosféricas, em comparação com ambas as linhas de base.

Ademais, no estudo determina-se que a redução de emissões do projeto CETS é de aproximadamente 20tCO_2, para ambos cenários convencionais, o que poderia ser entendido como pouco atrativo.

Todavia, a análise deve ser feita em termos percentuais, ao invés de valores absolutos. Neste caso, a redução de cerca de 60% nas emissões atmosféricas torna os materiais alternativos ainda mais interessantes.

A figura 5.8 concatena todos os dados acerca das emissões atmosféricas do projeto CETS, discutidas nas tabelas anteriores.

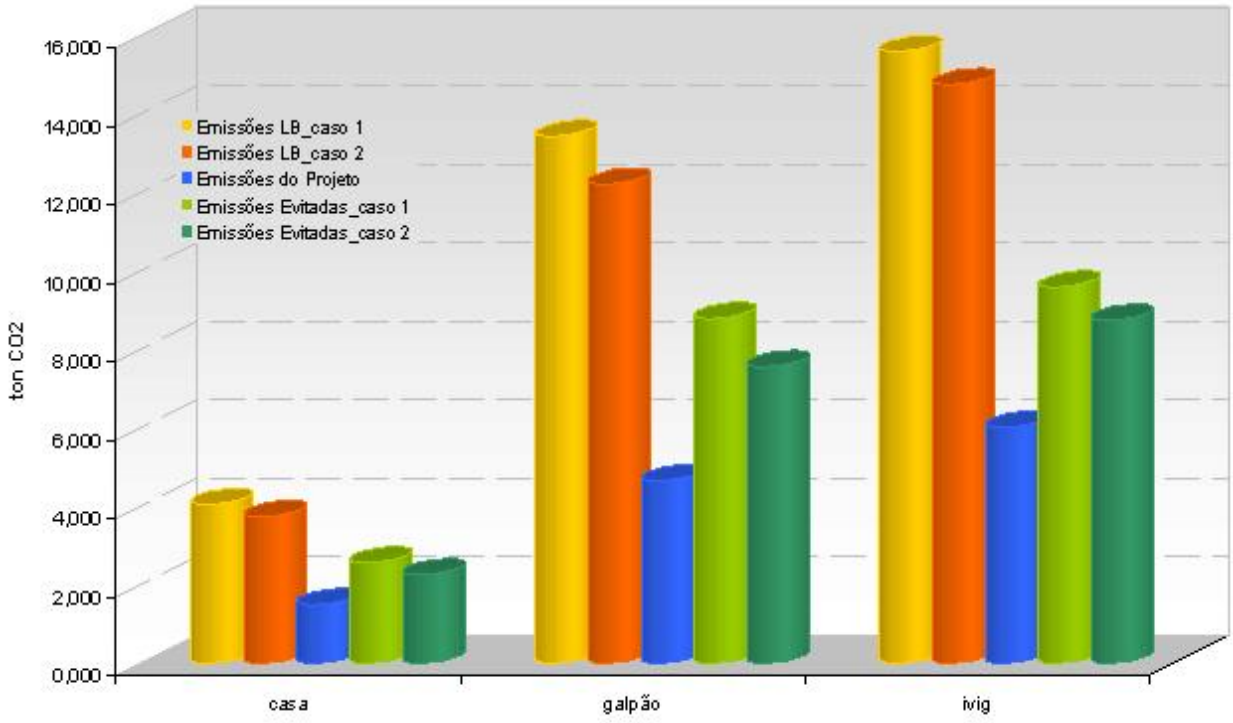


Figura 5.8 – Emissões atmosféricas totais do projeto CETS
(Fonte: equipe do IVIG, 2006)

Por fim, concluiu-se que o CETS estaria enquadrado como projeto de MDL de pequena escala (categoria com emissões inferiores a 15ktCO_2). Entretanto, os custos elevados do processo de certificação dos créditos de carbono inviabilizariam economicamente esta

possibilidade de receita, sendo possível apenas para um empreendimento imobiliário de maior porte.

V.2 – Confortímetro Sensu

O equipamento de aquisição de dados utilizado no experimento de avaliação do conforto térmico da Casa Ecológica foi o Confortímetro Sensu.

Fabricado pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina (LMPT/UFSC), o aparelho funciona de acordo com a teoria de Fanger. Ou seja, ajustam-se os parâmetros individuais e medem-se as variáveis ambientais.

O sistema é baseado em um pequeno micro computador PC, que também funciona como "datalogger". Há dois conjuntos iguais de sensores que são conectados ao PC, que registra os dados medidos em arquivos formato "txt".

A figura 5.9 apresenta o confortímetro Sensu com um dos conjuntos de sensores (de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e iluminamento), montados no tripé.

Neste ponto vale ressaltar que o luxímetro (sensor de iluminamento), apesar de nada influenciar no cálculo dos parâmetros PMV e PPD de Fanger, consta do equipamento para possibilitar também a análise de conforto lumínico do ambiente.

Figura 5.9 – Confortímetro Sensu

(Fonte: LMPT/UFSC, 2003)

Quando conectado a um monitor, um mouse e um teclado, o confortímetro funciona como um computador qualquer. Todavia, devido ao fato de possuir pouca memória e ter um processador pouco possante, sua aplicação torna-se restrita para o uso cotidiano.

V.2.1 – *Softwares* do aparelho

Acompanham o confortímetro três *softwares* para monitoração térmica e tratamento de dados:

- Sensu-Aquis → programa executável através do qual é realizada a aquisição de dados. Em sua janela de apresentação, pode-se acompanhar em tempo real o comportamento de cada variável, bem como iniciar ou interromper a medição, em qualquer instante;

- Sensu-Visual → macro do Microsoft Excel que elabora gráficos a partir dos arquivos das variáveis ambientais medidas;

- Sensu-PMV → macro do Microsoft Excel que calcula os índices de desconforto PMV e PPD para análise final das informações coletadas.

V.2.2 – Incertezas dos sensores

A tabela 5.4 lista os detalhes técnicos dos 5 (cinco) sensores que fazem parte do equipamento Sensu: termômetro de bulbo seco, higrômetro, anemômetro, termômetro de globo e luxímetro.

Tabela 5.4 – Incertezas de Medição no Confortímetro Sensu

Sensor	Faixa de medição	Incerteza
Termômetro de bulbo seco	0°C a 60°C	0,2K
Higrômetro (umidade relativa)	5% a 98%	3%
Anemômetro (velocidade do ar)	0m/s a 3m/s	3%
Termômetro de globo	0°C a 60°C	0,2K
Luxímetro	Não especificado	5%

(Fonte: LMPT/UFSC, 2003)

V.2.3 – Medições iniciais

Logo após a inauguração do CETS, o confortímetro Sensu foi montado dentro da Casa Ecológica. Vale ressaltar que nesta época não havia nenhum posto de trabalho dentro da residência de baixo custo.

A idéia era testar o aparelho e gerar resultados preliminares, ainda sem a preocupação de registrar a sensação individual em entrevistas formais (eventualmente algum voluntário entrava na Casa Ecológica e declarava informalmente sua sensação térmica).

Durante os meses de julho a outubro de 2006 o equipamento ficou instalado na sala da habitação popular, conforme evidencia a figura 5.10.

Figura 5.10 – Primeiras medições na Casa Ecológica
(Fonte: Elaboração própria)

Como já mencionado, o ambiente não foi originalmente projetado para ocupação permanente. Pelo contrário, a idéia era gerar o máximo de conhecimento acerca do comportamento térmico dos materiais não-convencionais empregados na obra, antes de autorizar-se a permanência de pessoas em tempo integral.

Entretanto, face à demanda crescente por espaço no IVIG, o quarto 1 da planta baixa (figura 5.4) foi transformado em escritório para uma secretária da COPPE/UFRJ, a partir de agosto de 2006.

A partir desta necessidade imediata, passou a ser observada diariamente a aceitabilidade térmica desta funcionária em relação ao ambiente por ela ocupado.

É válido destacar que nos meses de agosto e setembro de 2006, o clima foi predominantemente de dias bastante ensolarados, quentes e secos. Dentro da Casa Ecológica a sensação era de muito calor, comumente causando sudorese.

Esta combinação nefasta ao conforto provocou acintosa intolerância térmica em relação à habitação social, por parte da trabalhadora. Por isso, mudou-se o posto de trabalho dela para dentro do prédio do IVIG, climatizado artificialmente, assim que possível.

Neste ínterim, continuou-se a levar pessoas para conhecer a residência unifamiliar e opinar sobre o conforto térmico da mesma. Este procedimento só foi interrompido em meados do mês de outubro, quando os primeiros resultados já eram conhecidos e suspeitava-se que alguns sensores não registravam leituras com a precisão desejada.

V.2.4 – Calibração

Ao longo do mês de outubro de 2006 foi estabelecido contato com o fabricante do confortímetro (LMPT/UFSC), na pessoa do professor Saulo Güths, no sentido de calibrar-se todos os sensores.

Após a aprovação do orçamento fornecido, iniciou-se todos os trâmites burocráticos para envio do equipamento para a cidade de Florianópolis, em Santa Catarina.

Finalmente em 10/11/2006 o aparelho foi enviado, chegando ao destinatário uma semana depois. Na ocasião, o prazo previsto para o serviço era de 30 (trinta) dias.

Infelizmente, devido a pequenos problemas técnicos, a calibração não foi feita no prazo estipulado inicialmente, atrasando em 3 (três) dias. O luxímetro, que antes era apenas um sensor qualitativo de luminosidade, teve sua calibração atrasada (o que consumiu mais tempo que o planejado anteriormente).

Adicionado a isto, acredita-se que, com a proximidade do período de Natal, a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos tenha recebido uma quantidade extraordinária de encomendas e correspondências, o que geraria atraso nas entregas.

Finalmente, no dia 03/01/2007 o confortímetro Sensu retornou ao CETS, sendo imediatamente instalado na Casa Ecológica para início do experimento desta dissertação.

Conforme será descrito em detalhes no próximo item, o equipamento foi então posicionado nos dois quartos da Casa Ecológica. Na sala montou-se uma mesa, com o PC, o teclado e o monitor, para servir de central de monitoramento em tempo real (vide figura 5.11).

Isto tornou possível acompanhar ambos os ambientes à distância, minimizando, portanto; a probabilidade de se causar interferência nas medições diárias.

Figura 5.11 – Monitoramento em tempo real do experimento térmico
(Fonte: Elaboração própria)

A figura 5.12 mostra a tela de apresentação do *software* Sensu-Aquis, já citado no subitem 5.2.1. Nesta são apresentadas simultaneamente as informações coletadas em cada instrumento, em ambos ambientes térmicos estudados.

Na parte inferior da imagem, à esquerda, ajusta-se os valores dos índices de vestimenta e metabolismo do entrevistado (estes valores são calculados a partir do preenchimento do questionário).

Ainda na parte inferior da figura, desta vez à direita, há um botão para iniciar e encerrar a gravação dos dados no arquivo “txt”. Abaixo deste, há a opção de se ajustar o tempo entre duas medições consecutivas.

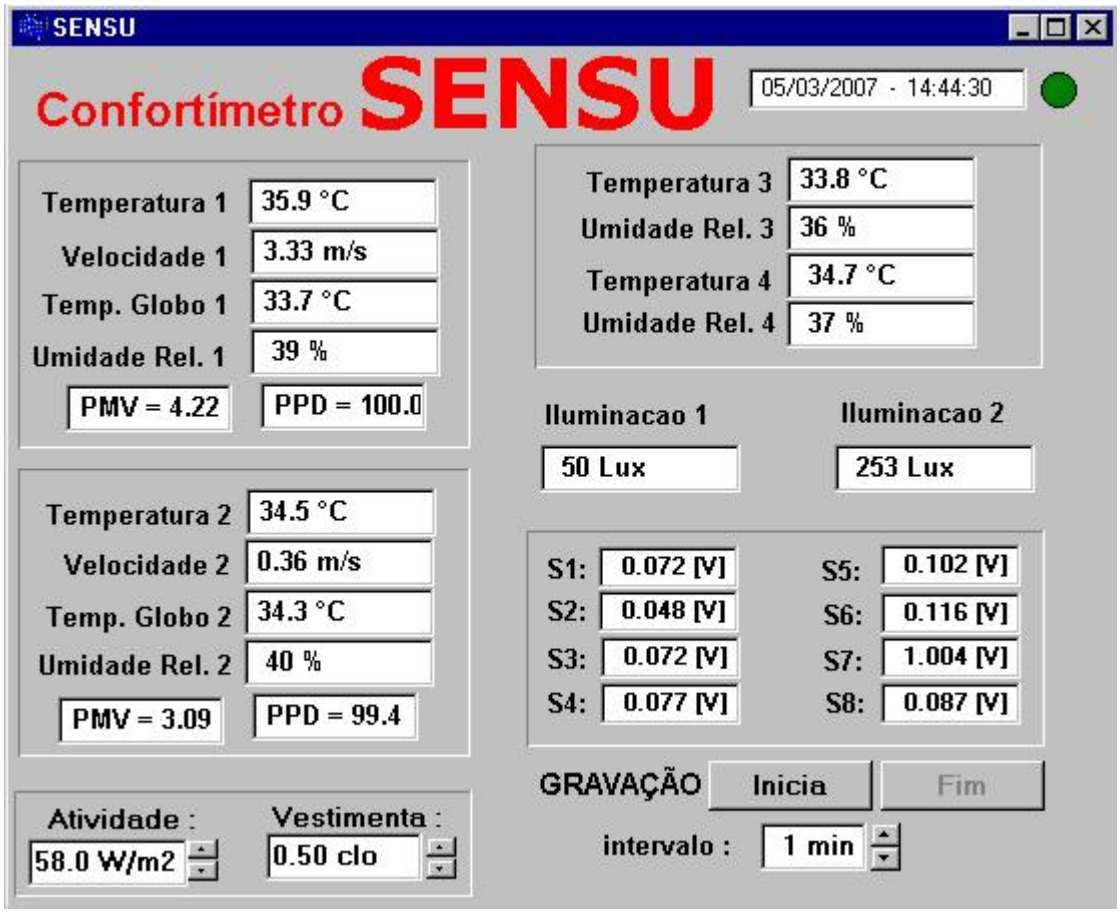


Figura 5.12 – Tela de apresentação do Confortímetro Sensu

(Fonte: Elaboração própria)

Na coluna da direita, ao centro, aparecem as leituras dos luxímetros, na unidade lux. Acima destas há os campos de temperatura e umidade relativa, índices 3 e 4. O índice ímpar está no ambiente 1, enquanto que o índice par faz parte do conjunto de sensores do ambiente 2.

Por fim, na coluna da esquerda, as leituras com índice 1 correspondem ao ambiente 1, ao passo que o quarto 2 informa os valores de índice 2.

V.3 – Metodologia da pesquisa

O experimento de conforto térmico na Casa Ecológica consistiu em comparar-se a sensação térmica de um indivíduo, declarada através de um questionário, com os índices de Fanger (PMV, PPD) calculados pelo confortímetro.

V.3.1 – Duração do experimento

A avaliação térmica da Casa Ecológica do CETS foi feita durante o verão, que geralmente é a estação mais quente do ano. Por hipótese, espera-se que nos outros meses do ano a temperatura se mantenha mais amena que no trimestre avaliado.

Também assumiu-se que, caso uma pessoa tolerasse permanecer na residência popular durante o dia; conseqüentemente também agüentaria ficar na mesma na parte da noite, haja vista que a edificação esfria no período noturno.

Esta última consideração levou em conta a impossibilidade de haver gente sendo entrevistada de noite, na Ilha do Fundão. Por questão de cautela e bom senso, preferiu-se garantir a segurança das pessoas envolvidas no projeto, realizando apenas entrevistas diurnas.

Neste caso, não há comprometimento da metodologia. Validando-se as respostas diurnas, entende-se que a sensação de conforto noturno poderia ser estimada apenas pelos gráficos experimentais.

Com isso, a pesquisa foi dividida ao longo de 10 (dez) semanas[40], totalizando 50 (cinqüenta) dias úteis. O primeiro dia de entrevistas foi 08/01/2007 e o derradeiro foi 23/03/2007.

Em um mesmo dia, havia 3 (três) horários de medição[41]: às 9h, às 12h e às 15h. O primeiro e o último foram definidos apenas para se confrontar duas posições solares simétricas em comparação com o popular "sol à pino" (12h).

V.3.2 – Tamanho da amostra

No total houve exatas 302 (trezentas e duas) entrevistas, considerando-se que em cada visita à casa o voluntário respondia duas vezes, sendo uma em cada quarto.

Ou seja, por dia havia o preenchimento de 6 (seis) avaliações. Por semana coletava-se 30 (trinta) opiniões, totalizando cerca de trezentas entrevistas previstas.

---

[40] Houve folga apenas pra semana de carnaval, mais precisamente entre a 6ª e a 7ª semanas, exclusivamente por falta de pessoas para responder os questionários nestes dias;

[41] Nas seis semanas iniciais, ainda havia horário de verão, de forma que a medição se dava às 10h, às 13h e às 16h. A partir da 7ª semana, com o encerramento do horário de verão, adiantou-se as entrevistas em uma hora para poder haver equivalência em termos de posicionamento solar celeste.

V.3.3 – Escolha da amostra

Por se tratar de uma pesquisa acadêmica, sem remuneração para os entrevistados, contou-se com a boa vontade e colaboração de 25 (vinte e cinco) pessoas, que se dispuseram a colaborar gentilmente com o autor desta dissertação.

Não houve qualquer forma de definição prévia de quem iria responder a pesquisa. Todos os dias, em cada horário, verificava-se quem poderia interromper suas tarefas e ir até a Casa Ecológica naquele momento.

Na verdade, a teoria de Fanger permite que se utilize apenas um indivíduo para responder todos os dias, nos três horários. Entretanto, optou-se por não seguir esta possibilidade para evitar que uma única pessoa ficasse sobrecarregada e, conseqüentemente, estressada.

Por sinal, vale frisar que nenhum dos colaboradores respondeu mais do que 10% do total (trinta vezes). Esta opção buscou minimizar distorções desnecessárias na amostra.

Ou seja, para que o resultado final refletisse a aceitabilidade térmica do brasileiro, foi necessário limitar um patamar máximo de visitas para um único cidadão.

Ao mesmo tempo, buscou-se levar pessoas de diversas idades, alturas e pesos. A proposta era tentar diversificar as possibilidades de resposta e, assim, testar a própria pesquisa.

Como será mostrado no próximo capítulo, a variedade da amostra foi um dos trunfos para se entender como duas pessoas que vivem em uma mesma região climática podem ter respostas tão diferentes a um mesmo ambiente térmico.

V.3.4 – Descrição do procedimento experimental

Após entrar na Casa Ecológica o colaborador fica na sala enquanto seu corpo sofre um processo de adaptação térmica. Esta estratégia é recomendada pela literatura e visa aclimatar o cidadão ao ambiente.

Em suma, esta tática serve para evitar que a pesquisa seja respondida durante o período de transiente térmico corporal. Ao atingir o regime permanente, o corpo humano está em equilíbrio térmico e a observação de conforto pode ser iniciada.

O período de adaptação climática ao ambiente depende exclusivamente da situação térmica à qual o voluntário estava submetido antes de adentrar a residência popular.

Caso estivesse em um ambiente sem climatização artificial, a literatura orienta que não haveria transiente térmico significativo. Portanto, neste caso o período de adaptação deve ser entre 3 (três) e 5 (cinco) minutos.

No entanto, caso a pessoa estivesse anteriormente em um recinto com ar-condicionado, a diferença térmica seria expressiva; de modo que torna-se necessária uma adaptação de 10 (dez) minutos, no mínimo, antes de se responder ao questionário.

Durante o período de estabilização térmica, iniciava-se o preenchimento do questionário proposto pelas normas internacionais[42, 43] ISO 9.920/95 e ISO 10.551/95.

A primeira página do referido formulário[44] contem campos para o preenchimento de dados pessoais (idade, altura, sexo e peso), além de uma lista de itens de vestuário para que o colaborador marque o que estiver vestindo.

Os dados de natureza pessoal servirão como subsídio para análises estatísticas no final do processo experimental, enquanto que a somatória dos índices de resistência térmica de cada roupa resultará no parâmetro individual de vestimenta.

O passo seguinte é ajustar no confortímetro o valor das variáveis individuais (vestimenta e metabolismo). A primeira depende de como o voluntário está vestido naquele determinado momento, ao passo que a segunda é fixa para todos.

Isto ocorre porque todas as pessoas, sem exceção, são submetidas a uma mesma atividade metabólica: ficar sentado em uma cadeira, relaxado.

---

[42] ISO 9.920/95 – Ergonomia de ambientes térmicos – Estimativa de isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje de roupas;
[43] ISO 10.551/95 – Ergonomia de ambientes térmicos – Verificação da influência do ambiente térmico usando escalas subjetivas de julgamento;
[44] O questionário da ISO 10.551/95, utilizado nesta pesquisa, está disponível no anexo IV desta dissertação.

Esta decisão técnica baseou-se no fato de que fixando um parâmetro seria mais fácil analisar a influência dos demais sobre a sensação humana de conforto térmico.

Neste caso, a única opção viável era determinar um metabolismo comum a todos. Seria impossível definir que todos os entrevistados se vestissem da mesma maneira, todos os dias, durante três meses.

Findo o momento de ajuste de parâmetros no equipamento, o entrevistado é encaminhado ao ambiente 2 (assim definido por ser o quarto 02 na planta baixa da figura 5.4).

O cidadão permanece lá em repouso por três minutos, até que seu corpo entre em regime permanente com o ambiente. Enquanto isso, lê as cinco perguntas da segunda parte do questionário, sobre sensação térmica naquele instante, preferência por outra situação, aceitabilidade térmica e tolerância ao local.

Após este breve período de repouso e observação, a pessoa é autorizada a responder o formulário, revelando sua opinião acerca daquele espaço físico.

Simultaneamente, o autor desta dissertação de mestrado anota as informações fornecidas em tempo real pelos sensores, para posterior análise comparativa.

Em seguida, o voluntário se dirige ao ambiente 1 (quarto 01) e espera por mais três minutos antes de responder as mesmas perguntas. Da mesma forma, o autor repete o procedimento anterior e copia as leituras instrumentais para checagem técnica.

Depois disto a entrevista é encerrada e o colaborador retorna para a sala da habitação popular. Neste momento, conversa-se acerca do que foi percebido e registrado em cada quarto, bem como sobre a expectativa que o entrevistado tinha antes de adentrar os ambientes. Por fim, ambos saem da residência.

CAPÍTULO VI – TRATAMENTO DE DADOS EXPERIMENTAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sexto capítulo analisa os dados obtidos no experimento térmico da Casa Ecológica do CETS. Inicialmente avaliam-se o resultado final e a influência de cada variável do modelo de Fanger no desempenho da edificação, no que tange ao conforto climático. Ademais, propõem-se alternativas construtivas e modificações pós-ocupacionais para a mitigação do desconforto ambiental. Na seqüência, são feitas sugestões para trabalhos futuros e os comentários finais desta dissertação.

VI.1 – Análise Estatística da Amostra

Conforme já relatado no capítulo anterior, foram entrevistadas 25 (vinte e cinco) pessoas, ao longo de 10 (dez) semanas, totalizando 302 (trezentas e duas) entrevistas.

A tabela 6.1 apresenta dados pessoais dos entrevistados[45]: idade, altura, peso, sexo e índice de massa corporal (IMC). Além disto, calcula-se a participação absoluta e relativa de cada indivíduo no experimento deste trabalho.

[45] Conforme previamente acordado com os entrevistados, o anonimato dos mesmos será mantido neste capítulo, a fim de preservar sua identidade, bem como respeitar as percepções térmicas declaradas em questionário;

Neste ponto cabe a ressalva de que o autor desta dissertação de mestrado optou por não ter acesso algum à listagem dos nomes correspondentes ao número de identificação de cada colaborador[46].

Quando se realizou a análise dos questionários solicitou-se a colaboração de terceiros que não haviam participado do experimento, a fim de auxiliar na elaboração da tabela 6.1.

Para evitar a visualização dos questionários, a contabilização da participação relativa de cada entrevistado também se deu através do auxílio de pessoas isentas, fidedignas e sem envolvimento algum com a pesquisa em curso.

Este procedimento pode parecer deveras rigoroso e desnecessário tecnicamente, mas trata-se apenas de uma forma de assegurar a lisura e a confiabilidade do processo de análise de dados.

Nos próximos subitens é realizada a análise estatística das informações listadas na tabela 6.1. Apresentam-se aspectos qualitativos e quantitativos, tais como: gráficos, médias, desvios padrão e histogramas, entre outros[47].

---

[46] Foram disponibilizados ao autor apenas os dados pessoais de cada cidadão, sem revelar seus nomes, para possibilitar o preenchimento da tabela citada;

[47] No anexo V disponibiliza-se os dados experimentais das 302 (trezentas e duas) entrevistas, consolidados em termos dos parâmetros de maior relevância (índices PMV e PPD de Fanger, além de aceitabilidade e tolerância térmica).

Tabela 6.1 – Consolidação de dados dos entrevistados

Número de identificação na pesquisa	Idade	Altura [m]	Peso [kg]	Sexo [M/F]	IMC	Número absoluto de participações	Participação relativa à amostra
001	20	1,75	69	M	22,53	20	6,62%
002	25	1,74	68	M	22,46	14	4,64%
003	25	1,70	57	F	19,72	18	5,96%
004	29	1,76	63	M	20,34	10	3,31%
005	16	1,75	76	M	24,82	28	9,27%
006	20	1,75	68	M	22,20	26	8,61%
007	16	1,70	73	F	25,26	24	7,95%
008	51	1,57	58	F	23,53	24	7,95%
009	26	1,75	61	M	19,92	26	8,61%
010	25	1,86	90	M	26,01	8	2,65%
011	29	1,57	48	F	19,47	24	7,95%
012	25	1,83	103	M	30,76	4	1,32%
013	29	1,90	85	M	23,55	4	1,32%
014	40	1,60	64	F	25,00	4	1,32%
015	25	1,87	95	M	27,17	6	1,99%
016	53	1,68	97	M	34,37	2	0,66%
017	30	1,60	56	F	21,88	8	2,65%
018	29	1,75	68	M	22,20	6	1,99%
019	26	1,77	74	M	23,62	6	1,99%
020	45	1,75	92	M	30,04	24	7,95%
021	23	1,67	51	F	18,29	4	1,32%
022	27	1,76	76	M	24,54	2	0,66%
023	23	1,66	60	F	21,77	6	1,99%
024	21	1,83	76	M	22,69	2	0,66%
025	29	1,79	87	M	27,15	2	0,66%

(Fonte: elaboração própria)

VI.1.1 – Idade dos Entrevistados

A tabela 6.2 correlaciona a idade dos entrevistados com o percentual de participação na amostra. A discretização da informação facilita a percepção do perfil etário dos voluntários.

Tabela 6.2 – Perfil etário da amostra

Idade [anos]	Participação na amostra
16	17,22%
20	15,23%
21	0,66%
23	3,31%
25	16,56%
26	10,60%
27	0,66%
29	15,23%
30	2,65%
40	1,32%
45	7,95%
51	7,95%
53	0,66%

(Fonte: elaboração própria)

Na figura 6.1 apresenta-se o histograma etário da amostra. O intervalo de cada faixa (eixo horizontal) é 5 (cinco) anos enquanto

que o eixo vertical indica o número absoluto de ocorrências em cada patamar.

A média de idade dos entrevistados é 27,5 anos e o desvio padrão[48] é 10,442. A mediana[49] é 25 e a moda[50] é 16.

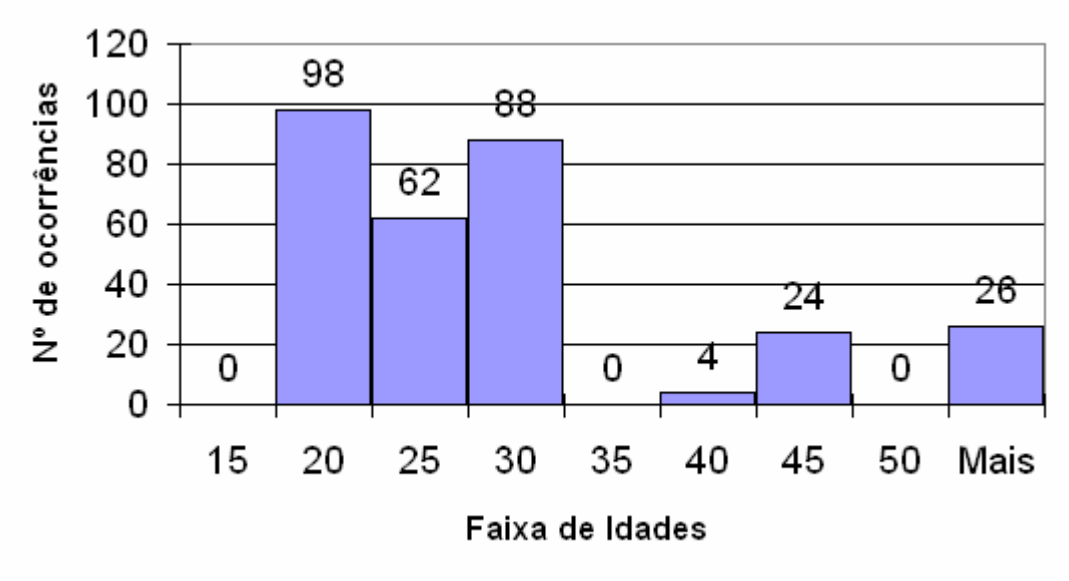


Figura 6.1 – Histograma etário da amostra

(Fonte: elaboração própria)

[48] O desvio padrão é um indicativo do grau de dispersão de uma amostra. Quanto maior for, maior é a dispersão da amostra. Se o desvio for nulo, então todos os dados são iguais;

[49] A mediana é um número que caracteriza as observações de uma determinada variável, de tal forma que separa a metade inferior da amostra da metade superior. Ou seja, metade da população terá valores inferiores ou iguais à mediana e metade da população terá valores superiores ou iguais à mediana;

[50] A moda é o valor que detém o maior número de observações em uma amostra numérica, ou seja, o valor ou valores mais freqüentes. Ao contrário da mediana e média, a moda não é necessariamente única.

A partir do histograma acima é possível visualizar que cerca de 80% das entrevistas foram realizadas com pessoas na faixa compreendida entre 16 (dezesseis) e 30 (trinta) anos.

Curiosamente, na faixa entre 31 (trinta e um) e 50 (cinqüenta) anos há pouco mais de 9% dos questionários respondidos. Isto corrobora a afirmação de que o perfil da amostra é jovem.

VI.1.2 – Altura dos Entrevistados

A média de altura dos colaboradores é 1,71m e o desvio padrão é 0,081. Tanto a mediana quanto a moda são 1,75.

Analogamente, a tabela 6.3 confronta a altura dos entrevistados com sua respectiva participação na pesquisa. Destaca-se que aproximadamente 45% dos questionários foram respondidos por indivíduos com altura igual a 1,75m.

Tabela 6.3 – Perfil de altura da amostra

Altura [m]	Participação na amostra
1,57	15,89%
1,60	3,97%
1,66	1,99%
1,67	1,32%
1,68	0,66%
1,70	13,91%
1,74	4,64%
1,75	43,05%
1,76	3,97%
1,77	1,99%
1,79	0,66%
1,83	1,99%
1,86	2,65%
1,87	1,99%
1,90	1,32%

(Fonte: elaboração própria)

Na figura 6.2 apresenta-se o histograma etário da amostra. O intervalo de cada faixa (eixo horizontal) é 5 (cinco) centímetros. Este agrupamento é suficiente para classificar os voluntários.

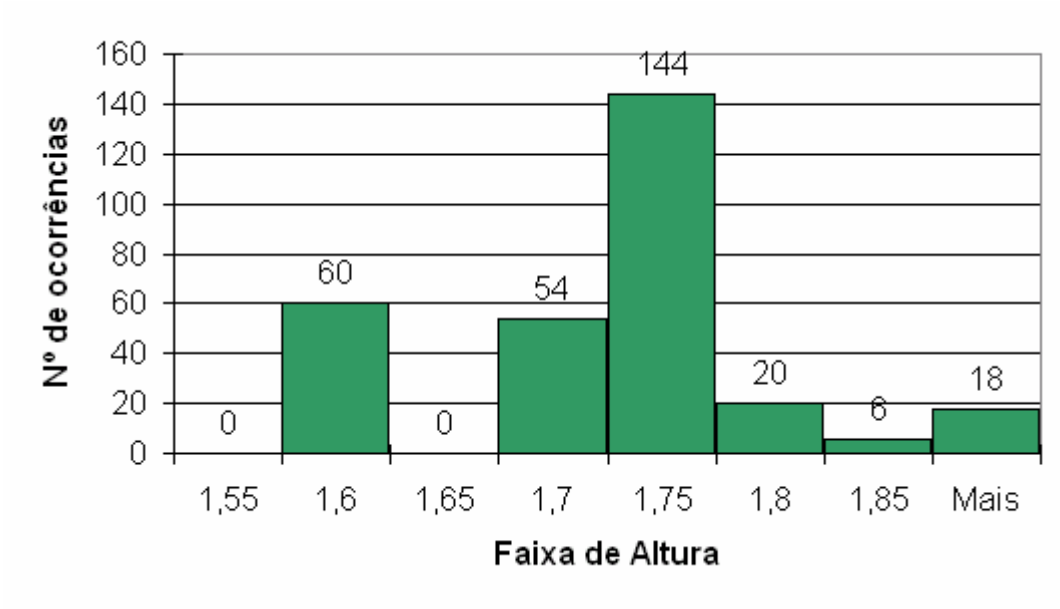


Figura 6.2 – Histograma de altura da amostra

(Fonte: elaboração própria)

VI.1.3 – Peso dos Entrevistados

Analogamente, a tabela 6.4 estabelece comparação entre a altura dos entrevistados com sua participação relativa no total de questionários.

Tabela 6.4 – Perfil de peso da amostra

Peso [kg]	Participação na amostra
48	7,95%
51	1,32%
56	2,65%
57	5,96%
58	7,95%
60	1,99%
61	8,61%
63	3,31%
64	1,32%
68	15,23%
69	6,62%
73	7,95%
74	1,99%
76	10,60%
85	1,32%
87	0,66%
90	2,65%
92	7,95%
95	1,99%
97	0,66%
103	1,32%

(Fonte: elaboração própria)

A média de peso dos voluntários é 68,9kg e o desvio padrão é 13,097. Mais uma vez, a mediana e a moda têm mesmo valor: 68.

Destaca-se que mais da metade (cerca de 55%) dos questionários foi respondido por indivíduos com peso entre 60 (sessenta) e 80 (oitenta) quilos.

Na figura 6.3 é mostrado o histograma de peso da amostra, sendo que o espaçamento do intervalo em cada faixa corresponde a 5 (cinco) quilos.

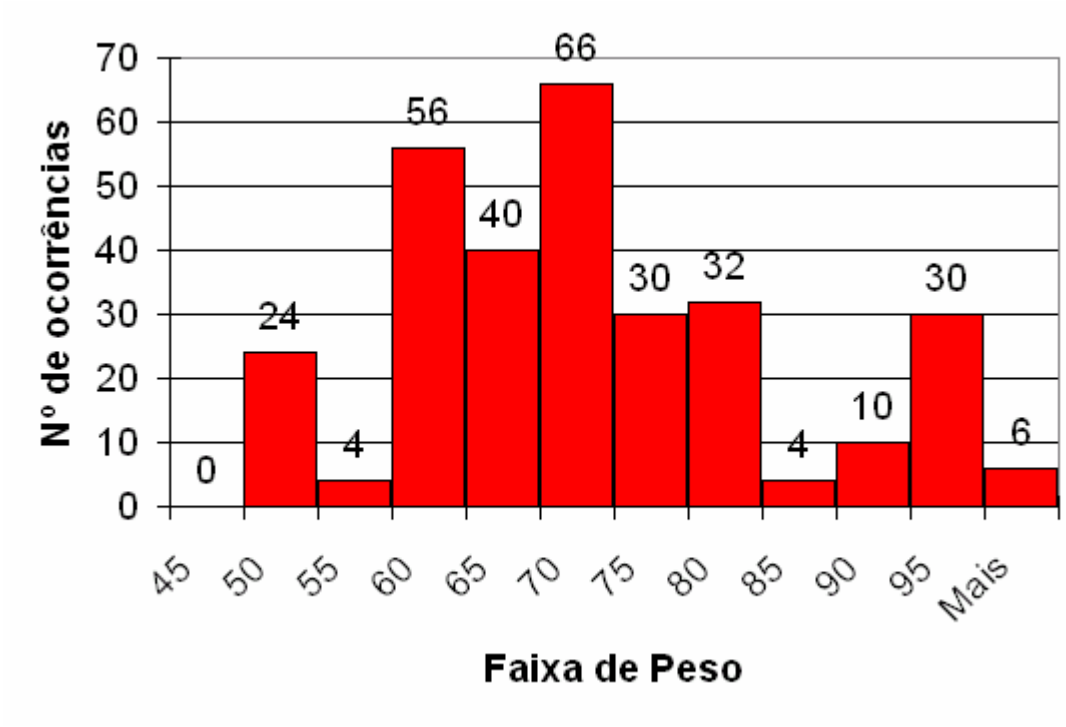


Figura 6.3 – Histograma de peso da amostra

(Fonte: elaboração própria)

VI.1.4 – Sexo dos Entrevistados

No decorrer da pesquisa houve uma maior participação masculina. A figura 6.4 ilustra esta diferença em termos gráficos.

Figura 6.4 – Sexo da amostra

(Fonte: elaboração própria)

O percentual de cada sexo é dado na tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Perfil de sexo da amostra

Sexo	Participação na amostra
Homens	62,9%
Mulheres	37,1%

(Fonte: elaboração própria)

VI.1.5 – Índice de Massa Corporal (IMC) dos Entrevistados

A média de IMC[51] dos entrevistados é 23,3 sendo que o desvio padrão é 3,193. A moda é 22,2 enquanto que a mediana é 22,5.

Não há ainda uma correlação (nem experimental nem empírica) bem definida entre o valor do IMC de uma pessoa e a sua sensação térmica em determinado ambiente.Ainda assim, este índice é deveras significativo, pois trata-se de um indicativo importante do sobrepeso de um cidadão.

Tendo em vista que o excesso de peso em geral se apresenta como tecido adiposo (isolante térmico), então o IMC pode ser a resposta para o desconforto sentido por pessoas magras em ambientes frios, bem como o incômodo percebido por pessoas obesas em situações de calor.

[51] O Índice de Massa Corporal, IMC, é definido como a razão entre o peso (em quilos) pela altura (em metros), esta última elevada ao quadrado.

A tabela 6.6 segrega os diversos valores de IMC da amostra. Como é um valor calculado a partir de duas diferentes informações individuais, há muita variabilidade.

Tabela 6.6 – Perfil de IMC da amostra

IMC	Participação na amostra
18,29	1,32%
19,47	7,95%
19,72	5,96%
19,92	8,61%
20,34	3,31%
21,77	1,99%
21,88	2,65%
22,20	10,60%
22,46	4,64%
22,53	6,62%
22,69	0,66%
23,53	7,95%
23,55	1,32%
23,62	1,99%
24,54	0,66%
24,82	9,27%
25,00	1,32%
25,26	7,95%
26,01	2,65%
27,15	0,66%
27,17	1,99%
30,04	7,95%
30,76	1,32%
34,37	0,66%

(Fonte: elaboração própria)

Na verdade, apenas os colaboradores identificados neste trabalho como números 006 e 018 tiveram o mesmo valor de IMC (vide tabela 6.1).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) considera normais pessoas cujo IMC varia entre 18,5 e 25,0. Abaixo de 18,5 seria uma situação de sobpeso, ao passo que entre 25,0 e 30,0 seria sobrepeso. Neste critério, a obesidade se configura a partir de IMC>30,0.

O histograma da figura 6.5 é separado por faixas com largura correspondendo a 2,00 (duas) unidades de IMC.

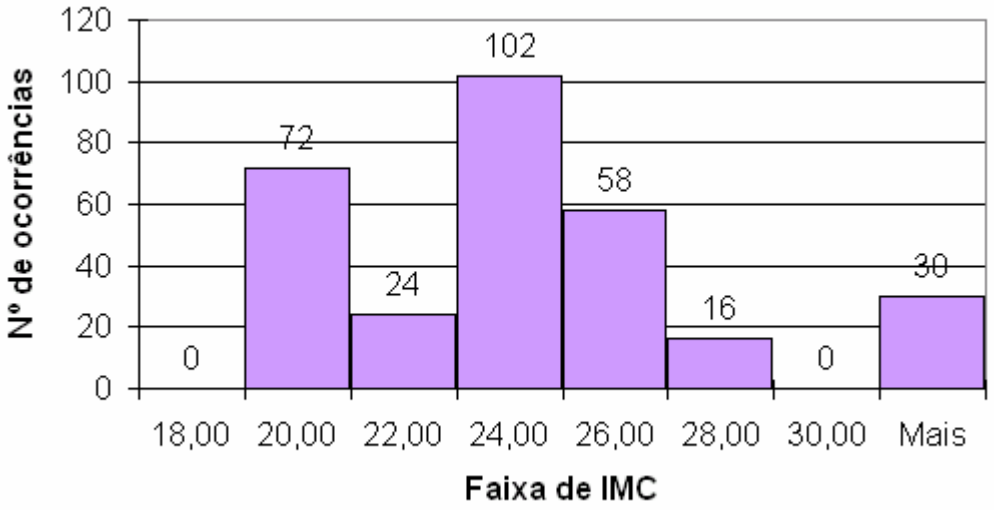


Figura 6.5 – Histograma de IMC da amostra

(Fonte: elaboração própria)

Através desta figura e da tabela 6.6 é possível concluir que aproximadamente 2/3 (dois terços) dos questionários foram respondidos por pessoas classificadas como peso ideal, de acordo com a OMS.

Menos de 10% do total apresentam sobpeso, enquanto que aqueles com sobrepeso somam 13%. Os 10% restantes enquadram-se na classificação obeso.

VI.1.6 – Participação Individual

Conforme já descrito, a tabela 6.1 resume todos os dados pessoais coletados ao longo de três meses. A única informação ainda não analisada é o número de vezes em que cada cidadão gentilmente colaborou com a pesquisa.

A tabela 6.7 é apenas uma adaptação da tabela 6.1, a fim de melhor visualizar a informação desejada neste subitem.

Tabela 6.7 – Participação individual da amostra

Número de identificação na pesquisa	Nº de participações	Participação relativa à amostra
001	20	6,62%
002	14	4,64%
003	18	5,96%
004	10	3,31%
005	28	9,27%
006	26	8,61%
007	24	7,95%
008	24	7,95%
009	26	8,61%
010	8	2,65%
011	24	7,95%
012	4	1,32%
013	4	1,32%
014	4	1,32%
015	6	1,99%
016	2	0,66%
017	8	2,65%
018	6	1,99%
019	6	1,99%
020	24	7,95%
021	4	1,32%
022	2	0,66%
023	6	1,99%
024	2	0,66%
025	2	0,66%

(Fonte: elaboração própria)

Na tabela imediatamente anterior verifica-se que a pessoa mais solícita respondeu à pesquisa 28 (vinte e oito) vezes, ou seja, 9,27% do total. Em contrapartida, quatro indivíduos compareceram na quantidade mínima de vezes, 2 (duas), equivalente a apenas 0,66% da amostra.

Sendo a pesquisa desta dissertação não remunerativa, foi inviável estabelecer um critério de uniformidade, inclusive pela escassez de voluntários em alguns dias e/ou horários.

Contudo, mais uma vez ressalta-se que o modelo de Fanger permite qualquer composição percentual da amostra, sem nenhum prejuízo ao resultado final do experimento.

VI.2 – Aceitabilidade Térmica

Comparar apenas os índices PMV e PPD, experimentais e declarados, não é suficientemente conclusivo para determinar a satisfação climática humana em um local.

Não obstante, dentre as diversas perguntas existentes no questionário do anexo IV desta dissertação, as duas mais significativas são acerca da aceitabilidade térmica e sobre a tolerância térmica do visitante em relação ao ambiente.

O diagnóstico será muito mais fiel à realidade ao considerar às respostas individuais dos dois questionamentos supracitados, pois estes informam a sensação individual, sem margem a interpretações.

A pergunta acerca de aceitabilidade térmica era exatamente a seguinte: “em sua opinião, você aceitaria mais do que rejeita este ambiente térmico?”. Havia apenas duas opções para a resposta: “sim” e “não”.

Na seqüência, analisa-se o grau de aceitabilidade térmica de cada ambiente, nos três períodos de medição: manhã, meio-dia e tarde. Após isto, mostra-se um gráfico geral de todos os horários.

VI.2.1 – Ambiente 1 – Medição Matinal

Inicialmente, recorda-se que durante as seis primeiras semanas de pesquisa, a medição era feita às 10h, tendo sido adiantada para as 9h nas quatro semanas subseqüentes, em função do término do horário de verão.

Conforme demonstrado na figura 6.6, 76% dos entrevistados aprovaram o 1º ambiente na parte da manhã. Em termos absolutos, foram 50 (cinqüenta) avaliações: 38 (trinta e oito) positivas e 12 (doze) negativas.

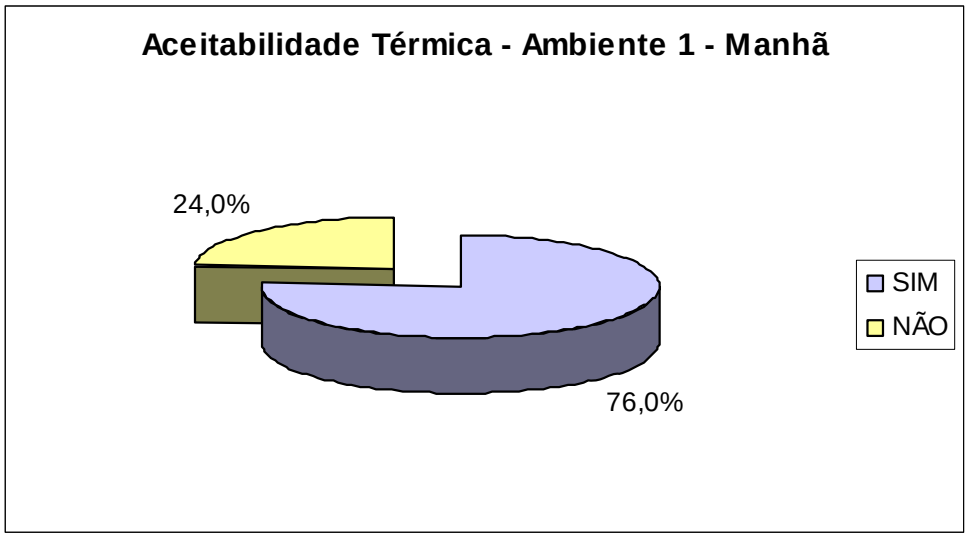


Figura 6.6 – Ambiente 1 – medição matinal

(Fonte: elaboração própria)

Esta maioria absoluta foi construída majoritariamente nas seis primeiras semanas, anteriores ao carnaval, quando o clima na Ilha do Fundão ainda estava consideravelmente ameno, em comparação ao mesmo período em anos anteriores.

Contudo, no último mês de medição (última semana de fevereiro e as três primeiras de março de 2007) o clima foi bastante quente, com dias secos e ensolarados, além de o céu estar sem nuvens.

VI.2.2 – Ambiente 2 – Medição Matinal

Por coincidência, o percentual foi o mesmo encontrado no segundo ambiente, no mesmo período (vide figura 6.7).

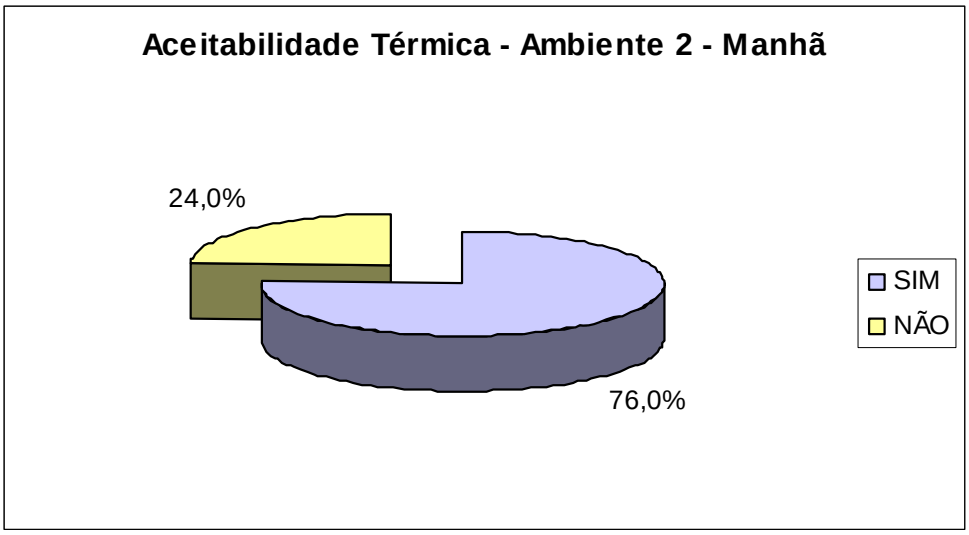


Figura 6.7 – Ambiente 2 – medição matinal

(Fonte: elaboração própria)

VI.2.3 – Ambiente 1 –Medição ao Meio-dia

Pelo mesmo motivo citado anteriormente, no começo a 2ª medição do dia era feita às 13h, sendo transferida posteriormente para às 12h.

O gráfico deste horário no ambiente 1 está na figura 6.8.

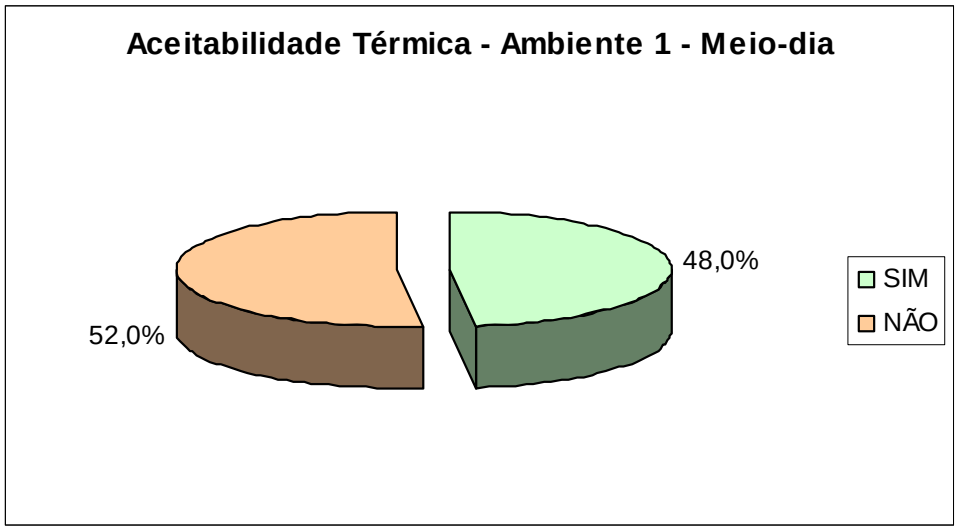


Figura 6.8 – Ambiente 1 – medição ao meio-dia

(Fonte: elaboração própria)

Conforme mostrado na imagem, houve mais rejeição que aprovação neste horário. Por ligeira maioria, 26 (vinte e seis) pessoas responderam "não" (52% do total) contra 24 (vinte e quatro) que assinalaram "sim" (48% da amostra).

VI.2.4 – Ambiente 2 – Medição ao Meio-dia

Por acaso, mais uma vez houve o mesmo percentual de descontentes em relação ao ambiente um. Esta constatação pode ser feita na figura 6.9.

Entretanto, ressalta-se que apenas o valor final (após dez semanas) foi o mesmo. Se o resultado fosse apresentado discretizado, por cada semana, perceber-se-ia diferença nos gráficos.

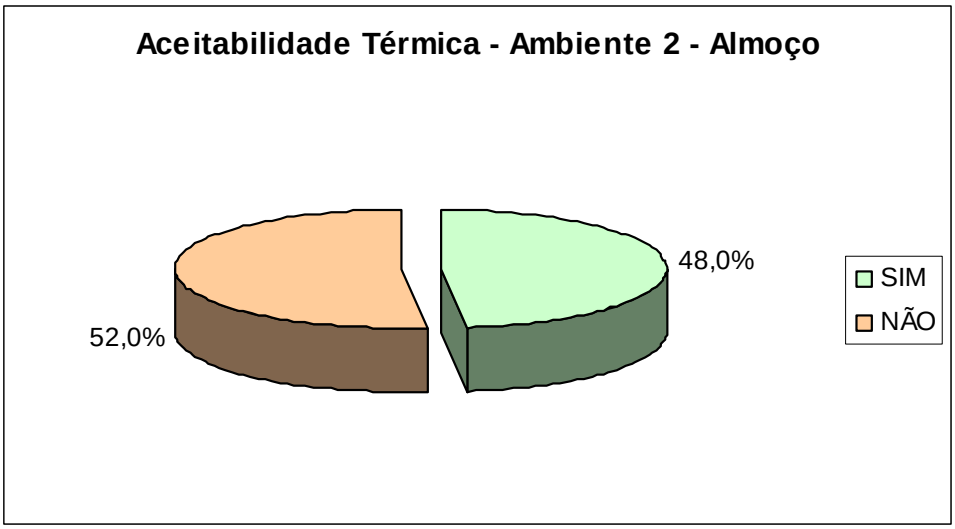


Figura 6.9 – Ambiente 2 – medição ao meio-dia

(Fonte: elaboração própria)

VI.2.5 – Ambiente 1 – Medição Vespertina

A última mensuração diária era feita às 16h até o carnaval. Posteriormente foi realizada às 15h, para poder respeitar o critério de mesma posição solar celeste.

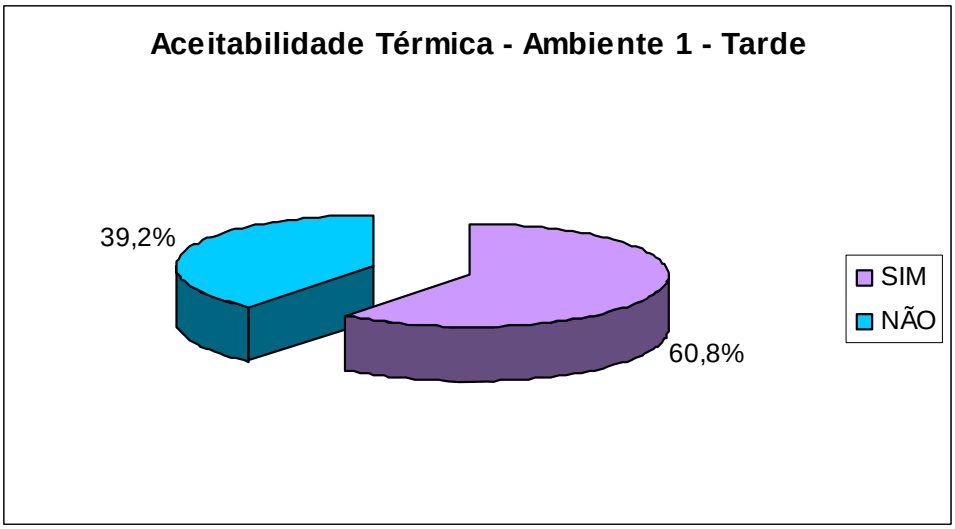


Figura 6.10 – Ambiente 1 – medição vespertina

(Fonte: elaboração própria)

De acordo com o gráfico da figura 6.10, 31 (trinta e um) colaboradores aprovaram termicamente a situação à qual foram submetidas (60,8% do total).

VI.2.6 – Ambiente 2 –Medição Vespertina

Pela terceira vez, registra-se equidade percentual na avaliação térmica de ambos os quartos (vide figura 6.11).

Por conseguinte, os demais 20 (vinte) voluntários rejeitaram o ambiente climático (39,2%).

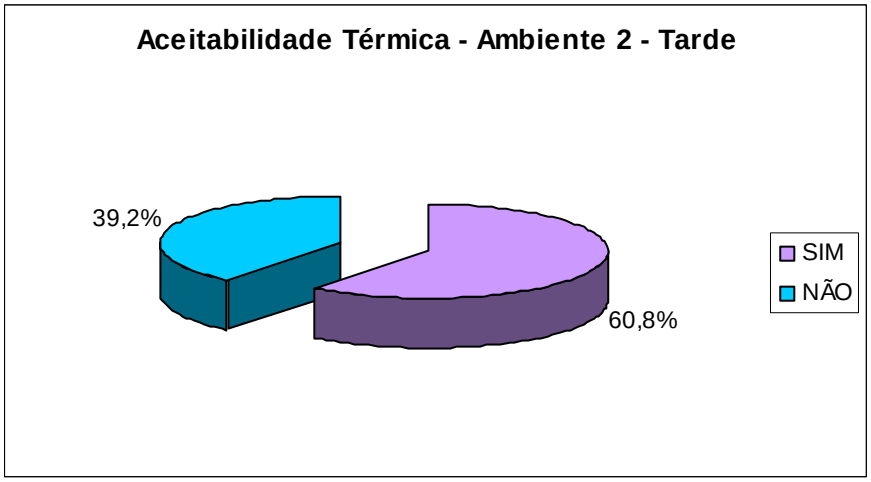


Figura 6.11 – Ambiente 2 – medição vespertina

(Fonte: elaboração própria)

VI.2.7 – Ambiente 1 – Avaliação Geral

Agrupando os dados de todos os 151 (cento e cinqüenta e um) questionários de cada quarto, é possível calcular o nível de aceitação global da Casa Ecológica.

As figuras 6.12 e 6.13 refletem o entendimento de que 93 (noventa e três) cidadãos aprovaram cada quarto (61,6%).

Ao mesmo tempo, 58 (cinqüenta e oito) pessoas julgaram não aceitável a situação térmica que vivenciaram (38,4% do universo amostral).

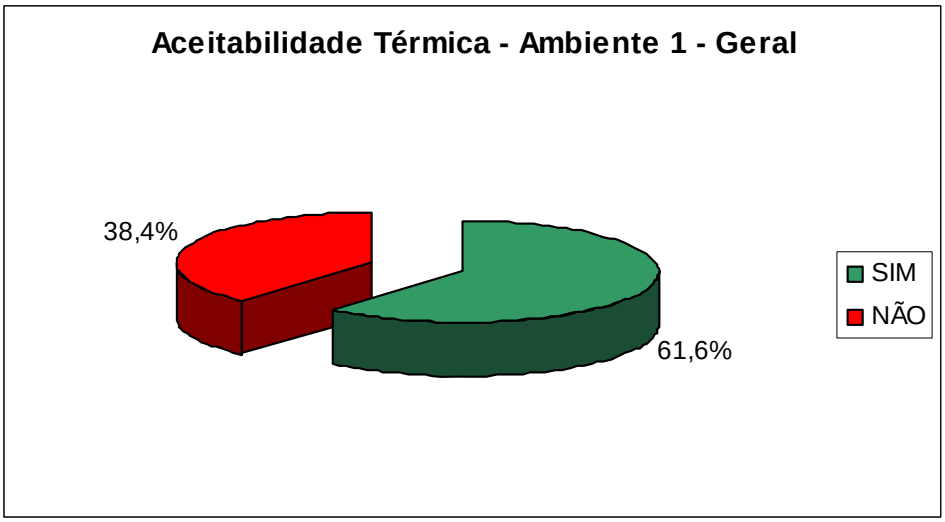


Figura 6.12 – Ambiente 1 – avaliação geral

(Fonte: elaboração própria)

VI.2.8 – Ambiente 2 –Avaliação Geral

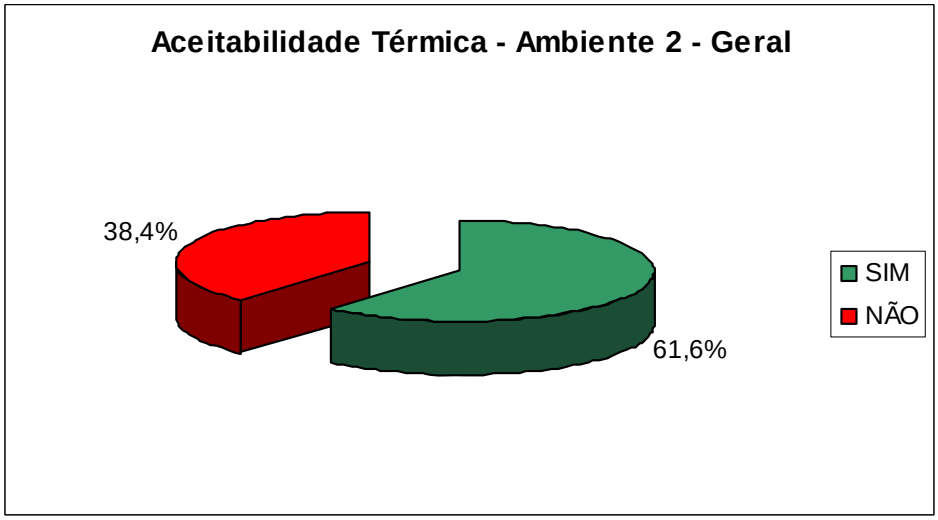


Figura 6.13 – Ambiente 2 – avaliação geral

(Fonte: elaboração própria)

VI.2.9 – Aceitabilidade Térmica – Resumo

A síntese de todas as informações de aceitabilidade térmica nos dois ambientes é dada nas tabelas 6.8 e 6.9.

Tabela 6.8 – Aceitabilidade térmica – quarto 1

Aceitabilidade Térmica - Ambiente 1		
Horário	SIM	NÃO
Manhã	76,0%	24,0%
Almoço	48,0%	52,0%
Tarde	60,8%	39,2%
Geral	61,6%	38,4%

(Fonte: elaboração própria)

Conforme já explicado anteriormente, ambas as tabelas possuem os mesmos valores. Esta coincidência múltipla é explicada basicamente pelos motivos subseqüentes.

Primeiramente, é válida a ressalva de que o percentual de aceitação térmica foi o mesmo apenas na compilação final. Todavia, analisando-se cada semana individualmente, notam-se diferenças entre os ambientes, em todos os horários nos quais houve medições.

Tabela 6.9 – Aceitabilidade térmica – quarto 2

Aceitabilidade Térmica - Ambiente 2		
Horário	SIM	NÃO
Manhã	76,0%	24,0%
Almoço	48,0%	52,0%
Tarde	60,8%	39,2%
Geral	61,6%	38,4%

(Fonte: elaboração própria)

Ademais, ressalta-se que a decisão de executar o experimento térmico ao longo de 10 (dez) semanas de uma mesma estação climática (verão) mostrou-se correta. Isto filtrou as possíveis distorções que uma observação de curto prazo geraria.

Por último, no entanto não menos importante, cabe ponderar que a pergunta do questionário tem apenas duas alternativas para a resposta ("sim" ou "não"). A percepção individual é captada, porém sem detalhamento de quão satisfeito está o cidadão. Para tal, é mister a análise das respostas quanto à tolerância térmica.

VI.3 – Tolerância Térmica

O questionamento de tolerância térmica era nos seguintes termos: "este ambiente possui, em sua opinião:". As alternativas eram cinco:

“perfeita”, “leve dificuldade em tolerar”, “dificuldade em tolerar”, “muita dificuldade em tolerar” e “intolerância”.

VI.3.1 - Tolerância Térmica – Ambiente 1

A tabela 6.10 apresenta o percentual de cada resposta marcada nos questionários, em relação ao ambiente um de acordo com os respectivos horários de medição.

A linha “geral” nas tabelas 6.10 e 6.11 representa uma média correspondente a cada resposta, perante o total de entrevistas (151 em cada ambiente).

Tabela 6.10 – Tolerância térmica – quarto 1

Tolerância Térmica - Ambiente 1					
Horário	Perfeita	Leve dificuldade	Dificuldade	Muita dificuldade	Intolerância
Manhã	44,0%	36,0%	10,0%	8,0%	2,0%
Almoço	20,0%	34,0%	26,0%	10,0%	10,0%
Tarde	49,0%	17,6%	13,7%	11,8%	7,8%
Geral	37,7%	29,1%	16,6%	9,9%	6,6%

(Fonte: elaboração própria)

VI.3.2 - Tolerância Térmica – Ambiente 2

A tabela 6.11 é idêntica à anterior, porém relativa ao segundo quarto da Casa Ecológica.

Tabela 6.11 – Tolerância térmica – quarto 2

Tolerância Térmica - Ambiente 2					
Horário	Perfeita	Leve dificuldade	Dificuldade	Muita dificuldade	Intolerância
Manhã	50,0%	34,0%	12,0%	4,0%	0,0%
Almoço	18,0%	46,0%	16,0%	10,0%	10,0%
Tarde	29,4%	37,3%	11,8%	11,8%	9,8%
Geral	32,5%	39,1%	13,2%	8,6%	6,6%

(Fonte: elaboração própria)

Pode-se simplificar as tabelas 6.10 e 6.11, concatenando as percepções em dois grupos. Assumindo a hipótese de que as respostas "perfeita" e "leve dificuldade em tolerar" são qualitativamente próximas, agrupa-se os respectivos percentuais.

Da mesma forma, junta-se as colunas correspondentes a "dificuldade em tolerar", "muita dificuldade em tolerar" e "intolerância". O resultado desta compilação é apresentado nas tabelas 6.12 e 6.13.

Tabela 6.12 – Tolerância térmica simplificada – quarto 1

Tolerância Térmica Simplificada - Ambiente 1		
Horário	Perfeita / leve dificuldade	Dificuldade / muita dificuldade / intolerância
Manhã	80,0%	20,0%
Almoço	54,0%	46,0%
Tarde	66,6%	33,4%
Geral	66,8%	33,2%

(Fonte: elaboração própria)

Tabela 6.13 – Tolerância térmica simplificada – quarto 2

Tolerância Térmica Simplificada - Ambiente 2		
Horário	Perfeita / leve dificuldade	Dificuldade / muita dificuldade / intolerância
Manhã	84,0%	16,0%
Almoço	64,0%	36,0%
Tarde	66,6%	33,4%
Geral	71,6%	28,4%

(Fonte: elaboração própria)

Ao comparar as tabelas 6.8 e 6.12, bem como as tabelas 6.9 e 6.13, comprova-se a adequação da hipótese simplificadora adotada. Esta conclusão se baseia no entendimento que as respostas “perfeita” e “leve dificuldade em tolerar” são qualitativamente correspondentes ao “sim” da aceitabilidade térmica.

Analogamente, o trio “dificuldade em tolerar”, “muita dificuldade em tolerar” e “intolerância” torna-se equivalente à opção “não” da aceitação climática ambiental.

Portanto, a discrepância máxima na comparação proposta foi de 6% (no caso das tabelas 6.10 e 6.14) e 16% (entre as tabelas 6.9 e 6.13), ambas no horário do almoço.

VI.4 – Conforto Térmico na Casa Ecológica –Conclusão

Finalmente, após toda a análise de dados realizada neste capítulo, pode-se afirmar que há subsídios consistentes para concluir se houve ou não conforto térmico na Casa Ecológica do CETS/IVIG/UFRJ ao longo do experimento climático.

A primeira abordagem deve ser baseada no critério de aceitabilidade. Conforme declarado nas tabelas 6.8 e 6.9, ambos os quartos foram aprovados pela maioria dos colaboradores (61,6% em média).

O horário com maior aceitação foi a parte da manhã (76,0%), seguido da medição vespertina (60,8%). A única parte do dia na qual houve maioria de insatisfeitos foi ao meio-dia (52,0% de reprovação).

Entretanto, somente após considerações relativas ao critério de tolerância térmica é possível esclarecer a sensação individual, bem como propor estratégias de mitigação climática.

A teoria considera que há conforto térmico quando não se faz necessária qualquer medida mitigadora climática. Respeitando-se

esta definição, os ambientes teriam a seguinte proporção de conforto ao longo do dia (vide tabela 6.14).

Tabela 6.14 – Votos “tolerância perfeita”

Percentual de votos “tolerância perfeita”		
Horário	Ambiente 1	Ambiente 2
Manhã	44,0%	36,0%
Almoço	20,0%	34,0%
Tarde	49,0%	17,6%
Geral	37,7%	29,1%

(Fonte: elaboração própria)

A análise imediata da tabela 6.16 pode induzir ao falso entendimento de que tais percentuais são pouco expressivos. Contudo, a interpretação correta é justamente o oposto disto.

Considerando-se que o estudo de caso decorreu em um país tropical, ao longo da estação mais quente do ano e em uma metrópole que apresenta o fenômeno climático “ilha de calor”, pode-se ponderar que é bastante significativo obter patamares de conforto da ordem de 30% das vezes.

Adicionado a isto, entende-se que no geral o ambiente 1 é mais confortável em relação ao ambiente 2 (37,7% x 29,1%). Esta afirmativa somente não se aplica à segunda entrevista diária (horário

do almoço). Neste momento do dia, a situação se inverte e o ambiente 2 torna-se mais agradável (34,0% contra 20,0%).

Entretanto, é fundamental destacar que houve consenso dentre todos os entrevistados que votaram na alternativa “leve dificuldade em tolerar”. Informalmente, estes julgaram que a mera utilização de um ventilador (de mesa ou de teto) já seria suficiente para propiciar o conforto térmico.

Segundo estes, a ventilação mecânica seria satisfatória a ponto de não deixar dúvidas de que os mesmos alterariam seu voto para a opção “tolerância perfeita”.

A referida unanimidade é de suma importância para entender o julgamento pessoal dos 25 (vinte e cinco) avaliadores da Casa Ecológica.

Assim sendo, assume-se como verdadeira a hipótese de a inclusão de um ventilador ser suficiente para melhorar substancialmente a sensação térmica dos freqüentadores do local.

Deste modo, os níveis de satisfação térmica das tabelas 6.12 e 6.13, maiores, seriam atingidos. Nesta situação, os índices de concordância com a conjuntura observada seriam os informados na tabela 6.15.

Tabela 6.15 – Votos “tolerância perfeita” e “leve dificuldade em tolerar”

Percentual de votos “tolerância perfeita” ou “leve dificuldade em tolerar”		
Horário	Ambiente 1	Ambiente 2
Manhã	80,0%	84,0%
Almoço	54,0%	64,0%
Tarde	66,6%	66,6%
Geral	66,8%	71,6%

(Fonte: elaboração própria)

A comparação entre as tabelas 6.14 e 6.15 mostra que a adoção do eletrodoméstico ventilador supostamente atenderia aos anseios da maioria dos votantes, em todos os horários estudados.

Em termos globais, o ambiente 2 tornou-se ligeiramente mais confortável que o primeiro (com diferença inferior a 5%). Já a mensuração matutina alcança notáveis patamares, da ordem de 80% (aproximadamente o dobro da tabela anterior).

O período mais crítico continua sendo o do almoço, embora tenha melhorado bastante a sensação declarada. Para o ambiente 1 o novo montante é 54,0% (antes era 20%), ao passo que o 2º ambiente agrega agora 64,0% (contra 34,0% anteriores).

O maior acréscimo na satisfação térmica ambiental ocorreu no período da tarde, mais especificamente no quarto 2. O aumento

registrado foi de aproximadamente quatro vezes no percentual declarado (66,6% x 17,6%).

Portanto, conclui-se que a Casa Ecológica é um projeto bem sucedido de conforto térmico. Sem qualquer alteração de projeto ou inserção de equipamentos, a satisfação plena com o conforto oscilou em torno de 30%. Neste ponto vale a ressalva de que o verão foi relativamente atípico, mais brando nas seis primeiras semanas de experimento.

Considerando-se a instalação de um ventilador (eletrodoméstico de mitigação térmica com menor consumo energético), o patamar de aprovação sobe consideravelmente (para cerca de 70%).

Neste caso, o aumento no consumo energético da residência unifamiliar seria ínfimo em relação ao acréscimo no conforto de seus habitantes.

Ou seja, somente o restante das entrevistas (aproximadamente 30%) sugere a necessidade de intervenções mais severas. Incluem-se neste montante as modificações de projeto arquitetônico, substituição de materiais construtivos, bem como a utilização de equipamentos de condicionamento de ar.

Em contrapartida, nesta conjuntura espera-se uma elevação consistente no consumo elétrico da habitação. Não obstante, ressalva-se que nem sempre seria possível instalar um aparelho de ar condicionado para climatizar artificialmente o ambiente.

Além de representar um investimento pecuniário alto, que poderia ser subsidiado em casos especiais, tal equipamento eleva substancialmente a demanda elétrica de uma habitação.

Isto exige investimentos não somente na rede elétrica interna, mas também na rede distribuidora da concessionária. Na verdade, em se tratando de habitações de interesse social, é provável que sequer haja eletricidade na região.

E, mesmo havendo algum tipo de sistema de geração distribuída, este provavelmente não seria capaz de suportar cargas de pico (decorrentes da utilização de aparelhos de ar condicionado).

VI.5 – Teoria de Fanger x Bioclimatismo

Os resultados do estudo de caso desta dissertação de mestrado foram amplamente discutidos no decorrer deste capítulo. Entretanto, as conclusões apresentadas no subitem 6.4 referem-se apenas à análise através da teoria de conforto de Fanger.

Neste momento é válido comparar os resultados obtidos na pesquisa com as estratégias bioclimáticas propostas por Givoni (detalhadas no capítulo 4 deste trabalho).

No quarto capítulo apresentou-se a carta de Givoni com estratégias bioclimáticas para o a cidade do Rio de Janeiro (vide figura 4.26), fornecida pelo *software* AnalysisBio, da UFSC.

Em seguida, mostrou-se na tabela 4.1 o percentual de horas anuais nos quais dever-se-ia adotar cada estratégia de mitigação térmica.

A tabela 6.16 é uma adaptação da tabela 4.1, de forma a enaltecer as duas principais táticas recomendadas para a cidade do Rio de Janeiro, de acordo com Givoni.

Tabela 6.16 – Principais Estratégias Bioclimáticas para o Rio de Janeiro [% de horas anuais]

CONFORTO			20,8%
DESCONFORTO POR CALOR	Ventilação	56,9%	59,74%
	Ar Condicionado	2,84%	

(Fonte: Lamberts *et al.*, 2004, adaptado)

A tabela 6.16 traz valores bastante próximos aos listados nas tabelas 6.14 e 6.15. Por exemplo, na tabela 6.14 houve sensação de conforto em 37,7% das entrevistas do quarto 1 e 29,1% das do quarto 2. Na tabela 6.16 o valor é mais conservador (20,8%).

Já na tabela 6.15 o percentual global de conforto térmico, englobando o uso de ventiladores, oscilou próximo a 70%. Na última tabela, 6.16, a soma do conforto pleno com a estratégia de ventilação gera uma aprovação de 77,7% das horas anuais.

Todavia, a tabela 6.16 gera informação sobre medidas mitigadoras para um ano inteiro (8760 horas). Desta forma, o mais correto cientificamente é comparar períodos similares.

Com auxílio do *software* AnalysisBio elabora-se a tabela 6.17, específica sobre o período exato de duração da pesquisa acadêmica (entre 08/01 e 23/03).

Tabela 6.17 – Estratégias Bioclimáticas para o Período do Experimento [% de horas]

CONFORTO					9,7
DESCONFORTO	CALOR	V	71,2	90,3	90,3
		RE	0,0		
		MR	0,9		
		AC	8,1		
		U	0,0		
		V, MR	1,7		
		V, MR, RE	8,1		
		MR, RE	0,3		
	FRIO	MA, AS	0,0	0,0	
		AS	0,0		
		AA	0,0		

(Fonte: elaboração própria)

Notadamente a discrepância acentuou-se, sobremaneira no que tange ao conforto. A queda do conforto na simulação foi de mais de 50% (em relação à tabela 6.16). Ademais, em comparação à tabela 6.16 a redução foi ainda maior: três a quatro vezes, dependendo do quarto.

Todavia, pode-se dizer a parcela de tempo na qual a ventilação faz diferença aumentou e compensou em grande parte o decréscimo no bem estar humano.

A associação entre conforto e ventilação alcança o expressivo valor de 80,9% das horas simuladas. Portanto, houve um aumento relativo na importância deste eletrodoméstico como fonte mitigadora do desconforto climático.

O ar condicionado seria adotado em 8,1% do período (aproximadamente 146 horas). Tal patamar representa as opções "muita dificuldade em tolerar" e "intolerância" nas tabelas 6.10 e 6.11 sendo, inclusive, mais conservador que a realidade observada.

Por fim, vale destacar que o verão de 2007 foi atípico em relação aos anos anteriores. Como já relatado, as seis primeiras semanas registraram clima ameno, com poucos dias de sol intenso.

Somente a partir do final de fevereiro o clima de estiagem predominou, com dias ensolarados e sem nuvens no céu, permanecendo deste modo até o final de março.

Portanto, esta é a explicação para os dados da pesquisa terem se aproximado mais daqueles para o ano inteiro (tabela 6.16) em comparação aos dados gerados na simulação para o verão (tabela 6.17).

VI.6 – Influência de cada Variável do Modelo de Conforto de Fanger no Resultado Final

No capítulo três deste trabalho, quando da explanação da modelagem térmica proposta por Povl Ole Fanger, segregou-se as seis variáveis em dois grupamentos: ambientais e pessoais.

VI.6.1 – Influência das Variáveis Individuais

Em relação aos parâmetros pessoais, conclui-se que ambos tiveram influência significativamente reduzida na sensação de bem estar individual. Isto se deve majoritariamente a dois fatores:

1. Todas as entrevistas foram realizadas com o colaborador sentado, em repouso (met = 1,0). A única atividade física com menor gasto calórico que esta, listada na norma ISO 7730 (1994), seria dormir. Entretanto não seria nem plausível nem crível um voluntário avaliar conforto térmico enquanto dorme;

2. Na contagem dos votos de aceitabilidade e tolerância térmica, percebeu-se que o índice de vestuário (clo) não propiciaria desconforto em seu usuário, na maioria das vezes. Exceto nos poucos dias com tempo instável, a pessoa já saía de casa com roupa adequada para o clima[52].

[52] Quando a teoria foi formulada, realizava-se experimentos nos quais os voluntários trocavam de vestimenta diversas vezes, mantendo-se inalterada a temperatura no recinto. No estudo de caso desta dissertação isto não ocorre.

VI.6.2 – Influência das Variáveis Climáticas

No que tange aos parâmetros ambientais, os questionários indicam que:

1. A umidade relativa variou dentro de um intervalo aceitável e previsto para o período estudado. Portanto, não foi responsável por alterações na percepção de conforto;

2. Modificações na temperatura ambiente tiveram participação objetiva, determinando claramente alterações em duas parcelas do equacionamento de Fanger: no termo de temperatura do ar (bulbo seco) e no termo de temperatura radiante.
   Vale lembrar que o acréscimo na temperatura atmosférica influi também na carga térmica da edificação e no balanço de energia entre o corpo e o recinto;

3. A velocidade do vento mostrou ser o parâmetro mais importante na determinação do bem estar térmico de um indivíduo. Isto porque pequenas variações registradas pelo anemômetro eram suficientes para mudar significativamente a sensação declarada nos questionários.

VI.7 – Sugestões de Alterações para Mitigação Térmica

Feita a apreciação da contribuição de cada variável do modelo adotado, o passo seguinte é propor modificações a serem

implementadas, tanto em nível de projeto como também para a fase pós-ocupacional (no caso de edificações já construídas).

Alguns trabalhos, dentre os quais se destacam DEGANI & CARDOSO (2002) e TAVARES & LAMBERTS (2005), demonstram que a análise do consumo energético de uma edificação deve considerar todo o ciclo de vida do empreendimento.

TAVARES & LAMBERTS (2005) estimam que cerca de 82% de toda a energia consumida em uma residência brasileira, ao longo de seu ciclo de vida, sejam decorrentes do uso cotidiano.

Ou seja, de acordo com estes autores apenas 18% do consumo energético de uma edificação seriam creditados à fase de construção da mesma.

A estimativa supracitada revela a importância das modificações pós-ocupacionais a serem sugeridas neste tópico. São estas que representarão a maior redução no consumo elétrico da residência popular.

Inclusive, conforme descrito no capítulo 5 desta dissertação, os materiais alternativos empregados na construção da Casa Ecológica propiciaram grande redução tanto nas emissões de gases de efeito estufa como também no dispêndio energético para a fabricação dos insumos.

Deste modo, a habitação de interesse social foco deste trabalho apresenta oportunidades de eficientização energética mais significativas no que diz respeito ao uso cotidiano da edificação.

VI.7.1 – Alterações de Projeto

Sugere-se 2 (duas) modificações para novos projetos como o da Casa Ecológica do complexo CETS, a saber:

1. Posicionamento Solar → trata-se de uma das principais recomendações da arquitetura bioclimática. Toda edificação deveria ser construída respeitando-se as direções geográficas mais indicadas para a respectiva latitude.

Para quem habita o hemisfério sul pode-se dizer que a orientação norte (janelas voltadas para o norte) é aquela que atende de maneira mais satisfatória as principais demandas do cotidiano.

Caracteriza-se por apresentar insolação nos meses frios (inverno) e sombra nos meses quentes (verão). E, quanto maior for a latitude na qual a cidade se encontra, mais acentuado será este efeito.

Em contrapartida, a orientação sul é a mais inadequada, pois não recebe Sol durante o inverno e recebe poucas horas de Sol no verão (apenas no início da manhã e no final da tarde).

Neste entendimento, fachadas voltadas para o sentido sul são favoráveis somente em ambientes nos quais a insolação é totalmente indesejada (tais como laboratórios fotográficos e salas de projeção).

A figura 6.14 representa a trajetória solar celeste no hemisfério sul, assim como as direções geográficas.

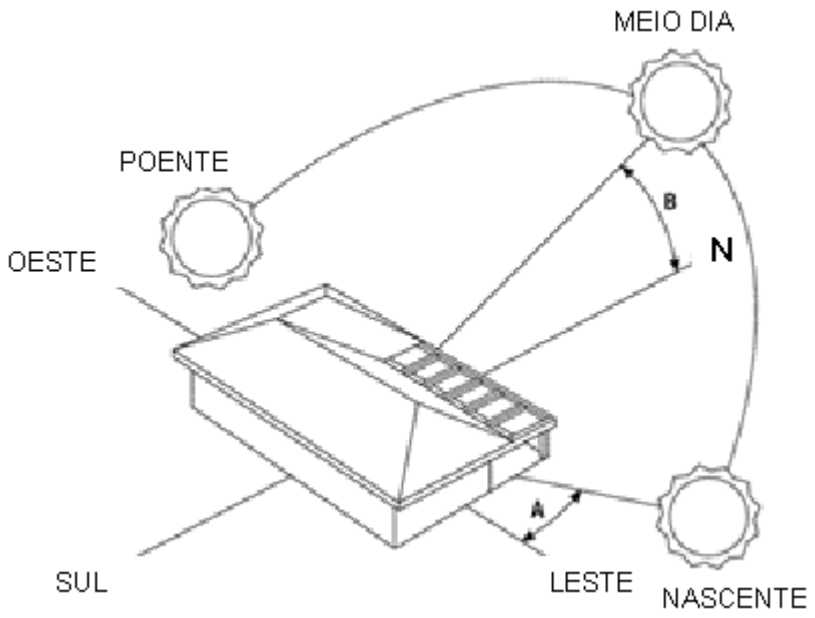


Figura 6.14 – Trajetória solar no hemisfério sul
(Fonte: www.cimentoeareia.com.br)

As orientações leste e oeste têm características similares em termos de insolação, embora em momentos diferentes do dia. As paredes "leste" recebem o sol matutino, enquanto que as fachadas "oeste" recebem o sol vespertino.

Usualmente as paredes voltadas para oeste são mais quentes que as fachadas leste, apesar de ambas receberem o mesmo número de horas de insolação. Por isto, no mercado imobiliário são mais valorizados os imóveis com mais paredes voltadas para leste, em comparação com aqueles cujas paredes são voltadas, em sua maioria, para oeste.

Isto se deve ao fato de que estas primeiras gastam significativa parcela do calor que absorvem para vencer a inércia térmica da madrugada anterior. Em compensação, as paredes orientadas para

oeste são mais iluminadas na parte da tarde, quando a estrutura da edificação já está mais aquecida.

No caso específico do CETS, a habitação de interesse social não seguiu este preceito. Ao invés disto, foi erguida em alinhamento com a via pública mais próxima. Por sinal, este critério está em consonância com o adotado pelos principais prédios da Ilha do Fundão.

Figura 6.15 – Orientação solar do CETS
(Fonte: elaboração própria, a partir do *software* Google Earth)

A imagem de satélite, fornecida pelo *software* Google Earth é mostrada na figura 6.15. Nesta foto, identifica-se que a sala e o quarto 2 da Casa Ecológica estão na fachada "sudeste", ao passo que a cozinha, o banheiro e o quarto 1 estão voltados para a fachada "noroeste".

2. Posicionamento Eólico → como analisado no subitem 6.6.2, o aspecto que mais influenciou na percepção de conforto térmico foi a velocidade do vento dentro dos dois dormitórios.

Portanto, é natural esperar que os projetos arquitetônicos privilegiem os ventos predominantes (de maior freqüência) na região. Isto propiciaria maior troca térmica por convecção entre os moradores e a casa, gerando um maior bem-estar climático aos indivíduos.

A figura 6.16 ilustra as velocidades dos ventos predominantes na cidade do Rio de Janeiro. Esta imagem foi obtida através do *software* SOL-AR 6.1.1, disponibilizado gratuitamente no sítio [53] do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE/UFSC).

O banco de dados do programa foi gerado a partir de estações meteorológicas situadas em aeroportos brasileiros, com alturas variando entre cinco e dez metros. Este patamar se aproxima do pé direito da edificação analisada no estudo de caso desta dissertação.

Outra opção existente na literatura nacional é o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL, 2001). Neste trabalho levantou-se uma vasta gama de informações anemométricas, para fins de aproveitamento energético.

[53] www.labeee.ufsc.br, acessado em 08/02/2007.

Desta maneira, a coleta de dados foi realizada em todo o território nacional, em torres cuja altura oscilava entre trinta e cinqüenta metros.

Comparando os dois recursos, percebe-se que ambos fornecem dados qualitativamente semelhantes (sentidos eólicos predominantes). Mesmo analisando em termos quantitativos, há significativa proximidade entre os resultados de freqüência eólica fornecidos por ambos os trabalhos.

Assim sendo, optou-se por utilizar-se o programa SOL-AR 6.1.1 devido ao fato que a altura de medição anemométrica desta ferramenta se aproximava mais da altura típica de uma edificação de interesse social, tal como a do estudo de caso desta dissertação.

A rosa dos ventos do município do Rio de Janeiro indica que as maiores velocidades anemométricas são registradas na orientação sul, em todas as estações climáticas (6 m/s).

Todavia, a habitação popular não recebe vento sul, pois a construção do novo prédio do departamento de Geotecnia da COPPE/UFRJ, ao lado do complexo do CETS, não respeitou o limite acordado para o terreno.

Desta forma, a edificação de três andares obstruiu completamente o escoamento aerodinâmico do vento “sul” no entorno da edificação popular.

Nas orientações sudeste e noroeste, as mesmas das fachadas da Casa Ecológica, o vento tem velocidade constante (3 m/s) no decorrer do ano inteiro.

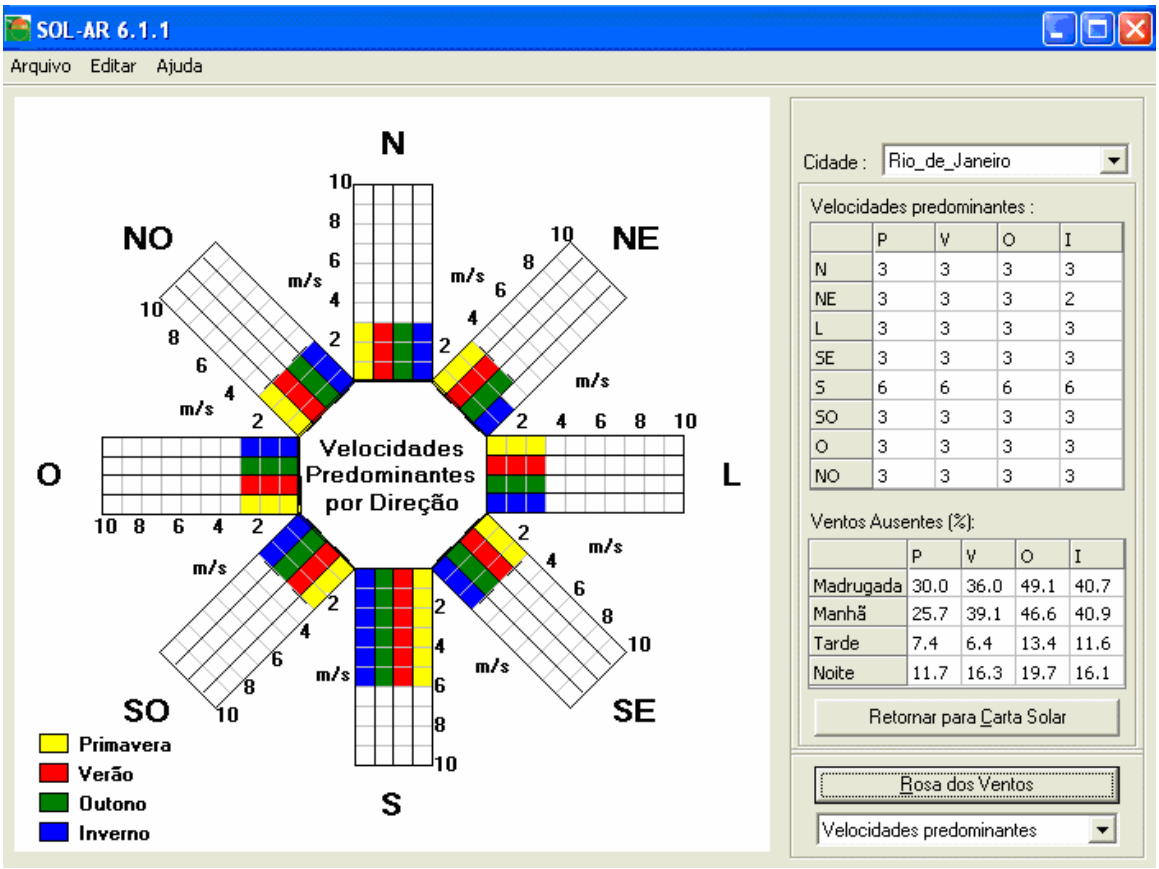


Figura 6.16 – Velocidades Predominantes de Ventos no Rio de Janeiro

(Fonte: elaboração própria, a partir do *software* SOL-AR 6.1.1)

Como já discutido, outro aspecto eólico fundamental é a freqüência de ocorrência eólica, indicada na figura 6.17 e obtida novamente a partir do software SOL-AR 6.1.1.

Na imagem as colunas em vermelho sugerem que aproximadamente 30% dos ventos no verão são no sentido sudeste (o mesmo da sala e do quarto 2).

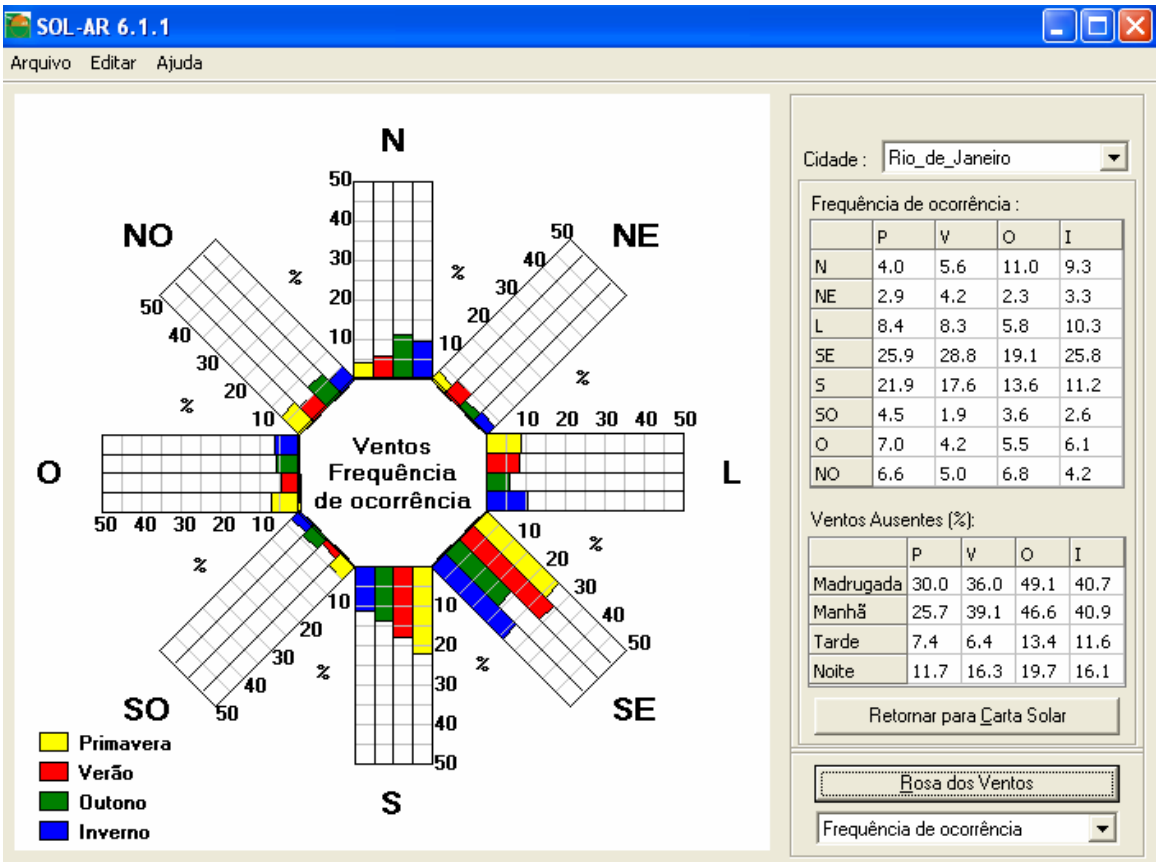


Figura 6.17 – Freqüência Eólica no Rio de Janeiro
(Fonte: elaboração própria, a partir do *software* SOL-AR 6.1.1)

Enquanto isso o sentido noroeste (cozinha, banheiro e quarto 1) tem participação relativa de apenas 5% das vezes durante o verão. Por fim, as direções nordeste e sudoeste têm freqüência relativa de 4,2% e 1,9%; respectivamente.

Assim sendo, conclui-se que os tijolos de solo cimento que foram posicionados girados na fachada, visando aumentar a convecção e a circulação cruzada, têm eficiência reduzida.

Caso fosse feito um projeto arquitetônico que contemplasse a otimização do aproveitamento eólico nas fachadas, bem como respeitasse a orientação solar norte, o conforto térmico da edificação aumentaria bastante.

Adicionado a isto, é fundamental que não se construa nenhuma edificação próximo demais de outra já existente. Esta situação configura-se em um problema de escoamento aerodinâmico e, por conseguinte, promove o aumento da temperatura da estrutura, reduzindo o bem estar humano.

VI.7.2 – Alterações para Edificações já Construídas

Para projetos já executados ou parcialmente erguidos, propõe-se 3 (três) mudanças a serem implementadas. A primeira é interna ao ambiente habitado, enquanto que as demais são externas.

1. Instalação de Ventiladores → conforme mencionado nas entrevistas do estudo de caso, a aquisição de um ventilador para cada ambiente seria suficiente para propiciar uma melhoria expressiva na sensação de conforto climático.

O aparelho poderia ser de qualquer tipo, não havendo diferença significativa no que tange à percepção individual. Todavia, é

desejável evitar que o modelo escolhido seja um ventilador de teto (o que exigiria a fixação do mesmo na armação do telhado, em bambu).

Para tal, deve-se aconselhar a aquisição de um ventilador de mesa. Este tipo de aparelho permite total flexibilidade no direcionamento do fluxo de ar, inclusive podendo incidir diretamente sobre o usuário.

2. Pintura das Telhas → uma solução simples e que exige pouco aporte financeiro consiste na aplicação de uma tinta branca sobre as telhas de fibra de coco utilizadas na Casa Ecológica do CETS.

Esta proposição se baseia no conceito de aumentar a refletividade da cobertura, reduzindo com isto a parcela de radiação solar que é absorvida pela estrutura (através do processo de condução térmica).

Em uma edificação de um pavimento, o telhado é o receptor mais importante de radiação solar direta. Portanto, é natural indicar medidas mitigadoras para o problema posto.

Neste sentido, a pintura com tinta branca revela-se interessante, pois este pigmento tem pouca absortância para a faixa de freqüência do espectro correspondente à radiação solar.

NÄÄS *et al.* (2001) estudaram soluções para este problema em modelos de aviários em escala reduzida. Estudou-se três tipos de telhas com diferentes tipos de revestimento.

A telha que obteve maior eficiência na redução da temperatura foi a de celulose prensada com material betuminoso, com uma demão de tinta branca.

No estudo de caso desta dissertação de mestrado, o telhado é pintado na cor verde, com maior absortividade que o pigmento branco sugerido.

Portanto, a pintura das telhas na cor branca é indicada não somente por ser uma solução relativamente barata, mas também por abrandar o aquecimento da cobertura, atualmente em uma cor menos reflexiva à radiação solar.

3. Adequação do Entorno da Edificação → esta última sugestão prevê um conjunto de pequenas ações pontuais na área que circunda a habitação.

A primeira medida é evitar que o terreno seja um meio impermeável à chuva. Onde houver solo compactado sem vegetação ("terra batida"), deve-se plantar grama e pequenos arbustos. Além de produzir um resultado estético na paisagem, há um efeito claro na questão de carga térmica (aumento do albedo[54] do terreno).

Ao invés de a radiação solar servir apenas para aquecer o solo do terreno (e, posteriormente, a estrutura da casa), a mesma terá a finalidade de prover a energia necessária para o processo de fotossíntese das gramíneas.

Em uma escala maior, sugere-se que sejam plantadas árvores frondosas perto da habitação, quando possível. Além de gerar o mesmo efeito benéfico citado anteriormente, a árvore pode inclusive fazer sombra na casa, dependendo do seu porte, reduzindo o fluxo de calor incidente nas paredes.

[54] Medida da refletividade de um corpo, é calculado através da razão entre as parcelas de radiação eletromagnética solar refletida e total incidente.

No entanto, ressalta-se que seria indispensável um estudo da melhor localização para o plantio das árvores (para evitar que as mesmas interfiram no regime eólico local, que pode ser relevante).

Por fim, é fundamental que se respeite as distâncias mínimas entre edificações[55], para que o regime de ventos naquele ponto não seja afetado. Deste modo, será mantida inalterada a transferência de calor entre a parede externa da edificação e a atmosfera que o circunda.

VI.8 –Comentários Finais e Sugestões para Trabalhos Futuros

Neste ponto, é válido o testemunho de que o tema deste trabalho foi uma feliz escolha, por ter propiciado ao autor um profundo envolvimento em um tema complexo e multidisciplinar. Isto enriqueceu não somente a própria dissertação de mestrado mas, principalmente, a formação intelectual do próprio candidato.

O experimento térmico da Casa Ecológica do CETS foi realizado de acordo com padrões da literatura internacional, gerando resultados consistentes, integralmente condizentes com as teorias de conforto de Fanger e bioclimática de Givoni.

Registra-se que as soluções mitigadoras de conforto térmico propostas no decorrer deste capítulo permitem a extensão do estudo de caso para outros tipos de edificação, sempre em prol da eficientização energética no setor residencial.

---

[55] Geralmente definidas pelas normas de planejamento urbano estabelecidas no Plano Diretor do município.

Por fim, como possíveis trabalhos complementares a este, sugere-se:

1) Repetir este estudo para outras estações do ano. Mantendo-se a metodologia de questionários, seria interessante comparar a aceitabilidade térmica, bem como a tolerância ambiental, dos voluntários submetidos a outras situações climáticas (principalmente durante o inverno);

2) Realizar pesquisa similar, variando apenas a faixa etária da amostra. Inserindo crianças e idosos, seria possível analisar melhor a discrepância na percepção térmica declarada em uma região tropical, de acordo com a idade do indivíduo amostrado;

3) Implementar algumas (ou todas) as modificações pós-ocupacionais sugeridas neste último capítulo e reavaliar o experimento. Neste caso seria possível estimar o aumento no bem estar propiciado por cada alteração e, posteriormente, gerar uma análise custo/benefício para hierarquizar as propostas;

4) Confrontar os resultados do estudo de caso desta dissertação com as conclusões geradas nas pesquisas desenvolvidas nos outros 13 (treze) laboratórios financiados pelo Procel-Edifica (listados no capítulo V, subitem V.1.1). Ao efetuar esta comparação, seria possível identificar as melhores soluções (bioclimáticas e de materiais construtivos) para cada região do território brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS, M.P.N., *Apostila da disciplina "Conforto térmico - métodos ambientais em energia e meio ambiente"*, Lisboa, IST, 2000, disponível para download no link http://in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/PDF/EMEE_1.pdf, acessado em 11/08/2006

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 1974, *ASHRAE 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 1981, *ASHRAE 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta

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

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2004, *ASHRAE 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy*, Atlanta

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2001, "Thermal Comfort". In: *ASHRAE Fundamentals Handbook*, chapter 8, Atlanta

ANDRADE, S.F., 1996, *Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis*, Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

ARAÚJO, V.M.D., 1996, *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*, Tese de D.Sc., USP, São Paulo, SP

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, *ABNT NBR 6401 – Instalações centrais de ar condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto*, Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000, *ABNT NBR 10152 – Nível de ruído para conforto acústico*, Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, *ABNT NBR 15220-3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares e de interesse social*, Brasil

ATTHAJARIYAKUL, S., LEEPHAKPREEDA, T., 2004, "Real-time determination of optimal indoor-air condition for thermal comfort, air quality and efficient energy usage", *Energy and Buildings*, v.36, pp. 720-733

AULICIEMS, A, DE DEAR, R.J., 1986, "Air conditioning in Australia I - Human thermal factors", *Architectural Science Review*, v. 29, n° 3

BARBOSA, M.M.P., 2004, *Avaliação de conforto térmico na indústria moveleira de Itatiba - SP*, Dissertação de M.Sc., UNICAMP, Campinas, SP

BOGO, A., PIETROBON, C.E., BARBOSA, M.J., GOULART, S., PITTA, T., LAMBERTS, R., *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico,* Relatório Interno nº 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC, 1994

BRAGER, G.S., 1992, "Using laboratory-based models to predict comfort in office buildings", In: *ASHRAE Journal*, v.34, n.4, pp. 46-49, April

BRAGER, G.S., DE DEAR, R.J., 1998, "Thermal adaptation in the built environment: a literature review", *Energy and Buildings*, v.27, pp. 83-96

BUSCH, J.F., 1992, "A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand", *Energy and Buildings*, v. 18, pp. 235-249

CALVINO, F., LA GENNUSA, M., RIZZO, G., SCACCIANOCE, G., 2004, "The control of indoor thermal comfort conditions: introducing a fuzzy adaptive controller", *Energy and Buildings*, v.36, pp. 97-102

CARVALHO, T.C.P., FONTOLAN, F.R., EVANGELISTI, I.G., MICELI, S.M., 2003, "Avaliação do conforto térmico em salas de aula de uma escola de arquitetura em Araraquara/SP". In: *Anais do ENCAC/COTEDI 2003 - III Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre*

Conforto e Desempenho Energético de Edificações, pp. 433-440, Curitiba

CEPEL, 2001, *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Brasília

CHUNG, T.M., TONG, W.C., 1990, "Thermal comfort study of young chinese people in Hong Kong", *Building and Environment*, v. 25. n. 4, pp. 317-328

COUTO, H.A., 1978, "Temperaturas extremas". In: *Fisiologia do trabalho aplicada*, Ibérica Editora, Belo Horizonte

CROOME, D.J., GAN, G., AWBI, H.B., 1992, "Evaluation of thermal comfort and indoor air quality in offices", *Building Research and Information*, v.27, n.4, pp.211-225

DE DEAR, R.J, LEOW, K.G., AMEEN, A., 1991, "Thermal comfort in the humid tropics- Part 1: Climate chamber experiments on thermal acceptability in Singapore", In: *ASHRAE Transactions*, v. 97, I

DE DEAR, R.J., AULICIEMS, A., 1985, "Validation of the Predicted Mean Vote model of thermal comfort in six Australian field studies", In: *ASHRAE Transactions*, v.91(2B)

DE DEAR, R.J., BRAGER, G.S., COOPER, D.J., 1997, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference - Final Report*, In: ASHRAE RP 884, Atlanta

DE DEAR, R.J., FOUNTAIN, M.E., 1994, "Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate", In: *ASHRAE Transactions*, v. 100, II

DE OLIVEIRA, M.C.A., 2003, *Os primeiros estudos sobre conforto térmico no Brasil: a contribuição de Paulo Sá*, Dissertação de M.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil

DEGANI, C.M., CARDOSO, F.F., 2002, *A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico*, NUTAU/USP, São Paulo, SP

DUBOIS, D., DUBOIS, E.F., 1916, "A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known", In: *Archives of Internal Medicine*, 17:863-71

EPE, *Balanço Energético Nacional*, 2006, disponível para download no link http: //ben.epe.gov.br/script/default.asp, acessado em 06/12/2006

EPE, *Plano Nacional de Energia 2030*, 2007, disponível para download no link http://www.epe.gov.br/Lists/Estudos/Estudos.aspx, versão preliminar acessada em 04/12/2006

FALKENBERG, C.V., 2001, *Conforto Térmico em Situações Dinâmicas*, Dissertação de M.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

FANGER, P.O., 1967, "Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation", In: *ASHRAE Transactions*, 73(2), III4.1-III4.20

FANGER, P.O., 1970, *Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen

FANGER, P.O., 2001, "Human requirements in future air-conditioned environments", *International Journal of Refrigeration*, v.24, pp. 148-153

FANGER, P.O., CHRISTENSEN, N.K., 1986, "Perception of draught in ventilated spaces", *Ergonomics*, v. 29. n°2

FANGER, P.O., MELIKOV, A.K., HANZAWA, H., RING, J., 1988, "Air turbulence and sensation of draught", *Energy and Buildings*, v.12

FANGER, P.O., OSTERGAARD, J., OLESEN, S., MADSEN, T.L., 1974, "The effect on man's comfort of a uniform air flow from different directions", *ASHRAE Transactions*, v. 80, part 2

FANGER, P.O., TOFTUM, J., 2002, "Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates", *Energy and Buildings*, v.34, nº 6, pp.533-536

FOUNTAIN, M., ARENS, E., DE DEAR, R., BAUMAN, F., MIURA, K., 1994, "Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments", In: *ASHRAE Transactions*, v. 100, part 2

FREITAS, M.A.V., CHAVES, B.C., OLIVEIRA, L.B., MARQUES, L.G.C., REAL, M.V., PASSOS, P.R.A., ROLA, S.M., VALLE, T.F., BALTHAR, V.K.C.B.L.M., 2005, *Meta Física 7 – Racionalização da Energia no Ambiente Construído*, In: Programa de Bioeletricidade - Relatório Técnico Parcial, Rio de Janeiro

GAGGE, A.P., NISHI, Y ; GONZALEZ, R.R., 1972, *Standard effective temperature - A single index of temperature sensation and thermal discomfort*, In: Thermal Comfort and Moderate Heat Stress, Watford: Building Research Establishment Report #2, September

GAGGE, A.P., STOLWIJK, J.A.J., NISHI, Y., 1971, "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response", In: *ASHRAE Transactio*ns, v. 77, part. 1

GALLOIS, N.S.P., 2002, *Análise das condições de stress e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina*, Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

GAN, G., CROOME, D.J., 1994, "Thermal comfort models based on field measurements", In: *ASHRAE Transactions*, v.100, part I, pp.782-794

GIVONI, B., 1969, *Man, climate and architecture*, Londres, ASP

GIVONI, B., 1992, "Comfort climate analysis and building design guidelines", *Energy and Buildings*, v.18, n.1, pp. 11-23

GIVONI, B., MILNE, M., 1979, *Architectural Design Based on Climate, Energy Conservation Through Buildings Design*, McGraw Hill Book Company, USA

GOLDMAN, R.F., 1994, "Productivity in the United States: a question of capacity or motivation", In: *ASHRAE Transactions*, v. 100, part 2

GONÇALVES, W.B, 2000, *Estudo de índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte*, Dissertação de M.Sc., UFMG, Belo Horizonte, MG

GOULART, S., LAMBERTS, R, FIRMINO, S., 1998, *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*, 2ª ed., Florianópolis, SC

GOUVÊA, T.C., 2004, *Avaliação do conforto térmico: uma experiência na indústria da confecção*, Dissertação de M.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil

GRIEFAHN, B., KÜNEMUND, C., GEHRING, U., 2001, "Annoyance caused by draught: the extension of the draught-rating model (ISO 7730)", In: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21stCentury*, Windsor, UK, Oxford Brookes University, pp. 135-145

GUIMARÃES, G.D., 1985, *Análise energética na construção de habitações*, Dissertação de M.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

GUYTON, A.C., 1973, "Body temperature, temperature regulation, and fever". In: *Tratado de fisiologia médica*, 4ªed., capítulo 71, Atlanta

HACKENBERG, A.M., 2000, *Conforto e stress térmico em indústrias: uma avaliação das normas internacionais para o clima sub-tropical, enfocando a influência de algumas variáveis ambientais e individuais na sensação térmica do ser humano*, Tese de D.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP

HANZAWA, H., MELIKOW, A.K., FANGER, P.O., 1987, “Airflow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces”, *ASHRAE Transactions*, v.93, part 1

HOUGHTEN, F.C., YAGLOU, C.P., 1923, “Determining lines to equal comfort, and determination of the comfort zone”. In: *ASHVE Transactions*, v.29

HOUGHTEN, F.C; YAGLOU, C.P., 1924, “Cooling effect on human beings produced by various air velocities”. In: *ASHVE Transactions*, v.30

HUMPHREYS, M.A., 1976, “Field studies of thermal comfort compared and applied”, *Building Services Engineer*, v. 44

HUMPHREYS, M.A., 1978, “Outdoor temperatures and comfort indoors”, *Building Research and Practice*, v. 6, n° 2

HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F., 1995, “An adaptive guideline for UK office temperatures”, In: NICOL, J.F. *et. al.*, *Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century*, Londres, pp. 190-195

HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F., 1998, “Understanding the adaptive approach to thermal comfort”, In: *ASHRAE Transactions*, v. 104, part 1

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1989, *ISO 7243 - Hot environments-estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT- index (wet bulb globe temperature),* Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1993, ISO/TR 11079 - *Evaluation of cold environments - determination of required clothing insulation (IREQ)*, Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1995, *ISO 10551 – Ergonomics of the thermal environment - assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales*, Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1995, *ISO 9920 – Ergonomics of the thermal environment - estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*, Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998, *ISO 7226 - Thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities*, Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004, *ISO 7933 - Ergonomics of the thermal environment - analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*, Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004, *ISO 8996 - Ergonomics of the thermal environment - determination of metabolic rate*, Genebra

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005, *ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment - analytical determination and interpretation of thermal comfort using*

calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Genebra

JAMY, G.N., 1995, "Towards new indoor comfort temperatures for Pakistani buildings", In: NICOL, J. F. *et. al.*, *Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century*, Londres, pp.14-27

JONES, B.W., HSIEH, K., HASHINAGA, M., 1986, "The effect of air velocity on thermal comfort at moderate activity levels", In: *ASHRAE Transactions*, v. 92, part. 2B

JÚNIOR, C.G.R, TRIBESS, A., 2002, *Levantamento dos parâmetros de conforto térmico em ambientes de escritório com insuflamento de ar frio pelo piso*. In: Produção em Iniciação Científica da EPUSP, São Paulo, SP

KARYONO, T.H., 1995, "Thermal comfort for the Indonesian workers in Jakarta", *Building Research and Information*, v. 23, n° 6

KOCH, W., JENNINGS, B.H., HUMPHREYS, C.M., 1960, "Environmental study II - Sensation responses to temperature and humidity under still air conditions in the comfort range", In: *ASHRAE Transactions*, v. 66

KOENIGSBERGER, O.H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S.V., 1977, *Viviendas y edifícios en zonas cálidas y tropicales*, Paraninfo, Madri

KOSONEN, R., TAN, F., 2004, "Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index", *Energy and Buildings*, v.36, pp. 987-993

LABORATÓRIO DE MEIOS POROSOS E PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS (LMPT/UFSC), 2003, *Manual do Confortímetro Sensu*, Florianópolis, SC

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R, 2004, *Eficiência energética na agricultura*, 2ª ed., revisada, São Paulo, ProLivros

LAMBERTS, R., GHISI, E., DE ABREU, A.L.P., CARLO, J.C., BATISTA, J.O., *Apostila da disciplina "Desempenho térmico de edificações",* Florianópolis, UFSC, 2006, disponível para download em http://www.labeee.ufsc.br/graduacao/ecv_5161/ecv_5161.html, acessado em 23/07/2006

LOMARDO, L.L.B., 1988, *O consumo de energia nos grandes prédios comerciais: estudos de caso*, Dissertação de M.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

LOMARDO, L.L.B., 2000, *Estudo para uma regulação de estímulo à eficiência energética dos edifícios*, Tese de D.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

LOMARDO, L.L.B., ROSA, L.P., 1998, "Legislação para tornar os edifícios mais racionais", *Finestra Brasil*, v.12, pp.104-105

LOMARDO, L.L.B., ROSA, L.P., 2004a, "Estudo para o suporte de uma regulação para a eficiência energética de prédios comerciais no

Brasil", *X CBE – X Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

LOMARDO, L.L.B., ROSA, L.P., 2004b, "The brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation", *Energy and Buildings*, v.36, n.2, pp. 89-95

LORSCH, H.G., ABDOU, O.A., 1994a, "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

LORSCH, H.G., ABDOU, O.A., 1994b, "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

LOVEDAY, D.L., PARSONS, K.C., TAKI, A.H., HODDER, S.G., 2002, "Displacement ventilation environments with chilled ceilings: thermal comfort design within the context of the BS EN ISO7730 versus adaptive debate", *Energy and Buildings*, v.34, pp.573-579

MCCULLOUGH, E.A., OLENSEN B.W., HONG, S., 1994, "Thermal insulation provided by chairs", In: *ASHRAE Transactions*, v. 100, I, pp. 795-802

MCINTYRE, D.A., 1978, "Preferred air speeds for comfort in warm conditions", *ASHRAE Transactions*, v. 84, part 2

MCINTYRE, D.A., 1980, *Indoor Climate*, Londres, Applied Science Publishers

MCNALL, P.E., ROHLES, F.H., NEVINS, R.G., SPRINGER, W., JAAX, J, 1967, "Thermal comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity", In: *ASHRAE Transactions*, v. 73

MEESE, G.B., KOK, R., LEWIS, M.I., WYON, D.P., 1984, "A laboratory study of the effects of moderate thermal stress on the performance of factory workers", *Ergonomics*, v. 27, n° 1, pp. 19-43

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA, *Normais Climatológicas (1961-1990)*, Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília, DF, 1992

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, *Normais Climatológicas (1931-1960)*, Instituto Nacional de Meteorologia, Rio de Janeiro, RJ, 1979

MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1990, *Norma Regulamentadora 17 – Ergonomia*, Brasil, disponível para download no link http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras, acessado em 14/07/2006

MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1995, *Norma Regulamentadora 15 – Atividades e operações insalubres*, Brasil, disponível para download no link http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras, acessado em 14/07/2006

MODERA, M.P., 1993, "Skin temperature and evaporative heat loss variations for men and women in thermal comfort", In: *ASHRAE Transactions*, v. 99, II

NÄÄS, I.A., SEVEGNANI, K.B., MARCHETO, F.G., ESPELHO, J.C.C., MENEGASSI, V., SILVA, I.J.O., 2001, "Avaliação térmica de

telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida", *Revista de Engenharia Agrícola de Jaboticabal*, v.21, n.2, pp.121-126

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 1968, "Thermal Environment", In: *NASA CR-1205 - Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment*, chapter 6, Washington D.C.

NELSON, T.M., NILSSON, T.H., HOPKINS, G.W., 1987, "Thermal comfort: advantages and deviations", In: *ASHRAE Transactions*, v. 93, part 1

NICOL, F., 2004, "Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics", *Energy and Buildings*, v.36, pp. 628-637

NICOL, J.F., 1995, "Thermal comfort and temperature standards in Pakistan", In: NICOL, J.F. *et. al.*, *Standards for thermal comfort - Indoor air temperature standards for the 21st century*, Londres, pp. 149-157

NICOL, J.F., HUMPHREYS, M.A., 2001, "Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings", In: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21stCentury*, Windsor, UK, Oxford Brookes University

NOGUEIRA, M.C.J.A, DURANTE, L.C., NOGUEIRA, J.S., 2005, "Conforto térmico na escola pública em Cuiabá – MT: estudo de caso", In: *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v.14, Rio Grande, RS

OLESEN, B.W., 1993, “Standards for design and evaluation of the indoor thermal environment”, In: *ASHRAE Journal*, pp. 20-25, August

OLESEN, S., BASSING, J.J., FANGER, P.O., 1972, “Physiological comfort conditions at sixteen combinations of activity, clothing, air velocity and ambient temperature”, In: *ASHRAE Transactions*, v.78, part 2

OLGYAY, V., 1963, *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*, 4ª ed., Princeton University Press, Nova Jersey

OLGYAY, V., 1968, *Clima y Arquitectura en Colombia*, Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, Cali, Colombia

RIBEIRO, B.A., 1945, *Contribuição ao estudo térmico*, In: Boletim nº 86, Instituto de Higiene de São Paulo, São Paulo, SP

ROHLES, F.H., HAYTER, R.B., MILLIKEN, G., 1975, “Effective temperature (TE*) as a predictor of thermal comfort”, In: *ASHRAE Transactions*, v. 81, part. 2

ROHLES, F.H., KONZ, S.A., JONES, B.W., 1983, “Ceiling fans as extenders of the summer comfort envelope”, *ASHRAE Transactions*, v.89, part 1

ROHLES, F.H., NEVINS, R.G., 1971, “The nature of thermal comfort for sedentary man”, In: *ASHRAE Transactions*, 77(1), pp. 239-246

ROHLES, F.H., NEVINS, R.G., SPRINGER, W., FEYERHERM, A.M., 1966, "Temperature – Humidity chart for thermal comfort of seated persons", In: *ASHRAE Transactions*, v.72, part I

ROHLES, F.H., WOODS, J., NEVINS, R., 1974, "The effects of air movement and temperature on the thermal sensations of sedentary man", *ASHRAE Transactions*, v. 80, part 1

ROLA, S.M., 2000, *Bambu como material de construção: potencialidades e limitações do seu uso na habitação de interesse social em grandes centros urbanos*, Dissertação de M.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ

ROLA, S.M., CRUZ, A.B.S., SILVA, N.F., 2002a, *Racionalização da energia para habitações – casa ecológica*, In: In: *Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano*, NUTAU/USP, São Paulo, SP

ROLA, S.M., MACHADO, L.F.C., BARROSO-KRAUSE, C.M.L., ROSA, L.P., 2003a, "Naturação, água e o futuro das cidades no contexto das mudanças ambientais globais", *Congresso Brasileiro de Arquitetos*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

ROLA, S.M., MACHADO, L.F.C., VICUÑA, J.U., 2003b, "Naturação: história de um conceito e definição de uma tecnologia", *Congresso Brasileiro de Arquitetos*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

ROLA, S.M., VICUÑA, J.U., ROSA, L.P., 2002b, "Techos naturados como herramienta para el desarrollo sustentable en viviendas ecológicas en Brasil". In: *II Taller Internacional de Trabajo Social*, Havana

ROWLEY, F.B., JORDAN, R.C., SNYDER, W.E., 1947, "Comfort reactions of workers during occupancy of air conditioned offices", In: *ASHVE Transactions*, v. 53

RUAS, A.C., 1999, *Avaliação de conforto térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais*, Dissertação de M.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil

RUAS, A.C., 2002, *Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software*, Tese de D.Sc., UNICAMP, São Paulo, SP, Brasil

SÁ, P., 1934, "Estudos para o estabelecimento de uma escala de temperaturas efetivas no Brasil", *Revista Brasileira de Engenharia*, 27, n.3, pp.67-69

SÁ, P., 1936, *Estudos sobre o conforto thérmico e o conforto visual no Brasil.Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Technologia*, Rio de Janeiro, RJ

SCHEATZLE, D.G., WU, H., YELLOTT, J., 1989, "Extending the summer comfort envelope with ceiling fans in hot, arid climates", *ASHRAE Transactions*, v. 95, part 1

SCHILLER, G.E., 1990, "A comparison of measured and predicted comfort in office buildings", In: *ASHRAE Transactions*, v. 96, part. I

SCHILLER, G.E., ARENS, E.A., BAUMAN, F.S., BENTON, C., FOUNTAIN, M., DOHERTY, T., 1988, "A field study of thermal environments and comfort in office buildings", In: *ASHRAE Transactions*, v. 94, part. 2

SECO, A.L.R., SAVIATO, B., DE MORAES, C.A., NAKAGAWA, F.T., LACERDA, M., ROMANO, M.V., SAKAI, N., *Seminário da disciplina "Introdução ao estudo da medicina II" – tema: Termoregulação,* Florianópolis, UFSC, 2005, disponível no link http://www.cristina.prof.ufsc.br/sm_2005_1_med7002.htm, acessado em 17/12/2006

SENSHARMA, N.P., WOODS, J.E., GOODWIN, A.K., 1998, "Relationships between the indoor environment and productivity: a literature review", In: *ASHRAE Transactions*, v. 104, part. 1A

TANABE, S., KIMURA, K., 1987, "Thermal comfort requirements under hot and humid conditions", In: *Proceedings of the First ASHRAE for East Conference on Air Conditioning in Hot Climates*, Cingapura

TANABE, S., KIMURA, K., 1994, "Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions", In: *ASHRAE Transactions*, v.100, part.2

TANABE, S., KIMURA, K., HARA, T., 1987, "Thermal comfort requirements during the summer season in Japan", In: *ASHRAE Transactions*, v. 93, part. I

TAVARES, S.F., LAMBERTS, R., 2005, "Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil, *ENCAC 2005 – VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e ELACAC 2005 – IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído*, Maceió, AL, Brasil

THORSHAUGE, J., 1982, “Air velocity fluctuations in the occupied zone of ventilated spaces”, *ASHRAE Transactions*, v. 88, part 2

TOFTUM, J., 1994, “Draught complaints in the industrial work environment”, Danmarks Tekniske Universitet, pp. 1-100

VAN DER LINDEN, A.C., BOERSTRA, A.C., RAUE, A.K., KURVERS, S.R., DE DEAR, R.J., 2006, “Adaptive temperature limits: a new guideline in the Netherlands - a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate”, *Energy and Buildings*, v.38, pp.8-17

VAN WYLEN, G.J., SONNTAG, R.E., BORGNAKKE, C., 1998, *Fundamentos da termodinâmica*, São Paulo, ed. Edgard Blücher Ltda.

VERGARA, L.G.L., 2001, *Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do hospital universitário de Florianópolis*, Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, SC

VERNON, H.M., WARNER, C.G., 1932, “The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures”, *J. Hyg. Camb.*,v. 32, pp. 431-462

WOODS, J.E., WINACOR, G., ALAGHEHBAND, A., ADAMS, S.K., MALDONADO, E.A.B., 1981, “Relationships between measures of thermal environment and measures of worker productivity”, In: *ASHRAE Transactions*, v. 87, part 2

XAVIER, A.A.P., 1999, *Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis*, Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis, SC

XAVIER, A.A.P., LAMBERTS, R., VOLPATO, C.G., 2000, "Relacionamento entre sensações térmicas e percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente em estudos de campo", *ENTAC 2000 – VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Modernidade e Sustentabilidade*, Salvador, BA, Brasil

YAGLOU, C.P., 1947, "A method for improving the effective temperature index", In: *ASHVE Transactions*, v.53

YAGLOU, C.P., DRINKER, P, 1929, "The summer comfort zone", In: *ASHVE Transactions*, v. 35

YAGLOU, C.P., MILLER, W.E., 1925, "Effective temperature with clothing", In: *ASHVE Transactions*, v.31, pp. 89 – 99

ZHOU, X., OUYANG, Q., LIN, G., ZHU, Y., 2006, "Impact of dynamic airflow on human thermal response", *Indoor Air*, v.16, pp.348-355

ANEXO I – ÍNDICES DE VESTIMENTA, I_{cl}, SEGUNDO A NORMA INTERNACIONAL ISO 7730 (1994)

Peça de Vestuário	(clo)	(m² .°C / W)
Roupa de baixo		
Sutiã	0,01	0,06
Calcinha	0,03	0,19
Cueca	0,03	0,19
Ceroula até acima do joelho	0,06	0,39
Ceroula até abaixo do joelho	0,08	0,52
Ceroula até o tornozelo	0,12	0,77
Baby-doll acima do joelho	0,14	0,90
Baby-doll altura do joelho	0,16	1,03
Camiseta sem manga	0,05	0,32
Camiseta com manga curta	0,08	0,52
Camiseta com manga comprida	0,12	0,77
Calças		
Calça folgada	0,22	1,42
Calça justa	0,26	1,68
Calça de trabalho	0,2	1,55
Calça fina	0,2	1,29
Calça média	0,3	1,61
Calça flanela	0,3	1,81
Jaquetas e Paletós		
Jaqueta feminina sem botão	0,26	1,68
Jaqueta de trabalho	0,26	1,68
Jaqueta de trabalho, feminina	0,24	1,55
Paletó tipo jaquetão, uma fileira de botões	0,36	2,32
Paletó tipo jaquetão, duas fileiras de botões	0,42	2,71
Paletó justo, uma fileira de botões	0,40	2,58
Parka	0,70	4,52

Peça de Vestuário	(clo)	(m² .°C / W)
Camisetas, camisas e blusas		
Camisa com gola, manga comprida	0,33	2,13
Camisa esporte, manga curta	0,17	1,10
Camiseta sem manga	0,18	1,16
Blusa gola olímpica, manga comprida	0,34	2,19
Blusa feminina com gravata, manga comprida	0,25	1,61
Blusa feminina gola canoa, manga média	0,27	1,74
Camisa de baixo	0,09	0,58
Camisa de baixo, manga comprida	0,12	0,77
Camisa fina, manga comprida	0,20	1,29
Camisa flanela, manga comprida	0,30	1,94
Corpete	0,06	0,39
Suéteres, coletes		
Manga comprida, gola em V	0,25	1,61
Manga comprida, gola canoa	0,36	2,32
Manga curta, gola em V	0,20	1,29
Manga curta, gola canoa	0,28	1,81
Sem manga, gola em V	0,13	0,84
Sem manga, gola canoa	0,22	1,42
Tipo cardigã, manga comprida, gola em V	0,23	1,48
Tipo cardigã, manga comprida, gola canoa	0,31	2,00
Tipo cardigã, manga curta, gola em V	0,17	1,10
Tipo cardigã, manga curta, gola canoa	0,22	1,42
Colete	0,17	1,10
Colete de terno	0,13	0,84
Casacos		
Altura do quadril, folgado	0,19	1,23
Alto isolamento, altura do quadril, folgado	0,46	2,97
Alto isolamento, acima do joelho	0,69	4,45
Acima do joelho	0,28	1,81
Acima do joelho com capuz	0,79	5,10
Abaixo do joelho	0,56	3,61
Tipo jaqueta	0,55	3,55
Tipo jaqueta, múltiplos componentes	0,69	4,45

Peça de Vestuário	(clo)	(m² .°C / W)
Sapatos e meias		
Meia grossa, 3/4	0,11	0,71
Meia grossa, altura do tornozelo	0,05	0,32
Meia grossa, altura do joelho	0,06	0,39
Meia fina, altura do joelho	0,03	0,19
Meia-calça	0,10	0,65
Meia esportiva	0,03	0,19
Sapatos	0,05	0,32
Sapatos de camurça, sola de borracha	0,02	0,13
Sapatos, sola dura, vinil	0,03	0,19
Tênis lona, sola leve	0,02	0,13
Sandálias, vinil	0,02	0,13
Saias		
Até o tornozelo	0,23	1,48
Até 0,15 m abaixo do joelho	0,18	1,16
Até 0,15 m acima do joelho	0,10	0,65
Até o joelho	0,17	1,10
Até o joelho, totalmente pregueado	0,18	1,16
Até o joelho, plissado	0,26	1,68
Saia grossa	0,25	1,61
Vestidos		
Até o joelho, manga comprida, com colarinho	0,35	2,26
Até o joelho, manga curta com colarinho	0,29	1,87
Até o joelho, sem manga, gola esporte	0,23	1,48
Vestido leve	0,15	0,97
Vestido grosso, manga comprida	0,40	2,58
Shorts e Bermudas		
Short	0,06	0,39
Bermuda até o joelho	0,11	0,71
Jardineiras e macacões		
Jardineira	0,28	1,81
Macacão manga comprida	0,49	3,16
Macacão feminino com cinto, manga comprida	0,46	2,97

Peça de Vestuário	(clo)	(m² .°C / W)
Roupas de proteção (EPI)		
Macacão de proteção química, manga comprida	0,60	3,87
Avental até o joelho, retardante de chama	0,12	0,77
Guarda-pó, acima do joelho	0,34	2,19
Guarda-pó, abaixo do joelho	0,36	2,32
Casaco, altura do quadril, aluminizado	0,63	4,06
Casaco, até a panturrilha, aluminizado	0,94	6,06
Capa contra chuva, altura do quadril	0,31	2,00
Mangas ombro-pulso, aluminizadas	0,11	0,71
Mangas braço-pulso, aluminizadas	0,05	0,32
Perneiras, retardante de chama	0,08	0,52
Roupas para ambientes frios		
Jaqueta alto isolamento	0,40	2,58
Jaqueta alto isolamento com capuz	0,37	2,39
Calça alto isolamento	0,35	2,26
Macacão alto isolamento	0,80	5,16
Cadeiras		
De madeira ou metal	0,00	0,00
Com estofamento ou de giro	0,10	0,65
Poltrona de braço	0,20	1,29

ANEXO II – ÍNDICES DE NÍVEIS DE METABOLISMO GERADO POR CADA TIPO DE ATIVIDADE FÍSICAS, SEGUNDO A NORMA INTERNACIONAL ISO 7730 (1994)

Atividade Desempenhada	(met)	(W/m²)
Repouso		
Dormindo	0,7	41
Reclinado	0,8	46
Sentado, quieto	1,0	58
Em pé, sem esforço	1,2	70
Andando em superfície plana, 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
Andando em superfície plana, com carga, a 4 km/h		
10kgf	3,2	185
30 kgf	4,7	250
50 kgf	6,7	360
Em aclive, sem carga, a 3 km/h		
Inclinação de 5°	3,3	195
Inclinação de 10°	4,7	275
Inclinação de 15°	6,7	390
Em declive, sem carga, a 5 km/h		
Inclinação de 5°	2,2	130
Inclinação de 10°	1,9	115
Inclinação de 15°	2,1	120
Subindo escada, altura de degrau = 0,17m		
80 degraus / min	7,6	440
Descendo escada, altura de degrau = 0,17m		
80 degraus / min	2,7	155

Atividade Desempenhada	(met)	(W/m²)
Trabalho Doméstico		
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
Serviço de Carpintaria		
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
Dirigindo / Pilotando		
Carro	1,4	80
Motocicleta	2,0	116
Veículo Pesado	3,2	186
Avião, vôo normal	1,2	70
Avião, vôo por instrumentos	1,8	105
Avião, vôo de combate	2,4	140
Outras Atividades		
Balconista	2,0	116
Professor	1,6	95
Borracheiro	2,2 a 3,0	128 a 175
Relojoeiro	1,1	65
Trabalho leve em bancada, sentado	1,1	64
Atividades sedentárias em geral	1,2	70
Agricultura		
Escavando com pá (24 x /min)	6,5	380
Utilizando machado (peso = 2 kg, 33 x / min)	8,6	500
Cavando com enxada (peso da enxada = 1,25 kgf)	2,9	170
Arando com junta de cavalos	4,0	235
Arando com trator	2,9	170
Aplicando fertilizante manualmente	4,8	280
Aplicando fertilizante com máquina puxada por cavalos	4,3	250
Aplicando fertilizante com trator	1,6	95

Atividade Desempenhada	(met)	(W/m²)
Indústria Mecânica		
Trabalho leve em máquina ferramenta	1,7	100
Trabalho médio em máquina ferramenta	2,4	140
Trabalho pesado em máquina ferramenta	3,6	210
Trabalho leve ferramenta manual (polimento leve)	1,7	100
Trabalho médio ferramenta manual (polimento)	2,7	160
Trabalho pesado ferramenta manual (furação pesada)	3,9	230
Construção Civil		
Assentamento de tijolos sólidos (peso = 3,8 kgf)	2,6	150
Assentamento de tijolos furados (peso = 4,2 kgf)	2,4	140
Colocando pedregulho num carrinho	4,7	275
Empurrando carrinho em terreno plano, carga de 100 kgf, a 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, a 11,2 m/min, sem carga	5,0	290
Subindo em escada portátil com 70° de inclinação, a 11,2 m/min, com 20 kgf de carga	6,2	360
Cavando uma vala	4,6 a 5,3	270 a 310
Trabalho em Fundição		
Moldagem manual de peças pequenas	2,4	140
Moldagem manual de peças médias	4,9	285
Moldagem manual de peças usando martelete pneumático	3,0	175
Limpeza e rebarbação com martelete pneumático	3,0	175
Limpeza e rebarbação por esmerilhamento	3,0	175

Atividade Desempenhada	(met)	(W/m²)
Esportes / Atividades Lúdicas		
Dançar	2,4 a 4,4	140 a 255
Jogar tênis	3,6 a 4,0	210 a 270
Jogar basquete	5,0 a 7,6	290 a 440
Luta livre, para competição	7,0 a 8,7	410 a 505
Esquiar em nível plano, a 9 km/h	7,0	405
Correr a 15 km/h	9,5	550
Trabalho em Escritórios		
Datilografar	1,2 a 1,4	70 a 81
Desenhar	1,1 a 1,3	64 a 76
Redigir	1,0	60
Ler, sentado	1,0	55
Almoxarifado, de pé	1,4	80
Setor de arquivos, sentado	1,2	70
Levantando pacotes / embalagens	2,1	120

ANEXO III – ANTEPROJETO DA NORMA TÉCNICA ABNT NBR 15220–3

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 3974-2300
Fax: (21) 2220-8249/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

SET 2003 | Projeto 02:135.07-001/3

Desempenho térmico de edificações

Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social

Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003
ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações
Thermal performance in buildings – Brazilian Bioclimatic Zones and Building Guidelines for Low-Cost Houses.
Descriptors: Thermal performance. Buildings.

Palavras-chave:	Desempenho térmico. Edificações	23 páginas

Sumário

Prefácio
Introdução
1 Objetivos e campo de aplicação
2 Referências normativas
3 Definições
4 Zoneamento bioclimático brasileiro
5 Parâmetros e condições de contorno
6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira
7 Estratégias de condicionamento térmico
ANEXOS
A Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados
B Zoneamento Bioclimático do Brasil
C Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local
D Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT /CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta norma, sob o título geral "Desempenho térmico de edificações", tem previsão de conter as seguintes partes:

Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Esta parte da NBR contém os anexos A e B, de caráter normativo, e os anexos C e D, de caráter informativo.

Introdução

A avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições in-loco de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Esta parte da NBR apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Propôs-se, então, a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

Adaptou-se uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni ("Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines". Energy and Building, 18 (1), 11-23, 1992), detalhada no anexo B.

Esta Norma não trata dos procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações, os quais podem ser elaborados através de cálculos, de medições *in loco* ou de simulações computacionais.

1 Objetivos e campo de aplicação

1.1 Esta parte da NBR estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.

1.2 Esta parte da NBR estabelece recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta parte da NBR. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das mesmas. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.07-001/1:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.
Projeto 02:135.07-001/2:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.
Projeto 02:135.07-001/4:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.
Projeto 02:135.07-001/5:2003 - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico.
ASHRAE: 1996 - Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines.

3 Definições

Para os efeitos desta parte da NBR, aplicam-se as definições, símbolos e unidades dos projetos 02:135.07-001/1, 02:135.07-001/2, 02:135.07-001/4 e 02:135.07-001/5.

4 Zoneamento bioclimático brasileiro

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a figura 1.

O anexo A apresenta a relação de 330 cidades cujos climas foram classificados e o anexo B apresenta a metodologia adotada na determinação do zoneamento.

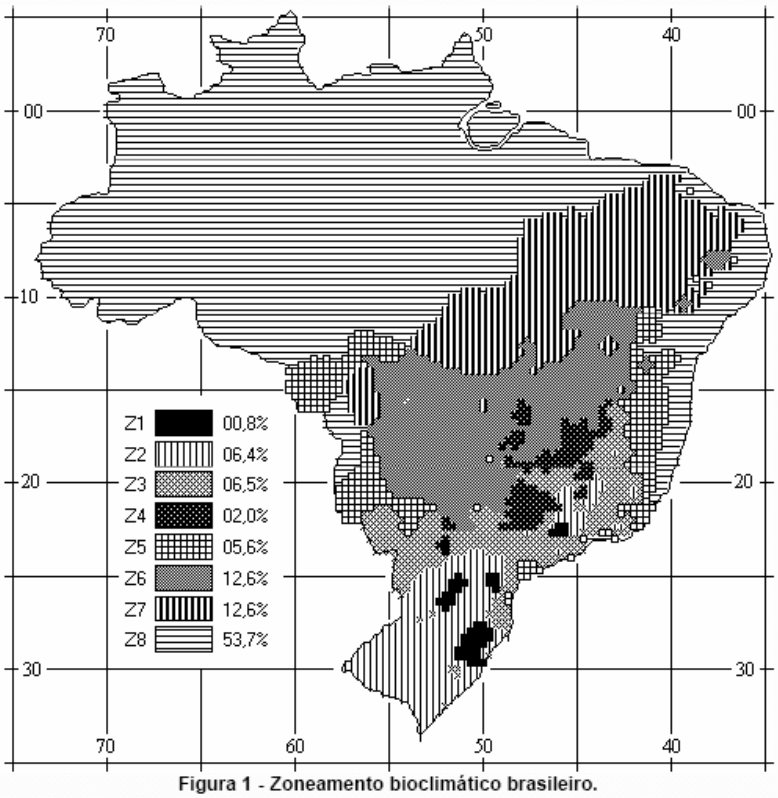


Figura 1 - Zoneamento bioclimático brasileiro.

5 Parâmetros e condições de contorno

Para a formulação das diretrizes construtivas - para cada Zona Bioclimática Brasileira (seção 6) - e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo (seção 7), foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

a) tamanho das aberturas para ventilação;
b) proteção das aberturas;
c) vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura)[1]; e
d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

As informações constantes das seções 6 e 7, a seguir, não têm caráter normativo mas apenas orientativo.

6 Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática

Diretrizes construtivas relativas a aberturas, paredes e coberturas para cada zona bioclimática são apresentadas de 6.1 a 6.8. Limites indicativos são apresentados no anexo C.

6.1 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 1
Na zona bioclimática 1 (ver figuras 2 e 3) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3.

[1] Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)

Figura 2 - Zona Bioclimática 1

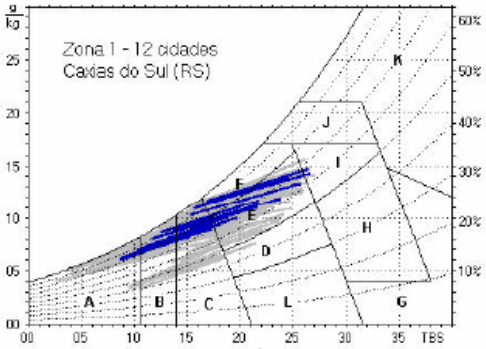


Figura 3 - Carta Bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS

Tabela 1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 1

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o período frio

Tabela 2 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 1

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Tabela 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 1

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

6.2 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2

Na zona bioclimática 2 (ver figuras 4 e 5) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6.

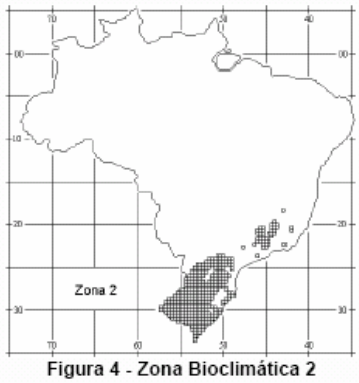


Figura 4 - Zona Bioclimática 2

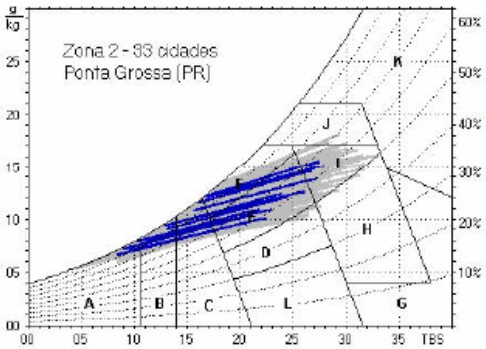


Figura 5 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR

Tabela 4 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Tabela 5 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2

Vedações externas
Parede: Leve
Cobertura: Leve isolada

Tabela 6 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

6.3 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3

Na zona bioclimática 3 (ver figuras 6 e 7) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 7, 8 e 9.

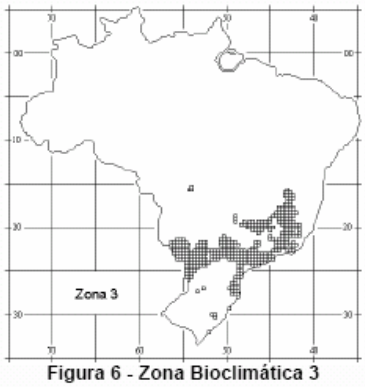


Figura 6 - Zona Bioclimática 3

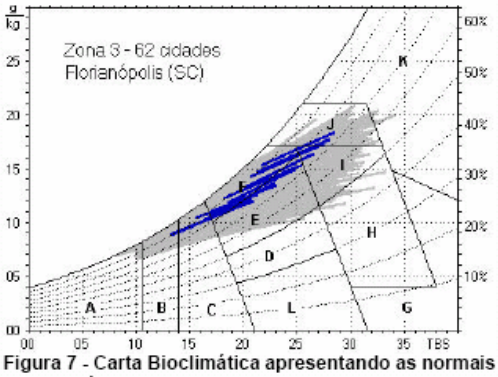


Figura 7 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC

Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

6.4 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 4
Na zona bioclimática 4 (ver figuras 8 e 9) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 10, 11 e 12.

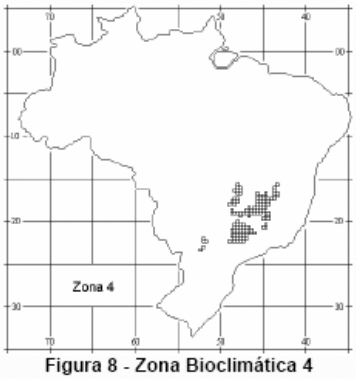


Figura 8 - Zona Bioclimática 4

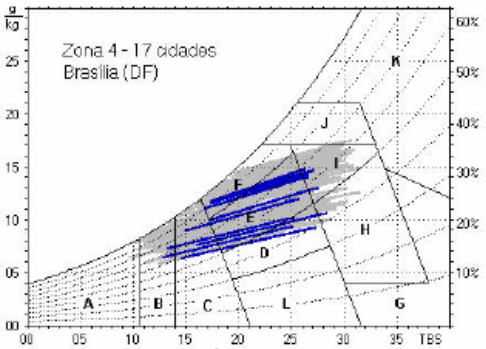


Figura 9 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF

Tabela 10 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 4

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela 11 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 4

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

Tabela 12 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 4

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos H, J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

6.5 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 5
Na zona bioclimática 5 (ver figuras 10 e 11) devem ser atendidas as diretrizes construtivas apresentadas nas tabelas 13, 14 e 15.

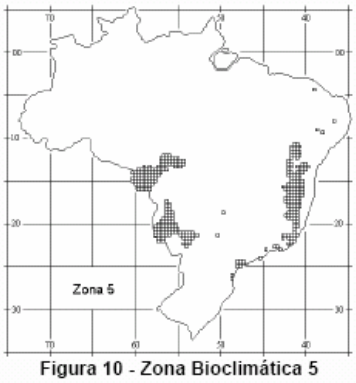


Figura 10 - Zona Bioclimática 5

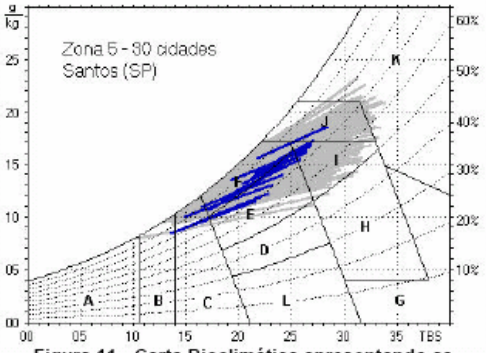


Figura 11 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Santos, SP

Tabela 13 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 5

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela 14 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 5

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

Tabela 15 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 5

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

6.6 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 6

Na zona bioclimática 6 (ver figuras 12 e 13) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 16, 17 e 18.

Figura 12 - Zona Bioclimática 6

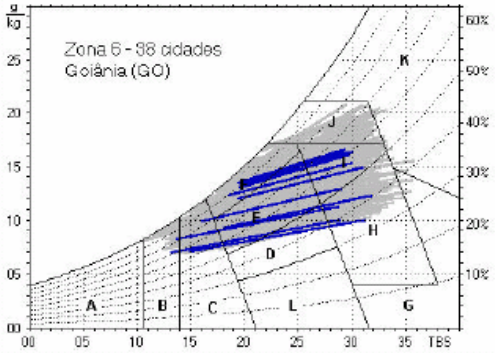


Figura 13 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Goiânia, GO

Tabela 16 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 6

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Tabela 17 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 6

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Leve isolada

Tabela 18 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 6

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota: Os códigos H, J e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

6.7 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7

Na zona bioclimática 7 (ver figuras 14 e 15) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 19, 20 e 21.

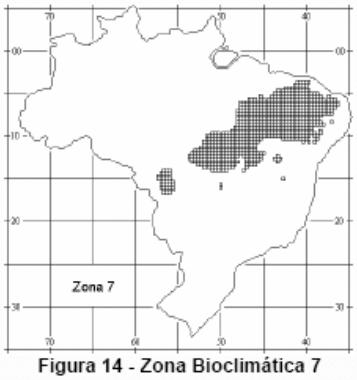


Figura 14 - Zona Bioclimática 7

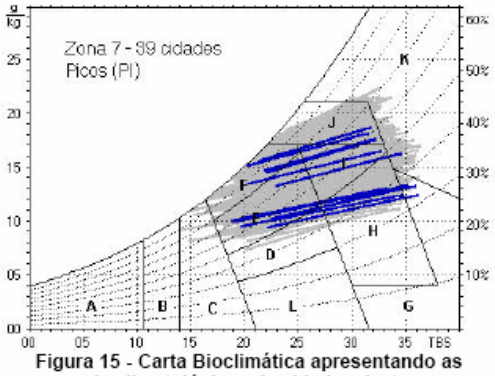


Figura 15 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI

Tabela 19 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

Tabela 20 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Pesada

Tabela 21 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Nota: Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).	

6.8 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8

Na zona bioclimática 8 (ver figuras 16 e 17) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 22, 23 e 24.

Figura 16 - Zona Bioclimática 8

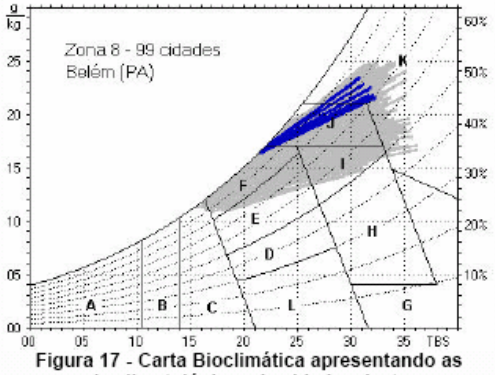


Figura 17 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA

Tabela 22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Tabela 23 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
Notas: 1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas. 2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências: a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1.

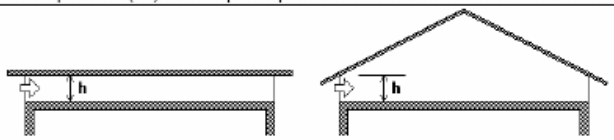


Figura 18 - Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático

$$FT = 1{,}17 - 1{,}07 \cdot h^{-1{,}04} \qquad (1)$$

Onde:

FT igual ao fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional);

h igual à altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.

Nota:

Para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, FT = 1.

Tabela 24 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada permanente Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes. O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

7 Estratégias de condicionamento térmico

A tabela 25 apresenta o detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.

Tabela 25 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

Tabela 25 (conclusão) - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.

Estratégia	Detalhamento
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

_____

//ANEXO

Anexo A (normativo)
Relação das 330 cidades cujos climas foram classificados

A.1 Notas sobre as colunas

A primeira coluna (UF) indica a Unidade Federativa a que a cidade pertence e a quarta coluna (Zona) indica a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida. Os estados e as cidades são apresentados em ordem alfabética. A terceira coluna apresenta as estratégias bioclimáticas recomendadas, de acordo com a metodologia utilizada.

UF	Cidade	Estrat.	Zona
AC	Cruzeiro do Sul	FJK	8
AC	Rio Branco	FIJK	8
AC	Tarauacá	FJK	8
AL	Água Branca	CFI	5
AL	Anadia	FIJ	8
AL	Coruripe	FIJ	8
AL	Maceió	FIJ	8
AL	Palmeira dos Índios	FIJ	8
AL	Pão de Açúcar	FIJK	8
AL	Pilar	FIJ	8
AL	Porto de Pedras	FIJ	8
AM	Barcelos	FJK	8
AM	Coari	FJK	8
AM	Fonte Boa	FJK	8
AM	Humaitá	FIJK	8
AM	Iaurete	FJK	8
AM	Itacoatiara	FJK	8
AM	Manaus	FJK	8
AM	Parintins	JK	8
AM	Taracua	FJK	8
AM	Tefé	FJK	8
AM	Uaupes	FJK	8
AP	Macapá	FJK	8
BA	Alagoinhas	FIJ	8
BA	Barra do Rio Grande	CDFHI	6
BA	Barreiras	DFHIJ	7
BA	Bom Jesus da Lapa	CDFHI	6
BA	Caetité	CDFI	6
BA	Camaçari	FIJ	8
BA	Canavieiras	FIJ	8
BA	Caravelas	FIJ	8
BA	Carinhanha	CDFHI	6
BA	Cipó	FIJK	8
BA	Correntina	CFHIJ	6
BA	Guaratinga	FIJ	8
BA	Ibipetuba	CFHIJ	6
BA	Ilhéus	FIJ	8
BA	Irecê	CDFHI	6
BA	Itaberaba	FI	8
BA	Itiruçu	CFI	5
BA	Ituaçu	CDFHI	6
BA	Jacobina	FI	8
BA	Lençóis	FIJ	8
BA	Monte Santo	CFHI	6
BA	Morro do Chapéu	CFI	5
BA	Paratinga	FHIJK	7
BA	Paulo Afonso	FHIJK	7
BA	Remanso	DFHI	7
BA	Salvador (Ondina)	FIJ	8
BA	Santa Rita de Cássia	CFHIJ	6
BA	São Francisco do Conde	FIJ	8
BA	São Gonçalo dos Campos	FIJ	8
BA	Senhor do Bonfim	FHI	7
BA	Serrinha	FIJ	8
BA	Vitória da Conquista	CFI	5

UF	Cidade	Estrat.	Zona
CE	Barbalha	DFHIJ	7
CE	Campos Sales	DFHIJ	7
CE	Crateús	DFHIJ	7
CE	Fortaleza	FIJ	8
CE	Guaramiranga	CFI	5
CE	Iguatu	DFHIJ	7
CE	Jaguaruana	FIJK	8
CE	Mondibim	FIJ	8
CE	Morada Nova	FHIJK	7
CE	Quixadá	FHIJK	7
CE	Quixeramobim	FHIJK	7
CE	Sobral	FHIJK	7
CE	Tauá	DFHIJ	7
DF	Brasília	BCDFI	4
ES	Cachoeiro de Itapemirim	FIJK	8
ES	Conceição da Barra	FIJ	8
ES	Linhares	FIJ	8
ES	São Mateus	FIJ	8
ES	Vitória	FIJ	8
GO	Aragarças	CFHIJ	6
GO	Catalão	CDFHI	6
GO	Formosa	CDFHI	6
GO	Goiânia	CDFHI	6
GO	Goiás	FHIJ	7
GO	Ipamerí	BCDFI	4
GO	Luziânia	BCDFI	4
GO	Pirenópolis	CDFHI	6
GO	Posse	CDFHI	6
GO	Rio Verde	CDFHI	6
MA	Barra do Corda	FHIJK	7
MA	Carolina	FHIJ	7
MA	Caxias	FHIJK	7
MA	Coroatá	FIJK	8
MA	Grajaú	FHIJK	7
MA	Imperatriz	FHIJK	7
MA	São Bento	FIJK	8
MA	São Luiz	JK	8
MA	Turiaçu	FIJ	8
MA	Zé Doca	FIJK	8
MG	Aimorés	CFIJK	5
MG	Araçuai	CFIJ	5
MG	Araxá	BCFI	3
MG	Bambuí	BCFIJ	3
MG	Barbacena	BCFI	3
MG	Belo Horizonte	BCFI	3
MG	Caparaó	ABCFI	2
MG	Capinópolis	CFIJ	5
MG	Caratinga	BCFI	3
MG	Cataguases	CFIJ	5
MG	Conceição do Mato Dentro	BCFI	3
MG	Coronel Pacheco	BCFIJ	3
MG	Curvelo	BCFIJ	3
MG	Diamantina	BCFI	3
MG	Espinosa	CDFHI	6
MG	Frutal	CFHIJ	6

Continuação

UF	Cidade	Estrat.	Zona
MG	Governador Valadares	CFIJ	5
MG	Grão Mogol	BCFI	3
MG	Ibirité	ABCFI	2
MG	Itabira	BCFI	3
MG	Itajubá	ABCFI	2
MG	Itamarandiba	BCFI	3
MG	Januária	CFHIJ	6
MG	João Pinheiro	CDFHI	6
MG	Juiz de Fora	BCFI	3
MG	Lavras	BCFI	3
MG	Leopoldina	CFIJ	5
MG	Machado	ABCFI	2
MG	Monte Alegre de Minas	BCFIJ	3
MG	Monte Azul	DFHI	7
MG	Montes Claros	CDFHI	6
MG	Muriaé	BCFIJ	3
MG	Oliveira	BCDFI	4
MG	Paracatu	CFHIJ	6
MG	Passa Quatro	ABCFI	2
MG	Patos de Minas	BCDFI	4
MG	Pedra Azul	CFI	5
MG	Pirapora	BCFHI	4
MG	Pitangui	BCFHI	4
MG	Poços de Calda	ABCF	1
MG	Pompeu	BCFIJ	3
MG	Santos Dumont	BCFI	3
MG	São Francisco	CFHIJ	6
MG	São João Del Rei	ABCFI	2
MG	São João Evangelista	BCFIJ	3
MG	São Lourenço	ABCFI	2
MG	Sete Lagoas	BCDFI	4
MG	Teófilo Otoni	CFIJ	5
MG	Três Corações	ABCFI	2
MG	Ubá	BCFIJ	3
MG	Uberaba	BCFIJ	3
MG	Viçosa	BCFIJ	3
MS	Aquidauana	CFIJK	5
MS	Campo Grande	CFHIJ	6
MS	Corumbá	FIJK	8
MS	Coxim	CFHIJ	6
MS	Dourados	BCFIJ	3
MS	Ivinhema	CFIJK	5
MS	Paranaíba	CFHIJ	6
MS	Ponta Porã	BCFI	3
MS	Três Lagoas	CFHIJ	6
MT	Cáceres	FIJK	8
MT	Cidade Vera	CFIJK	5
MT	Cuiabá	FHIJK	7
MT	Diamantino	FHIJK	7
MT	Meruri	CFHIJ	6
MT	Presidente Murtinho	BCFIJ	3
PA	Altamira	FJK	8
PA	Alto Tapajós	FJK	8
PA	Belém	FJK	8
PA	Belterra	FJK	8

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PA	Breves	FJK	8
PA	Conceição do Araguaia	FIJK	8
PA	Itaituba	FJK	8
PA	Marabá	FJK	8
PA	Monte Alegre	FIJ	8
PA	Obidos	FJK	8
PA	Porto de Moz	FJK	8
PA	Santarém (Taperinha)	FJK	8
PA	São Félix do Xingú	FIJK	8
PA	Soure	JK	8
PA	Tiriós	FIJ	8
PA	Tracuateua	FIJK	8
PA	Tucuruí	FJK	8
PB	Areia	FIJ	8
PB	Bananeiras	FIJ	8
PB	Campina Grande	FIJ	8
PB	Guarabira	FIJK	8
PB	João Pessoa	FIJ	8
PB	Monteiro	CFHI	6
PB	São Gonçalo	FHIJK	7
PB	Umbuzeiro	FI	8
PE	Arco Verde	FHI	7
PE	Barreiros	FJK	8
PE	Cabrobó	DFHI	7
PE	Correntes	FIJ	8
PE	Fernando de Noronha	FIJ	8
PE	Floresta	FHIK	7
PE	Garanhuns	CFI	5
PE	Goiana	FIJ	8
PE	Nazaré da Mata	FIJ	8
PE	Pesqueira	FI	8
PE	Petrolina	DFHI	7
PE	Recife	FIJ	8
PE	São Caetano	FIJ	8
PE	Surubim	FIJ	8
PE	Tapera	FIJ	8
PE	Triunfo	CFHI	6
PI	Bom Jesus do Piauí	DFHIJ	7
PI	Floriano	FHIJK	7
PI	Parnaíba	FIJ	8
PI	Paulistana	DFHIJ	7
PI	Picos	DFHIJ	7
PI	Teresina	FHIJK	7
PR	Campo Mourão	BCFI	3
PR	Castro	ABCF	1
PR	Curitiba	ABCF	1
PR	Foz do Iguaçu	BCFIJ	3
PR	Guaíra	BCFIJ	3
PR	Guarapuava	ABCF	1
PR	Ivaí	ABCFI	2
PR	Jacarezinho	BCFIJ	3
PR	Jaguariaiva	ABCFI	2
PR	Londrina	BCFI	3
PR	Maringá	ABCD	1
PR	Palmas	ABCF	1

Continuação

UF	Cidade	Estrat.	Zona
PR	Paranaguá	BCFIJ	3
PR	Ponta Grossa	ABCFI	2
PR	Rio Negro	ABCFI	2
RJ	Angra dos Reis	FIJ	8
RJ	Barra do Itabapoana	CFIJ	5
RJ	Cabo Frio	FIJ	8
RJ	Campos	CFIJ	5
RJ	Carmo	BCFIJ	3
RJ	Cordeiro	BCFIJ	3
RJ	Escola Agrícola	CFIJ	5
RJ	Ilha Guaíba	FIJ	8
RJ	Itaperuna	CFIJ	5
RJ	Macaé	CFIJ	5
RJ	Niterói	CFIJ	5
RJ	Nova Friburgo	ABCFI	2
RJ	Petrópolis	BCF	3
RJ	Piraí	BCFIJ	3
RJ	Rezende	BCFIJ	3
RJ	Rio de Janeiro	FIJ	8
RJ	Rio Douro	CFIJ	5
RJ	Teresópolis	ABCFI	2
RJ	Vassouras	BCFIJ	3
RJ	Xerém	CFIJ	5
RN	Apodí	FIJK	8
RN	Ceará Mirim	FIJ	8
RN	Cruzeta	FHIJK	7
RN	Florania	FHIJ	7
RN	Macaíba	FIJ	8
RN	Macau	FIJ	8
RN	Mossoró	FHIJK	7
RN	Natal	FIJ	8
RN	Nova Cruz	FIJ	8
RO	Porto Velho	FIJK	8
RS	Alegrete	ABCFI	2
RS	Bagé	ABCFI	2
RS	Bom Jesus	ABCF	1
RS	Caxias do Sul	ABCF	1
RS	Cruz Alta	ABCFI	2
RS	Encruzilhada do Sul	ABCFI	2
RS	Iraí	BCFIJ	3
RS	Passo Fundo	ABCFI	2
RS	Pelotas	ABCFI	2
RS	Porto Alegre	BCFI	3
RS	Rio Grande	BCFI	3
RS	Santa Maria	ABCFI	2
RS	Santa Vitória do Palmar	ABCFI	2
RS	São Francisco de Paula	ABCF	1
RS	São Luiz Gonzaga	ABCFI	2
RS	Torres	BCFI	3
RS	Uruguaiana	ABCFI	2
SC	Araranguá	ABCFI	2
SC	Camboriu	BCFIJ	3
SC	Chapecó	BCFI	3
SC	Florianópolis	BCFIJ	3
SC	Indaial	BCFIJ	3

UF	Cidade	Estrat.	Zona
SC	Lages	ABCF	1
SC	Laguna	ABCFI	2
SC	Porto União	ABCFI	2
SC	São Francisco do Sul	CFIJ	5
SC	São Joaquim	ABCF	1
SC	Urussanga	ABCFI	2
SC	Valões	ABCFI	2
SC	Xanxerê	ABCFI	2
SE	Aracajú	FIJ	8
SE	Itabaianinha	FIJ	8
SE	Propriá	FIJK	8
SP	Andradina	CFHIJ	6
SP	Araçatuba	CFIJK	5
SP	Avaré	BCFIJ	3
SP	Bandeirantes	BCFI	3
SP	Bariri	BCFI	3
SP	Barra Bonita	BCFI	3
SP	Campinas	BCFI	3
SP	Campos do Jordão	ABCF	1
SP	Casa Grande	ABCFI	2
SP	Catanduva	CFHIJ	6
SP	Franca	BCDF	4
SP	Graminha	BCFI	3
SP	Ibitinga	BCFIJ	3
SP	Iguape	CFIJ	5
SP	Itapeva	ABCFI	2
SP	Jau	BCDFI	4
SP	Juquiá	CFIJ	5
SP	Jurumirim	BCFI	3
SP	Limeira	BCDFI	4
SP	Limoeiro	BCDFI	4
SP	Mococa	BCDFI	4
SP	Mogi Guaçu (Campininha)	BCFIJ	3
SP	Paraguaçu Paulista	CDFI	6
SP	Pindamonhangaba	BCFIJ	3
SP	Pindorama	CDFHI	6
SP	Piracicaba	ABCFI	2
SP	Presidente Prudente	CDFHI	6
SP	Ribeirão das Antas	BCFI	3
SP	Ribeirão Preto	BCDFI	4
SP	Salto Grande	BCFIJ	3
SP	Santos	CFIJ	5
SP	São Carlos	BCDFI	4
SP	São Paulo	BCFI	3
SP	São Simão	BCDFI	4
SP	Sorocaba	BCFI	3
SP	Tietê	BCFI	3
SP	Tremembé	BCFI	3
SP	Ubatuba	BCFIJ	3
SP	Viracopos	BCDFI	4
SP	Votuporanga	CDFHI	6
TO	Paranã	CFHIJ	6
TO	Peixe	FHIJK	7
TO	Porto Nacional	FHIJK	7
TO	Taguatinga	DFHIJ	7

Anexo B (normativo)
Zoneamento Bioclimático do Brasil

B.1 Conceituação
O território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima.

Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

B.2 Base de dados climáticos
B.2.1 O território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma das quais foi caracterizada pela posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas:
a) Médias mensais das temperaturas máximas;
b) Médias mensais das temperaturas mínimas; e
c) Médias mensais das umidades relativas do ar.

B.2.2 Para 330 células (ver figura B.1) contou-se com:
a) dados das Normais Climatológicas medidos desde 1961 a 1990 em 206 cidades;
b) dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos desde 1931 a 1960 em 124 cidades;
c) para as demais células o clima foi estimado, por interpolação, através dos passos B.2.2.1 e B.2.2.2.

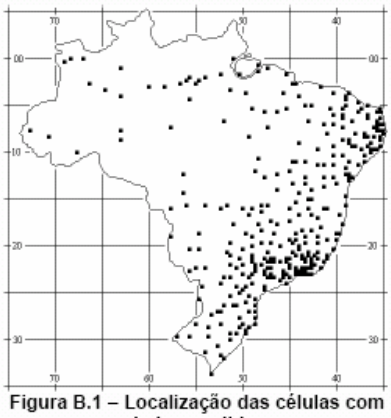


Figura B.1 – Localização das células com dados medidos

B.2.2.1 Médias mensais de temperaturas máximas e mínimas
Os valores de cada célula foram considerados como médias ponderadas entre quatro células vizinhas (acima, abaixo, à esquerda e à direita). Na ponderação, as células com dados medidos tiveram peso quatro e as demais, peso um.

B.2.2.2 Médias mensais de umidades relativas
Através dos algoritmos das relações psicrométricas ("Algorithms for Buiding Heat Transfer Subroutines", ASHRAE, 1996), foram primeiramente calculadas as umidades absolutas (gramas de vapor d'água/quilo de ar seco) das cidades com clima medido.

Em seguida, estas umidades foram interpoladas pelo mesmo procedimento adotado para as temperaturas.
Finalmente, para cada célula, foram obtidas as umidades relativas correspondentes às temperaturas médias mensais.

B.3 Método para a classificação bioclimática
Adotou-se uma Carta Bioclimática (ver figura B.2) adaptada a partir da sugerida por Givoni ("Comfort, climate analysis and building design guidelines". Energy and Building, vol.18, july/92).

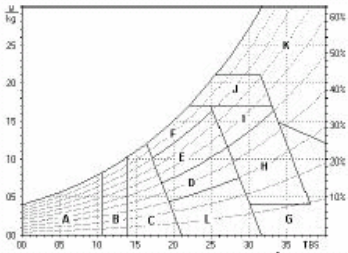


Figura B.2 – Carta bioclimática adaptada

As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Sobre esta carta, foram registrados e classificados os climas de cada ponto do território brasileiro. Para cada mês do ano, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta (ver figura B.3), obtida da seguinte maneira:

Dados de entrada:
a) **Tmin** igual à temperatura média das mínimas;
b) **Tmax** igual à temperatura média das máximas;
c) **UR** igual à média mensal da umidade relativa.

Cálculo da temperatura média mensal e seqüência
Tmed = (Tmin + Tmax) / 2

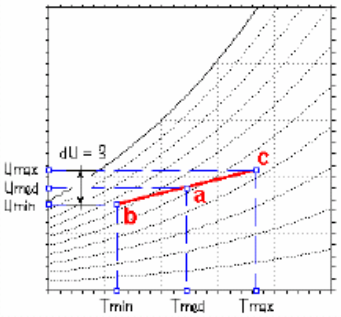


Figura B.3 – Determinação da linha abc

Marcar o ponto "**a**", na interseção entre **Tmed** e **UR**.
A umidade absoluta correspondente ao ponto "**a**" será considerada como a média mensal da umidade absoluta (**Umed**, em g. de vapor / kg de ar seco).
Calcular **Umin** (umidade absoluta correspondente a **Tmin**) pela seguinte expressão:

Umin = Umed – 1, 5 (gr. Vapor / kg ar seco)

Calcular **Umax** (umidade absoluta correspondente a **Tmax**) pela seguinte expressão:

Umax = Umed + 1, 5 (gr. Vapor / kg ar seco)

Nota: A variação média da umidade absoluta do ar, adotada nas expressões acima, é sugerida por Lamberts, Dutra e Pereira ("Eficiência Energética na Arquitetura", 1997, página 144).

Localizar o ponto "**b**" na interseção entre as retas que passam por **Tmin** e por **Umin**
Localizar o ponto "**c**" na interseção entre as retas que passam por **Tmax** e por **Umax**

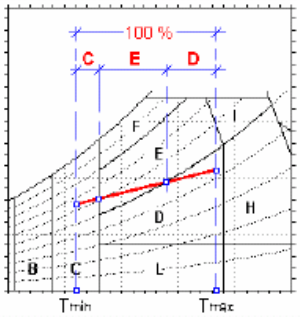


Figura B.4 – Percentagem de cada estratégia

A reta "**bc**" representa todas as horas de um dia médio do mês considerado. Calcula-se, então, a percentagem destas horas que corresponda a cada uma das estratégias indicadas na carta bioclimática.

No exemplo indicado na figura B.4 , as horas mais frias do dia estão na região C da carta (massa térmica para aquecimento), enquanto as mais quentes estão na região D. Como a reta inteira equivale a 100% do tempo, os segmentos C, E e D indicam, respectivamente, as percentagens das horas correspondentes a cada uma destas estratégias. Esta operação é repetida para os 12 meses, calculando-se, assim, as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano.

B.4 Um caso particular

A figura B.5 mostra uma condição climática sob a qual a aplicação do procedimento indicado implicaria em localizar o ponto "b" acima da curva de saturação do ar.

Nestes casos, fazendo corresponder o ponto "**b**" a uma umidade relativa ≤ 100%, adota-se uma amplitude maior que 3 para a umidade absoluta (dU > 3 gr vapor / kg ar seco).

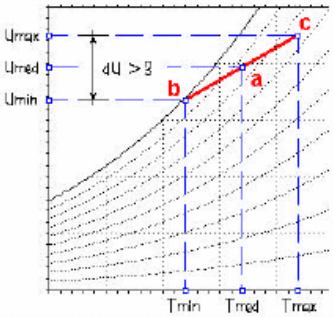


Figura B.5 – Ponto acima da curva de saturação do ar

A carta indicada na figura B.6 apresenta o clima de Brasília, com as respectivas percentagens das horas/ano correspondentes a cada estratégia. Valores menores que 1% são desprezados. Em seguida, são selecionadas as cinco principais estratégias, exceto a da região "E" (conforto térmico). No caso de Brasília, restariam as seguintes:

F – 16,2 %
D – 10,6 %
C – 12,7 %
I – 3,7%
B – 1,5%

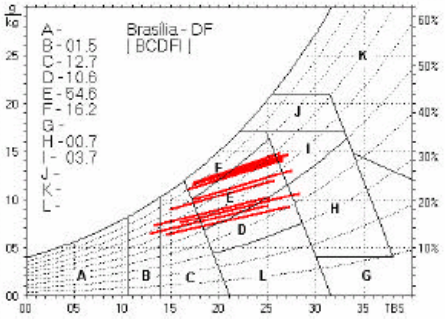


Figura B.6 – Estratégias bioclimáticas para Brasília

Reunidas em ordem alfabética, estas letras definem o código "**BCDFI**" para o clima analisado. Este código permitirá a classificação de cada tipo de clima, em uma das oito Zonas Bioclimáticas, através dos critérios apresentados na tabela B.1

Tabela B.1 - Critérios para classificação bioclimática

Classificação							Zona	Nº Cidades
A	B	C	D	H	I	J		
Sim					Não	Não	**1**	12
Sim							**2**	33
	Sim		Não	Não			**3**	62
	Sim						**4**	17
		Sim	Não	Não			**5**	30
		Sim					**6**	38
				Sim			**7**	39
			Não				**8**	99

Legenda: Sim = presença obrigatória
Não = presença proibida

NOTAS:
1 As estratégias não assinaladas com **sim** ou **não** podem estar no código do clima, mas sua presença não é obrigatória.
2 Percorrer a tabela de cima para baixo, adotando a primeira zona cujos critérios coincidam com o código.

B.5 Exemplo de aplicação

Como já foi visto, o clima de Brasília é identificado pelas letras BCDFI. Percorre-se, então, a tabela, de cima para baixo, procurando a primeira Zona cujos critérios aceitem esta seqüência:

Zona 1: **A** é obrigatório e **I** e **J** são proibidos. Portanto, Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A e tem I.
Zona 2: **A** é obrigatório. Brasília não faz parte desta Zona Bioclimática, pois não tem A.
Zona 3: **B** é obrigatório e **D** e **H** são proibidos. Brasília tem D, portanto não faz parte desta Zona Bioclimática.
Zona 4: **B** é obrigatório. Como Brasília tem B, sua Zona Bioclimática é a 4.

Anexo C (informativo)

Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local

A tabela C.1 apresenta diretrizes construtivas relativas às aberturas para ventilação e a tabela C.2, diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas.

Tabela C.1 - Aberturas para ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	10% < A < 15%
Médias	15% < A < 25%
Grandes	A > 40%

Tabela C.2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m^2.K	Atraso térmico - φ Horas	Fator solar - FS_o %
Paredes	Leve	$U \leq 3{,}00$	$\varphi \leq 4{,}3$	$FS_o \leq 5{,}0$
	Leve refletora	$U \leq 3{,}60$	$\varphi \leq 4{,}3$	$FS_o \leq 4{,}0$
	Pesada	$U \leq 2{,}20$	$\varphi \geq 6{,}5$	$FS_o \leq 3{,}5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2{,}00$	$\varphi \leq 3{,}3$	$FS_o \leq 6{,}5$
	Leve refletora	$U \leq 2{,}30.FT$	$\varphi \leq 3{,}3$	$FS_o \leq 6{,}5$
	Pesada	$U \leq 2{,}00$	$\varphi \geq 6{,}5$	$FS_o \leq 6{,}5$

NOTAS
1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)
2 s aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).
3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.
4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Anexo D (informativo)
Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

Tabela D.1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.3

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

Tabela D.2 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.4

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibro-cimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido (ε< 0,2)	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

Tabela D.3 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes

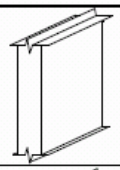
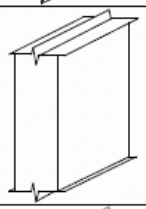
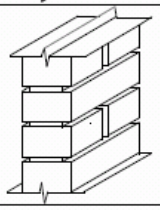
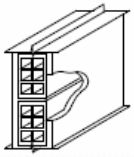
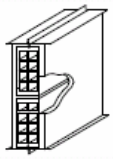
Parede	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

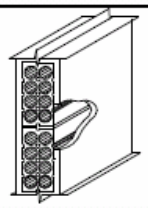
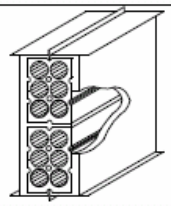
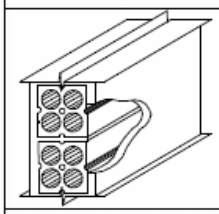
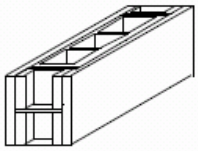
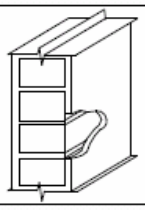
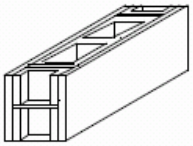
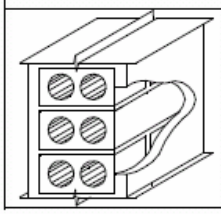
Parede	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	3,7
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7
	Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm	2,49	186	3,7
	Parede de blocos cerâmicos de 3 furos Dimensões do bloco: 13,0x28,0x18,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 18,0 cm	2,43	192	3,8
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255	3,8
	Parede de blocos cerâmicos de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0x29,5x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,45	203	4,0
	Parede de tijolos com 2 furos circulares Dimensões do tijolo: 12,5x6,3x22,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm	2,43	220	4,2

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

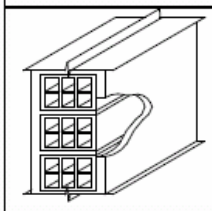
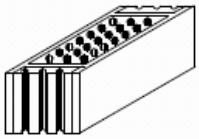
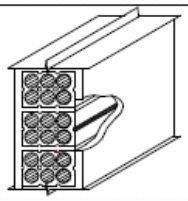
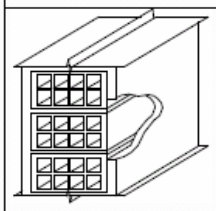
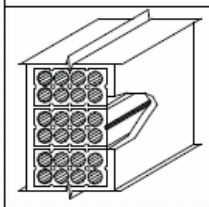
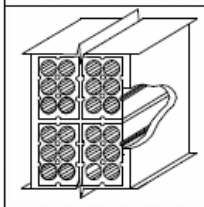
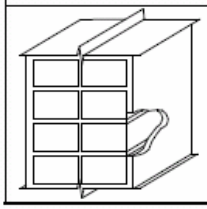
Parede	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

Tabela D.3 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

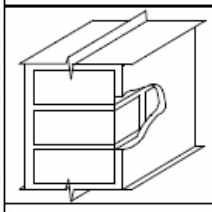
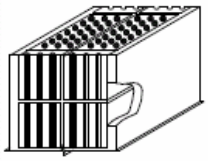
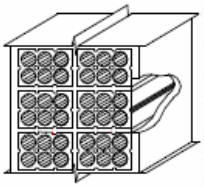
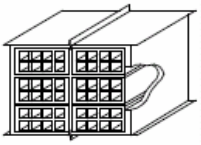
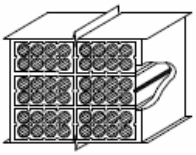
Parede	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm	2,25	445	6,8
	Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm	1,54	368	8,1
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm	1,21	312	8,6
	Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm	1,12	364	9,9
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

Tabela D.4 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

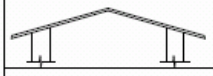
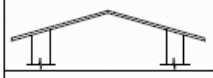
Cobertura	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55	18	0,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm	4,60	11	0,2
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	32	1,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	25	1,3
	Cobertura de telha de barro com forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,24	84	2,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,25	77	2,6
	Cobertura de telha de barro com forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)}$ = 0,0900 (m².K/W) $C_{T(laje)}$ = 95 kJ/(m².K)	1,92	113	3,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)}$ = 0,0900 (m².K/W) $C_{T(laje)}$ = 95 kJ/(m².K)	1,93	106	3,6
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,84	458	8,0
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,99	451	7,9
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,75	568	9,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,75	561	9,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,11	32	2,0

Tabela D.4 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,16	25	2,0
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	84	4,2
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	77	4,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)}$ = 0,0900 (m².K/W) $C_{T(laje)}$ = 95 kJ/(m².K)	1,09	113	5,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm $R_{t(laje)}$ = 0,0900 (m².K/W) $C_{T(laje)}$ = 95 kJ/(m².K)	1,09	106	5,4
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,06	458	11,8
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,06	451	11,8
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,03	568	13,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,03	561	13,4
	Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,95	33	2,3
	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,62	34	3,1

NOTAS:

1 As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

2 Deve-se atentar que, apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Desta forma, sugere-se a utilização de telhas de barro em seu estado natural, ou seja, isentas de quaisquer tratamentos que impeçam a absorção de água.

ANEXO IV - QUESTIONÁRIO DO EXPERIMENTO DE CONFORTO TÉRMICO NO CETS/IVIG

AVALIAÇÃO DE CONFORTO E ACEITABILIDADE TÉRMICA

Quesito 1) Dados do respondente:

LocaldeTrabalho:.....

Idade:.... Altura:.... Peso:.... Sexo:.... Data:....

Quesito 2) Marque as vestimentas que está utilizando:

(Tabela conforme ISO 9920/95)

Roupas de baixo e Acessórios	
Sapato com sola fina	
Sapato com sola grossa	
Botinas	
Meia soquete fina	
Meia soquete grossa	
Meia até o joelho	
Meia de nylon longa fina	
Meia calça com pernas longas	
Meia calça com pernas curtas	
Cueca	
Calcinha	
Soutien	
Camiseta de baixo	
Camiseta de baixo manga longa	
Gravata	
Camisas e Blusas	
Camisa de manga curta	
Camisa manga longa tecido fino	
Camisa manga longa normal	
Camisa de flanela ou moleton	
Blusa leve fina, manga longa	

Blusa leve fina, manga curta	
Camiseta	
Calças	
Calça curta (bermuda)	
Calça tecido fino	
Calça jeans	
Calça grossa, de lã ou flanela	
Vestidos e Saias	
Saia leve, de verão	
Saia pesada, de inverno	
Vestido de verão, mangas curtas	
Vestido de inverno, manga longa	
Vestido completo, fechado	
Casacos e Suéteres	
Colete sem mangas fino	
Colete sem mangas grosso	
Suéter manga longa fino	
Suéter manga longa grosso	
Jaqueta leve	
Jaqueta/japona, normal	
Paletó	
Paletó de verão, blazer	

Quesito 3) **Tabela de percepção** (ISO 10551/95)
"Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?"

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
Com muito calor								
Com calor								
Levemente com calor								
Neutro								
Levemente com frio								
Com frio								
Com muito frio								

Quesito 4) **Tabela de avaliação** (ISO 10551/95)
"De que maneira você se encontra nesse momento?"

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
Confortavel								
Levem. inconfortável								
Inconfortável								
Muito inconfortável								

Quesito 5) **Tabela de preferências térmicas** (ISO 10551/95)
"Como você preferia estar se sentindo agora?"

	9:00h	10:00h	11:00h	12:00h	14:00h	15:00h	16:00h	17:00h
Bem mais aquecido								
Mais aquecido								
Um pouco mais aquecido								
Assim mesmo								
Um pouco mais refrescado								
Mais refrescado								
Bem mais refrescado								

Quesito 6) **Tabala de aceitabilidade** (ISO 10551/95)
"Em sua opinião, você aceitaria mais do que rejeitaria esse ambiente térmico?

Sim	
Não	

Quesito 7) **Tabela de tolerância** (ISO 10551/95)
"Este ambiente possui, em sua opinião:"

Tolerância perfeita	Leve dificuldade em tolerar	Dificuldade em tolerar	Muita dificuldade em tolerar	Intolerância

ANEXO V – ANÁLISE DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Semana 1	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
8/1/07	10 h	001	35,7	1,21	20,1	0,85	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,46
	13 h	002	31,0	1,11	17,7	0,78	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,36
	16 h	003	45,0	1,39	25,0	0,97	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,34
9/1/07	10 h	004	45,0	1,39	25,0	0,97	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	005	71,6	1,89	41,5	1,32	60,1	1,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	006	55,8	1,59	31,1	1,11	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
10/1/07	10 h	001	11,8	0,57	8,3	0,40	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	007	29,2	1,07	16,8	0,75	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,51
	16 h	003	28,3	1,05	16,4	0,74	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,45
11/1/07	10 h	001	90,6	2,38	59,9	1,67	76,8	2,00	SIM	Dificuldade	0,50
	13 h	008	96,1	2,65	69,8	1,86	26,1	1,00	SIM	Dificuldade	0,43
	16 h	006	92,6	2,46	62,9	1,72	41,8	1,33	NÃO	Dificuldade	0,50
12/1/07	10 h	006	98,0	2,82	75,6	1,97	76,8	2,00	NÃO	Muita dificuldade	0,50
	13 h	008	68,0	1,82	38,9	1,27	89,2	2,33	SIM	Leve dificuldade	0,40
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50

Semana 1	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
8/1/07	10 h	001	20,6	0,86	12,6	0,60	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,46
	13 h	002	31,0	1,11	17,7	0,78	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,36
	16 h	003	43,9	1,37	24,4	0,96	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,34
9/1/07	10 h	004	21,0	0,87	12,8	0,61	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	005	69,6	1,85	40,0	1,30	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	006	65,5	1,77	37,2	1,24	41,8	1,33	NÃO	Dificuldade	0,50
10/1/07	10 h	001	10,9	0,53	7,9	0,37	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	007	16,8	0,75	10,8	0,53	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,51
	16 h	003	21,7	0,89	13,1	0,62	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,45
11/1/07	10 h	001	75,4	1,97	44,4	1,38	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	008	92,6	2,46	62,9	1,72	89,2	2,33	SIM	Dificuldade	0,43
	16 h	006	94,2	2,54	65,9	1,78	76,8	2,00	NÃO	Muita dificuldade	0,50
12/1/07	10 h	006	83,4	2,16	51,6	1,51	76,8	2,00	NÃO	Muita dificuldade	0,50
	13 h	008	62,8	1,72	35,4	1,20	89,2	2,33	SIM	Leve dificuldade	0,40
	16 h	009	91,1	2,40	60,7	1,68	99,1	3,00	NÃO	Muita dificuldade	0,50

Semana 2	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
15/1/07	10 h	001	7,0	0,31	6,0	0,22	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	006	24,1	0,95	14,3	0,67	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	003	20,2	0,85	12,4	0,60	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
16/1/07	10 h	005	8,5	0,41	6,7	0,29	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,83
	13 h	010	11,1	-0,54	8,0	-0,38	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	006	14,7	-0,68	9,7	-0,48	7,3	-0,33	SIM	Perfeita	0,48
17/1/07	10 h	001	10,0	-0,49	7,4	-0,34	7,3	-0,33	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	002	18,2	0,79	11,4	0,55	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	16 h	006	18,5	0,80	11,6	0,56	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
18/1/07	10 h	001	19,2	0,82	11,9	0,57	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	007	75,4	1,97	44,4	1,38	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,70
	16 h	011	73,0	1,92	42,6	1,34	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,52
19/1/07	10 h	001	86,7	2,25	55,0	1,58	99,1	3,00	NÃO	Intolerância	0,50
	13 h	007	93,2	2,49	64,0	1,74	60,1	1,67	SIM	Muita dificuldade	0,68
	16 h	006	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,48

Semana 2	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
15/1/07	10 h	001	9,2	0,45	7,1	0,32	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	006	14,4	0,67	9,6	0,47	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	003	19,9	0,84	12,2	0,59	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
16/1/07	10 h	005	5,4	0,14	5,2	0,10	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,83
	13 h	010	11,8	-0,57	8,3	-0,40	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	006	9,6	-0,47	7,3	-0,33	7,3	-0,33	SIM	Perfeita	0,48
17/1/07	10 h	001	10,4	-0,51	7,7	-0,36	7,3	-0,33	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	002	15,6	0,71	10,2	0,50	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	16 h	006	16,5	0,74	10,6	0,52	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
18/1/07	10 h	001	16,5	0,74	10,6	0,52	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	007	67,5	1,81	38,6	1,27	7,3	0,33	SIM	Leve dificuldade	0,70
	16 h	011	67,0	1,80	38,2	1,26	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,52
19/1/07	10 h	001	60,7	1,68	34,1	1,18	99,1	3,00	NÂO	Muita dificuldade	0,50
	13 h	007	Medição descartada						NÂO	Leve dificuldade	0,68
	16 h	006	Medição descartada						NÂO	Intolerância	0,48

Semana 3	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
22/1/07	10 h	005	13,6	0,64	9,2	0,45	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	006	21,3	0,88	13,0	0,62	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	16 h	003	7,0	0,31	6,0	0,22	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,34
23/1/07	10 h	001	19,2	0,82	11,9	0,57	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	006	61,8	1,70	34,8	1,19	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,64
	16 h	011	25,7	0,99	15,1	0,69	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
24/1/07	10 h	001	25,7	0,99	15,1	0,69	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	012	77,2	2,01	45,9	1,41	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,40
	13 h	002	70,1	1,86	40,4	1,30	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
	16 h	006	89,5	2,34	58,4	1,64	76,8	2,00	NÃO	Muita dificuldade	0,52
25/1/07	10 h	008	medição descartada						NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	009	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
26/1/07	10 h	001	97,4	2,76	73,6	0,50	99,1	3,00	NÃO	Muita dificuldade	0,50
	13 h	013	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,40

Semana 3	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
22/1/07	10 h	005	12,0	0,58	8,4	0,41	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	006	10,7	0,52	7,8	0,36	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	16 h	003	5,2	0,10	5,1	0,07	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,34
23/1/07	10 h	001	12,5	0,60	8,7	0,42	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	006	61,2	1,69	34,4	1,18	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,64
	16 h	011	26,1	1,00	15,3	0,70	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
24/1/07	10 h	001	15,0	0,69	9,9	0,48	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	012	56,3	1,60	31,4	1,12	60,1	1,67	NÃO	Dificuldade	0,40
	13 h	002	75,9	1,98	44,8	1,39	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
	16 h	006	93,0	2,48	63,7	1,74	76,8	2,00	NÃO	Muita dificuldade	0,52
25/1/07	10 h	008	65,5	1,77	37,2	1,24	76,8	2,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	009	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,50
26/1/07	10 h	001	92,3	2,45	62,6	1,72	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,50
	13 h	013	98,2	2,85	76,5	2,00	96,3	2,67	NÃO	Intolerância	0,50
	16 h	009	97,9	2,81	75,2	1,97	26,1	1,00	NÃO	Muita dificuldade	0,40

Semana 4	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
29/1/07	10 h	007	81,5	2,11	49,7	1,48	7,3	0,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	005	96,2	2,66	70,2	1,86	96,3	2,67	NÃO	Dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
30/1/07	10 h	005	89,5	2,34	58,4	1,64	60,1	1,67	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	004	90,8	2,39	60,3	1,67	5,0	0,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	006	83,8	2,17	51,9	1,52	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
31/1/07	10 h	008	15,6	0,71	10,2	0,50	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,46
	13 h	011	59,1	1,65	33,1	1,16	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	005	66,5	1,79	37,9	1,25	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
1/2/07	10 h	008	76,8	2,00	45,5	1,40	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	medição não realizada									
	16 h	medição não realizada									
2/2/07	10 h	011	66,0	1,78	37,5	1,25	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,42
	13 h	003	91,4	2,41	61,1	1,69	60,1	1,67	NÃO	Leve dificuldade	0,42
	16 h	011	87,0	2,26	55,4	1,58	76,8	2,00	SIM	Dificuldade	0,42

Semana 4	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
29/1/07	10 h	007	60,7	1,68	34,1	1,18	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	005	88,6	2,31	57,3	1,62	60,1	1,67	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	16 h	009	87,9	2,29	56,5	1,60	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
30/1/07	10 h	005	67,5	1,81	38,6	1,27	60,1	1,67	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	004	57,4	1,62	32,1	1,13	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	006	48,7	1,46	27,1	1,02	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
31/1/07	10 h	008	12,5	0,60	8,7	0,42	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,46
	13 h	011	49,3	1,47	27,4	1,03	7,3	0,33	SIM	Leve dificuldade	0,48
	16 h	005	74,5	1,95	43,7	1,37	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
1/2/07	10 h	008	44,4	1,38	24,7	0,97	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	medição não realizada									
	16 h	medição não realizada									
2/2/07	10 h	011	55,3	1,58	30,8	1,11	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,42
	13 h	003	87,6	2,28	56,1	1,60	89,2	2,33	NÃO	Dificuldade	0,42
	16 h	011	81,1	2,10	49,3	1,47	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,42

Semana 5	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
5/2/07	10 h	011	87,9	2,29	56,5	1,60	76,8	2,00	SIM	Dificuldade	0,42
	13 h	009	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,50
	16 h	009	97,3	2,75	73,3	1,93	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
6/2/07	10 h	005	79,0	2,05	47,4	1,44	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	007	94,4	2,55	66,2	1,79	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,48
	16 h	011	84,6	2,19	52,7	1,53	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,42
	16 h	014	81,5	2,11	49,7	1,48	26,1	1,00	SIM	Perfeita	0,42
7/2/07	10 h	004	95,1	2,59	67,7	1,81	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	009	medição descartada						NÃO	Leve dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,50
8/2/07	10 h	009	97,7	2,79	74,6	1,95	99,1	3,00	NÃO	Muita dificuldade	0,50
	13 h	009	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,50
	16 h	medição não realizada									
9/2/07	10 h	008	95,0	2,58	67,3	1,81	60,1	1,67	SIM	Leve dificuldade	0,52
	13 h	007	95,1	2,59	67,7	1,81	60,1	1,67	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40

Semana 5	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
5/2/07	10 h	011	70,6	1,87	40,7	1,31	76,8	2,00	SIM	Dificuldade	0,42
	13 h	009	95,6	2,62	68,8	1,83	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
6/2/07	10 h	005	70,1	1,86	40,4	1,30	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	13 h	007	88,3	2,30	56,9	1,61	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	011	68,6	1,83	39,3	1,28	26,1	1,00	SIM	Dificuldade	0,42
	16 h	014	67,5	1,81	38,6	1,27	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,42
7/2/07	10 h	004	95,3	2,60	68,0	1,82	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,50
	13 h	009	49,3	1,47	27,4	1,03	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	16 h	009	medição descartada						SIM	Leve dificuldade	0,50
8/2/07	10 h	009	82,3	2,13	50,4	1,49	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,50
	13 h	009	97,1	2,73	72,6	1,91	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	16 h	medição não realizada									
9/2/07	10 h	008	78,1	2,03	46,6	1,42	76,8	2,00	SIM	Leve dificuldade	0,52
	13 h	007	medição descartada						NÃO	Leve dificuldade	0,50
	16 h	009	91,8	2,43	61,8	1,70	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40

Semana 6	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
12/2/07	10 h	007	14,4	0,67	9,6	0,47	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	13 h	003	43,4	1,36	24,1	0,95	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,40
	13 h	011	46,0	1,41	25,6	0,99	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,66
	16 h	011	42,9	1,35	23,9	0,95	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,66
13/2/07	10 h	007	29,2	1,07	16,8	0,75	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	13 h	015	27,8	1,04	16,2	0,73	60,1	1,67	SIM	Leve dificuldade	0,40
	16 h	005	6,1	0,23	5,5	0,16	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
14/2/07	10 h	008	50,9	1,50	28,3	1,05	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	011	17,5	0,77	11,1	0,54	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,40
	16 h	016	11,3	0,55	8,1	0,39	7,3	-0,33	SIM	Perfeita	0,50
	16 h	017	18,2	0,79	11,4	0,55	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
15/2/07	10 h	008	40,3	1,30	22,5	0,91	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,50
	10 h	005	38,7	1,27	21,7	0,89	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	018	42,9	1,35	23,9	0,95	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	019	48,7	1,46	27,1	1,02	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	020	37,2	1,24	20,9	0,87	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,48
	16 h	021	34,8	1,19	19,6	0,83	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,42

Semana 6	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
12/2/07	10 h	007	9,0	0,44	7,0	0,31	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	13 h	003	16,5	0,74	10,6	0,52	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,40
	13 h	011	28,7	1,06	16,6	0,74	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,66
	16 h	011	34,8	1,19	19,6	0,83	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,66
13/2/07	10 h	007	6,5	0,27	5,7	0,19	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	13 h	015	10,2	0,50	7,5	0,35	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,40
	16 h	005	39,8	1,29	22,2	0,90	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
14/2/07	10 h	008	10,7	0,52	7,8	0,36	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,50
	13 h	011	45,0	1,39	25,0	0,97	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,40
	16 h	016	44,4	1,38	24,7	0,97	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	017	39,2	1,28	22,0	0,90	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,50
15/2/07	10 h	008	16,8	0,75	10,8	0,53	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,50
	10 h	005	11,3	0,55	8,1	0,39	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	018	66,5	1,79	37,9	1,25	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	13 h	019	61,8	1,70	34,8	1,19	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	16 h	020	73,5	1,93	42,9	1,35	41,8	1,33	SIM	Perfeita	0,48
	16 h	021	54,7	1,57	30,5	1,10	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,42

Semana 7	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
26/2/07	09 h	020	84,6	2,19	52,7	1,53	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	002	97,5	2,77	73,9	1,94	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
	15 h	022	44,4	1,38	24,7	0,97	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,46
	15 h	020	41,3	1,32	23,0	0,92	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
27/2/07	09 h	020	63,4	1,73	35,8	1,21	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	010	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
	15 h	008	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,48
28/2/07	09 h	020	75,4	1,97	44,4	0,46	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	002	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
	15 h	010	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
2/3/07	09 h	020	91,1	2,40	60,7	1,68	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,48
	09 h	007	94,8	2,57	67,0	1,80	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
	12 h	019	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
	12 h	018	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
	15 h	015	96,9	2,71	71,9	1,90	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,40
	15 h	003	93,6	2,51	64,8	1,76	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50

Semana 7	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
26/2/07	09 h	020	90,0	2,36	59,2	1,65	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	002	97,5	2,77	73,9	1,94	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
	15 h	022	60,7	1,68	34,1	1,18	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,46
	15 h	020	61,8	1,70	34,8	1,19	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
27/2/07	09 h	020	69,6	1,85	40,0	1,30	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	010	medição descartada						NÃO	Leve dificuldade	0,40
	15 h	008	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,48
28/2/07	09 h	020	82,7	2,14	50,8	0,48	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	002	96,9	2,71	71,9	1,90	60,1	1,67	NÃO	Leve dificuldade	0,40
	15 h	010	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
2/3/07	09 h	020	90,3	2,37	59,5	1,66	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,48
	09 h	007	89,5	2,34	58,4	1,64	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	12 h	019	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
	12 h	018	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,50
	15 h	015	97,6	2,78	74,3	1,95	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
	15 h	003	97,9	2,81	75,2	1,97	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50

Semana 8	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
5/3/07	09 h	014	75,9	1,98	44,8	1,39	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,46
	12 h	002	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,48
	15 h	003	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
7/3/07	09 h	005	95,5	2,61	68,4	1,83	99,1	3,00	NÃO	Dificuldade	0,68
	09 h	020	95,6	2,62	68,8	1,83	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	012	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
	12 h	015	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
	15 h	023	83,8	2,17	51,9	1,52	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,42
8/3/07	09 h	007	88,6	2,31	57,3	1,62	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	12 h	021	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,42
	12 h	011	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
	15 h	023	81,1	2,10	49,3	1,47	26,1	1,00	NÃO	Dificuldade	0,42
9/3/07	09 h	008	84,9	2,20	53,1	1,54	96,3	2,67	NÃO	Dificuldade	0,50
	15 h	004	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,48

Semana 8	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
5/3/07	09 h	014	67,5	1,81	38,6	1,27	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,46
	12 h	002	97,5	2,77	73,9	1,94	99,1	3,00	NÃO	Muita dificuldade	0,48
	15 h	003	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
7/3/07	09 h	005	88,3	2,30	56,9	0,48	99,1	3,00	NÃO	Dificuldade	0,68
	09 h	020	91,1	2,40	60,7	1,68	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	012	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,40
	12 h	015	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,40
	15 h	023	98,0	2,82	75,6	1,97	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,42
8/3/07	09 h	007	68,0	1,82	38,9	1,27	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,52
	12 h	021	97,2	2,74	72,9	1,92	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,42
	12 h	011	98,0	2,82	75,6	1,97	89,2	2,33	SIM	Muita dificuldade	0,40
	15 h	023	94,8	2,57	67,0	1,80	60,1	1,67	NÃO	Dificuldade	0,42
9/3/07	09 h	008	80,2	2,08	48,5	1,46	96,3	2,67	NÃO	Dificuldade	0,50
	15 h	004	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,48

Semana 9	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
12/3/07	09 h	009	81,9	2,12	50,0	1,48	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,48
	12 h	002	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,48
	15 h	003	90,6	2,38	59,9	1,67	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,42
13/3/07	09 h	020	87,3	2,27	55,7	1,59	26,1	1,00	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	010	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,40
	15 h	006	96,7	2,70	71,6	1,89	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
14/3/07	09 h	005	50,4	1,49	28,0	1,04	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
	15 h	020	91,6	2,42	61,4	1,69	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
15/3/07	09 h	020	79,8	2,07	48,1	1,45	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	005	medição descartada						NÃO	Dificuldade	0,50
	15 h	008	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
16/3/2007	9 h	007	medição descartada						NÃO	Muita dificuldade	0,52
	12 h	019	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
	12 h	013	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
	15 h	018	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50

Semana 9	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
12/3/07	09 h	009	86,0	2,23	54,2	1,56	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,48
	12 h	002	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,48
	15 h	003	98,0	2,82	75,6	1,97	76,8	2,00	NÃO	Dificuldade	0,42
13/3/07	09 h	020	89,7	2,35	58,8	1,65	26,1	1,00	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	010	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,40
	15 h	006	97,5	2,77	73,9	1,94	7,3	0,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
14/3/07	09 h	005	53,1	1,54	29,5	1,08	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	15 h	020	95,8	2,63	69,1	1,84	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,48
15/3/07	09 h	020	71,1	1,88	41,1	1,32	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	005	97,3	2,75	73,3	1,93	89,2	2,33	NÃO	Dificuldade	0,50
	15 h	008	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
16/3/2007	9 h	007	92,3	2,45	62,6	1,72	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,52
	12 h	019	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
	12 h	013	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50
	15 h	018	medição descartada						NÃO	Intolerância	0,50

Semana 10	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 1	PMV 1	PPD 1 corrigido	PMV 1 corrigido	PPD 1 entrevista	PMV 1 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 1	Índice de vestimenta (clo)
19/3/07	09 h	007	70,1	1,86	40,4	1,30	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,52
	12 h	023	96,6	2,69	71,2	1,88	89,2	2,33	NÃO	Dificuldade	0,50
	12 h	017	98,1	2,83	75,9	1,98	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
	15 h	011	94,4	2,55	66,2	1,79	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
20/3/07	09 h	020	55,3	1,58	30,8	1,11	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	15 h	017	23,7	0,94	14,1	0,66	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,40
22/3/07	09 h	020	35,2	1,20	19,9	0,84	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	005	94,6	2,56	66,6	1,79	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	12 h	008	71,6	1,89	41,5	1,32	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	15 h	005	42,9	1,35	23,9	0,95	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
23/3/07	09 h	006	52,0	1,52	28,9	1,06	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,50
	09 h	017	80,7	2,09	48,9	1,46	14,4	0,67	SIM	Leve dificuldade	0,50
	15 h	004	80,7	2,09	48,9	1,46	26,1	1,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	15 h	024	77,2	2,01	45,9	1,41	14,4	0,67	SIM	Perfeita	0,48
	15 h	025	53,1	1,54	29,5	1,08	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50

Semana 10	Horário	Número de identificação na pesquisa	PPD 2	PMV 2	PPD 2 corrigido	PMV 2 corrigido	PPD 2 entrevista	PMV 2 entrevista	Aceitabilidade (sim/não)	Tolerância térmica - ambiente 2	Índice de vestimenta (clo)
19/3/07	09 h	007	41,3	1,32	23,0	0,92	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,52
	12 h	023	96,6	2,69	71,2	1,88	89,2	2,33	NÃO	Dificuldade	0,50
	12 h	017	96,9	2,71	71,9	1,90	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,50
	15 h	011	87,6	2,28	56,1	1,60	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,40
20/3/07	09 h	020	56,9	1,61	31,8	1,13	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	15 h	017	30,1	1,09	17,3	0,76	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,40
22/3/07	09 h	020	30,5	1,10	17,5	0,77	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,48
	12 h	005	93,6	2,51	64,8	1,76	41,8	1,33	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	12 h	008	80,7	2,09	48,9	1,46	41,8	1,33	SIM	Leve dificuldade	0,48
	15 h	005	68,0	1,82	38,9	1,27	26,1	1,00	SIM	Leve dificuldade	0,50
23/3/07	09 h	006	55,8	1,59	31,1	1,11	7,3	0,33	SIM	Perfeita	0,50
	09 h	017	58,0	1,63	32,4	1,14	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50
	15 h	004	88,6	2,31	57,3	1,62	76,8	2,00	NÃO	Leve dificuldade	0,50
	15 h	024	92,6	2,46	62,9	1,72	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,48
	15 h	025	66,5	1,79	37,9	1,25	5,0	0,00	SIM	Perfeita	0,50