

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA

FRANCINE AIDIE ROSSI

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA E DE MODELO PREDITIVO PARA
AVALIAÇÃO DA SENSAÇÃO TÉRMICA EM ESPAÇOS ABERTOS EM
CURITIBA**

TESE

CURITIBA

2012

FRANCINE AIDIE ROSSI

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA E DE MODELO PREDITIVO PARA
AVALIAÇÃO DA SENSAÇÃO TÉRMICA EM ESPAÇOS ABERTOS EM
CURITIBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Tecnologia. Área de concentração: Tecnologia e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger

Coorientador: Prof. Dr. Inácio Andruski
Guimarães

CURITIBA

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R831 Rossi, Francine Aidie
Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba / Francine Aidie Rossi. — 2012.
188 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Eduardo Leite Krüger.

Coorientador: Inácio Andruski Guimarães.

Tese (Doutorado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Curitiba, 2012.

Bibliografia: f. 161-178.

1. Espaços abertos – Conforto térmico. 2. Conforto térmico – Índices. 3. Climatologia urbana – Curitiba (PR). 4. Planejamento urbano – Fatores climáticos. 5. Arquitetura e clima. 6. Tecnologia – Teses I. Krüger, Eduardo Leite, orient. II. Guimarães, Inácio Andruski, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Tecnologia. III. Título.

CDD (22. ed.) 600

Biblioteca Central da UTFPR, Campus Curitiba



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Tese Nº 2

Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba

por

Francine Aidie Rossi

Esta tese foi apresentada às _____ 14:15 _____ do dia 28 de fevereiro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora EM TECNOLOGIA, Área de Concentração – Tecnologia e Sociedade, Linha de Pesquisa – Tecnologia e Desenvolvimento, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi argüida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ Aprovado _____.

(aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado)

Prof. Dr. Inácio Andruski Guimarães
(UTFPR)
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Herivelto Moreira
(PPGTE-UTFPR)

Prof.^a. Dr.^a. Léa Cristina Lucas de Souza
(UFSCar)

Prof. Dr. Leonardo Marques Monteiro
(USP)

Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger
(UTFPR)
Orientador

Visto da coordenação:

Prof. Dr. Domingos Leite Lima Filho
Coordenador do PPGTE

Prof. Dr. Domingos Leite Lima Filho
Coordenador do PPGTE



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Eduardo L. Krüger, pela sua orientação e contribuição;

Ao Prof. Dr. Inácio Andruski Guimarães, pelas sugestões e estímulo;

À Prof. Dra. Marialena Nikolopoulou, da *University of Kent*, Reino Unido, pela orientação e disponibilização de referências durante o estágio doutoral;

Ao pesquisador Peter Bröde, do *Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors (IfADo)*, Dortmund, Alemanha, pelo acompanhamento, disponibilização de referências e valiosas discussões durante minha visita técnica ao instituto;

Ao Prof. Dr. Rohinton Emmanuel, da *Glasgow Caledonian University*, Escócia, pela hospitalidade durante minha visita técnica à universidade;

Ao Prof. Dr. Nilson Dias Garcia, pelos aconselhamentos;

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado e ao CNPq, pela bolsa de doutorado sanduíche;

Aos colegas, Cintia A. Tamura, Clara L. Fritoli, Flavia O. Minella e Francisco Rasia, pela ajuda voluntária e indispensável na coleta de dados;

Aos professores, funcionários e colegas do PPGTE;

À equipe de motoristas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo transporte prestado aos pontos de monitoramento;

Aos meus pais, Dorival e Eda, pelo apoio e dedicação;

Ao Luiz Fernando, por tudo.

RESUMO

ROSSI, Francine A. Proposição de metodologia e de modelo preditivo para análise da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba. 2011. 216f. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

O planejamento ou a readequação urbana de espaços abertos são capazes de promover a melhoria das condições térmicas exteriores, e assim, influenciar qualitativamente o uso de espaços abertos. Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo analisar a sensação térmica da população de Curitiba e propor um modelo de predição de sensação térmica adequado às condições climáticas locais. Os locais de estudo são ruas de pedestres da Rua XV de Novembro e cercanias. Foram realizados 15 levantamentos de campo, sendo 14 dias no período entre janeiro e agosto de 2009 e um dia em junho de 2010, totalizando 15 situações urbanas distintas. Os levantamentos ocorreram entre 10h00 e 15h00 em dias de semana e foram monitorados dados climáticos e levantados dados pessoais, com o uso de questionários. A metodologia utilizada compreendeu quatro etapas: análise da relação entre as características urbanas e a sensação térmica; análise da sensação térmica real, a partir dos dados coletados; análise da sensação térmica por meio dos índices PMV, PET e UTCI; e proposição de um modelo preditivo de sensação térmica para Curitiba. Da análise dos atributos urbanos e sua relação com as variáveis climáticas e a sensação térmica, concluiu-se que a orientação do cânion e o perfil vertical das fachadas são importantes para compreender o comportamento das variáveis climáticas e para propor sugestões que melhorem o conforto térmico no ambiente urbano. A análise dos índices PMV, PET e UTCI mostrou a necessidade de calibração destes índices para a avaliação da sensação térmica da população de Curitiba. Ao analisar as respostas de sensação térmica e as variáveis climáticas verificou-se que as três categorias de sensação térmica se misturam entre si, não havendo clara distinção entre o grupo de conforto e os de desconforto para o frio e para o calor, o que dificulta a definição de faixas climáticas de conforto térmico para Curitiba. Em relação aos dois métodos estatísticos utilizados para a definição do modelo de predição, a Função Discriminante Linear (FDL) apresentou melhor desempenho que o Modelo de Regressão Logístico (MRL), tendo taxa total de acerto de 53%, se mostrando adequada para a avaliação da sensação térmica da população analisada.

Palavras-chave: Conforto térmico em espaços abertos. Índices de conforto térmico. Sensação térmica. Clima Urbano. Desenho Urbano.

ABSTRACT

ROSSI, Francine A. Proposition of methodology and thermal sensation predictive model for open spaces in Curitiba. 2011. 216f. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Urban planning and modifications in open spaces are able to promote the improvement of outdoor thermal conditions and thus qualitatively influence the use of open spaces. In this context, this research aims to analyze the thermal sensation of the population of Curitiba and propose a model for predicting thermal sensation suited to local climatic conditions. The study was carried out at the pedestrian street Rua XV de Novembro and adjacent streets. As a whole, fifteen monitoring campaigns were carried out (14 days in the period between January and August 2009 and one day in June 2010), encompassing fifteen different urban situations. The surveys took place between 10h00 and 15h00 on week days and weather data were monitored and personal data collected, using questionnaires. The method comprised four steps: analysis of the relationship between urban characteristics and thermal sensation; analysis of observed thermal sensation vote; analysis of calculated thermal sensation expressed by the indexes PMV, PET and UTCI and proposal of a thermal sensation predictive model for Curitiba. From the analysis of urban attributes and their relationship with climatic variables and thermal sensation, it was concluded that the canyon orientation and the vertical profile of the facades are important to understand the behavior of the climatic variables and to propose suggestions to improve the thermal comfort in urban environment. The analysis of PMV, PET and UTCI indexes showed the need for calibration to evaluate the thermal sensation of the population of Curitiba. The analysis between the observed thermal sensation and the climatic variables showed that the three categories of thermal sensation are mixed among themselves, with no clear distinction between the group of comfort and cold/heat discomfort, making difficult the definition of climatic zones of thermal comfort for Curitiba. Regarding both statistical methods used to develop the thermal sensation predictive model, the Linear Discriminant Function performed better than the Logistic Regression Model and the total success rate of 53% is adequate for the thermal sensation evaluation of the population analyzed.

Keywords: Thermal comfort in open spaces. Thermal comfort indexes. Thermal sensation. Urban climate. Urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito da orientação Norte/Sul da via na insolação e no sombreamento.	37
Figura 2 – Generalização da ilha de calor urbana	38
Figura 3 – Espaçamento e localização dos edifícios e a ventilação	40
Figura 4 – Ventilação no tecido urbano	41
Figura 5 – Efeito da vegetação no microclima	44
Figura 6 – Fluxograma das etapas da pesquisa	81
Figura 7 – Localização dos pontos nas ruas de pedestre selecionadas para monitoramento	84
Figura 8 – Estação meteorológica HOBO	87
Figura 9 – Fotos olho de peixe e das cartas solares dos pontos 2 e 7	96
Figura 10 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 3 e 10	107
Figura 11 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 2 e 13	108
Figura 12 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 3 e 7	108
Figura 13 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 11 e 14	109
Figura 14 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 2 e 7	112
Figura 15 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 4 e 9	112
Figura 16 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 4 e 14	113
Figura 17 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 5 e 10	114
Figura 18 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 8 e 16	114
Figura 19 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 6 e 11	115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição da frequência absoluta do gênero (A) e da idade (B).....	92
Gráfico 2 – Distribuição da frequência absoluta da altura (A) e do índice de massa corpórea (B)	93
Gráfico 3 – Distribuição da frequência absoluta do isolamento térmico da roupa	93
Gráfico 4 – Distribuição da frequência absoluta da temperatura do ar (A) e da umidade relativa (B)	95
Gráfico 5 – Distribuição da frequência absoluta da velocidade do ar (A) e da radiação solar (B).....	95
Gráfico 6 – Radiação solar incidente nos pontos monitorados no período de sombreamento	98
Gráfico 7 – Radiação solar incidente nos pontos monitorados no período de insolação	98
Gráfico 8 – Distribuição da frequência absoluta das respostas de percepção térmica (A) e de preferência térmica (B)	99
Gráfico 9 – Distribuição da frequência absoluta relativa das respostas de avaliação térmica (A) e de aceitação térmica (B)	100
Gráfico 10 – Distribuição da frequência absoluta das respostas de tolerância	101
Gráfico 11 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PMV, para toda a amostra.....	121
Gráfico 12 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PMV, para 711 questionários	122
Gráfico 13 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PET	122
Gráfico 14 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice UTCI	123
Gráfico 15 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do PET e do PMV, para toda a amostra.....	125
Gráfico 16 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do UTCI e do PMV, para toda a amostra	125
Gráfico 17 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do PET e do UTCI	126
Gráfico 18 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da RS	127
Gráfico 19 – Distribuição das respostas reais de conforto (A) e desconforto (B) em função da Ta e da RS	127
Gráfico 20 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da diferença entre Trm e Ta	128
Gráfico 21 – Distribuição das respostas de conforto (A) e desconforto (B) em função da Ta e da diferença entre Trm e Ta	128
Gráfico 22 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da Va	129
Gráfico 23 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da UR	130

Gráfico 24 – Distribuição das respostas reais conforto (A) e desconforto (B) em função da T_a e da UR.....	130
Gráfico 25 – Exemplo da classificação da Função Discriminante Linear.....	140
Gráfico 26 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da T_a e da diferença entre T_{rm} e T_a	141
Gráfico 27 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar registrada nas estações 1 e 2.....	179
Gráfico 28 – Gráfico de dispersão da umidade relativa registrada nas estações 1 e 2	180
Gráfico 29 – Gráfico de dispersão da radiação solar registrada nas estações 1 e 2	181
Gráfico 30 – Gráfico de dispersão da velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2.....	182
Gráfico 31 – Gráfico de dispersão da velocidade do ar a 110 cm e a 200 cm.....	183

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores de clo para diferentes peças de roupas	55
Quadro 2 – Escala de percepção térmica de sete graus.....	57
Quadro 3 – Escala de avaliação térmica de quatro graus	57
Quadro 4 – Escala de preferência térmica de sete graus	57
Quadro 5 – Escala de aceitação pessoal	58
Quadro 6 – Escala de tolerância pessoal.....	58
Quadro 7 – Resumo das pesquisas sobre conforto térmico publicadas nos anais do ENCAC.....	65
Quadro 8 – Escala de sete graus de intensidade.....	74
Quadro 9 – Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET	77
Quadro 10 – Faixas de estresse térmico do UTCI	79
Quadro 11 – Localização e característica dos pontos monitorados	85
Quadro 12 – Dias e pontos monitorados.....	86
Quadro 13 – Valores de clo para diferentes peças de roupas	90
Quadro 14 – Resumo dos horários de insolação e sombreamento nos locais monitorados.....	97
Quadro 15 – Pontos monitoramentos no mesmo dia e suas características urbanas	105
Quadro 16 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, RS e UR	139
Quadro 17 - Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, Trm e UR	140
Quadro 18 – Valores observados de Ta, Va, Trm e UR às 11h20 no dia 09.06.2009	143
Quadro 19 – Médias total e por grupo das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR	143
Quadro 20 – Diferenças entre os valores da observação a ser classificada e as médias para cada um dos três grupos	144
Quadro 21 – Escores obtidos para cada uma das funções discriminantes	145
Quadro 22 – Médias das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR por categoria de sensação térmica	147
Quadro 23 – Coeficientes discriminantes das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR para cada categoria de sensação térmica.....	147
Quadro 24 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, RS e UR	185
Quadro 25 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, Trm e UR	185
Quadro 26 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, RS e UA	185
Quadro 27 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, Trm e UA	186

Quadro 28 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, RS e UR	186
Quadro 29 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Trm e UR	186
Quadro 30 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, RS e UA	187
Quadro 31 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Trm e UA	187

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metabolismo para diferentes atividades	54
Tabela 2 – Alturas para a colocação dos sensores de temperatura do ar	87
Tabela 3 – Faixas e precisão requeridas pela ISO 7726, para a medição das variáveis climáticas	89
Tabela 4 – Faixas e precisão dos sensores utilizados	89
Tabela 5 – Análise descritiva dos dados pessoais	91
Tabela 6 – Análise descritiva das variáveis climáticas	94
Tabela 7 – Frequências e porcentagens observadas das respostas reais de percepção e de preferência térmicas	102
Tabela 8 – Frequência e porcentagem de pessoas por categorias de estresse térmico	103
Tabela 9 – Valores médios e valor p das variáveis climáticas dos pares de pontos com características urbanas semelhantes	106
Tabela 10 – Valores médios e valor p das variáveis climáticas dos pares de pontos com características urbanas diferentes	110
Tabela 11 – Características urbanas e frequências relativas por categoria de conforto para os pares de pontos monitorados	116
Tabela 12 – Frequência relativa por categoria de sensação térmica	120
Tabela 13 – Faixas de sensação térmica definidas pelos índices e faixas de sobreposição das respostas reais	124
Tabela 14 – Faixas climáticas por categoria de sensação térmica e sobreposição das três categorias	131
Tabela 15 – Correlações entre a sensação térmica e as variáveis: Ta, RS, Trm-Ta, Va e UR	131
Tabela 16 – Correlações entre as variáveis climáticas e a sensação térmica	137
Tabela 17 – ANOVA entre as variáveis climáticas e a sensação térmica	138
Tabela 18 – Frequência relativa da sensação térmica real, do índice PMV sem calibração e calibrado por Monteiro, para 711 indivíduos	153
Tabela 19 – Frequência relativa da sensação térmica real, do índice PMV sem calibração e calibrado por Monteiro, para 1685 indivíduos	153
Tabela 20 – Frequência relativa da sensação térmica real, do índice PET sem calibração e calibrado por Monteiro, para 1685 indivíduos	154
Tabela 21 – Frequência relativa da sensação térmica real e da temperatura equivalente percebida (TEP)	155
Tabela 22 – Estatística de regressão da temperatura do ar registrada nas estações 1 e 2	179
Tabela 23 – Valores do Teste t para a temperatura do ar registrada nas estações 1 e 2	179
Tabela 24 – Estatística de regressão da umidade relativa registrada nas estações 1 e 2	180
Tabela 25 – Valores do Teste t para a umidade relativa registrada nas estações 1 e 2	180

Tabela 26 – Estatística de regressão da radiação solar registrada nas estações 1 e 2	181
Tabela 27 – Valores do Teste t para a radiação solar registrada nas estações 1 e 2	181
Tabela 28 – Estatística de regressão da velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2.....	182
Tabela 29 – Valores do Teste t para a velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2.....	182
Tabela 30 – Estatística de regressão da velocidade do vento a 110 cm e a 200 cm	183
Tabela 31 – Valores do Teste t para a velocidade do vento a 110 cm e a 200 cm.	183

LISTA DE ACRÔNIMOS

APA	Áreas de Proteção Ambiental
CIC	Cidade Industrial de Curitiba
Copel	Companhia Paranaense de Energia
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ENCAC	Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPMet	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
MEMI	Modelo de Munique para Balanço de Energia para Indivíduos
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	<i>Physiological Equivalent Temperature</i> – Temperatura fisiológica equivalente
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
SECOVI	Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis no Estado do Paraná
SET*	<i>New Standard Effective Temperature</i> – Nova temperatura efetiva padrão
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Telepar	Telecomunicações do Paraná S.A.
TEP	Temperatura equivalente percebida
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
URBS	Urbanização de Curitiba S.A.

LISTA DE SIGLAS

ACP	Associação Comercial do Paraná
ASV	<i>Actual Sensation Vote</i>
Cfb	Clima mesotérmico com verão fresco
CTR	Índice de carga térmica radiante
Ec	Massa de ar Equatorial Continental
ET	<i>Effective Temperature</i> – Temperatura efetiva
ET*	<i>New Effective Temperature</i> – Nova temperatura efetiva
FVC	Fator de visão do céu
HSI	<i>Heat Stress Index</i>
IMC	Índice de massa corpórea
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISB	<i>International Society of Biometeorology</i>
ITS	<i>Index of Thermal Stress</i>
MC	Massa construída
NE	Nordeste
PA	Massa de ar Polar Atlântica
PDI	Plano de Desenvolvimento Integrado
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> – Voto Médio Estimado
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RT	<i>Resistant Temperature</i>
SCU	Sistema Clima Urbano
TA	Massa de ar Tropical Atlântica
Tc	Massa de ar Tropical Equatorial
TBS	Temperatura de bulbo seco
TBU	Temperatura de bulbo úmido
Tne	Temperatura neutra ao exterior, em °C
TRY	<i>Test Reference Year</i> - ano climático de referência
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UTCI	<i>Universal Thermal Comfort Index</i>
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
WBGT	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

CO_2	Dióxido de Carbono
CH_4	Metano
N_2O	Ácido Nitroso
T_a	Temperatura do ar, em °C
UR	Umidade relativa do ar
V_a	Velocidade do ar, em m/s
RS	Radiação solar, em W/m^2
T_g	Temperatura de globo, em °C
M	Taxa de metabolismo, em W/m^2
W	Taxa de trabalho mecânico realizado, em W/m^2
q_{sk}	Taxa de calor perdido pela pele, em W/m^2
q_{res}	Taxa total de calor perdido pela respiração, em W/m^2
$C + R$	Perda de calor sensível pela pele, por convecção e radiação, em W/m^2
E_{sk}	Taxa total de calor perdido por evaporação pela pele, em W/m^2
C_{res}	Taxa de calor perdido por convecção pela respiração, em W/m^2
E_{res}	Taxa de calor perdido por evaporação pela respiração, em W/m^2
S_{sk}	Taxa de calor armazenado na pele, em W/m^2
S_{cr}	Taxa de calor armazenado no núcleo, em W/m^2
A_D	Área da superfície do corpo, DuBois, em m^2
m	Massa corporal, em kg
h	Altura do corpo, em m
f_{cl}	Fator de área da vestimenta
A_{cl}	Área da vestimenta, em m^2
T_{rm}	Temperatura radiante média
D	Diâmetro do globo, em m
ϵ_g	Emissividade do material
η	Eficiência mecânica
I_{cl}	Resistência térmica da roupa
f_{cl}	Fator de área da roupa
p_a	Pressão parcial de vapor d'água, em Pa
h_c	Coefficiente de transferência de calor convectivo, em $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
t_{cl}	Temperatura da superfície externa da roupa, em °C
E_D	Fluxo de calor latente por transpiração

E_{re}	Soma dos fluxos de calor para aquecer e umidificar o ar inspirado
E_{sw}	Fluxo de calor por evaporação
S	Fluxo de calor armazenado para aquecer ou resfriar o corpo
F_{CS}	Fluxo de calor do centro do corpo para a pele, em W/m^2
v_b	Fluxo de sangue do centro do corpo para a pele, em $L/(sm^2)$
ρ_b	Densidade do sangue, em kg/L
c_b	Calor específico do sangue, em $(Ws)/(kkg)$
T_c	Temperatura do centro do corpo, em $^{\circ}C$
T_{sk}	Temperatura da superfície da pele, em $^{\circ}C$
F_{SC}	Fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa, em W/m^2
T_{ne}	Temperatura Neutra ao Exterior
TEP	Temperatura Equivalente Percebida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	URBANIZAÇÃO E CLIMA URBANO	25
2.2	EFEITOS DO DESENHO URBANO NO CLIMA DA CIDADE	33
2.2.1	Desenho Urbano Orientado para a Melhoria do Microclima Urbano	41
2.3	CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS	45
2.3.1	Termorregulação do Corpo Humano	46
2.3.2	Parâmetros do Conforto Térmico: variáveis ambientais	51
2.3.3	Parâmetros do Conforto Térmico: variáveis pessoais	53
2.3.4	Parâmetros do Conforto Térmico: variáveis subjetivas	56
2.3.5	Índices de Conforto Térmico	59
2.3.6	Estudos Nacionais sobre Conforto Térmico	62
3	METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	80
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	81
3.1.1	Caracterização climática de Curitiba	81
3.1.2	Determinação dos pontos e dos dias de monitoramento	83
3.2	EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS	86
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E DOS DADOS CLIMÁTICOS	91
3.4	PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A ANÁLISE DE PARÂMETROS URBANOS E SUA RELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E A SENSAÇÃO TÉRMICA LOCAL	103
3.4.1	Análise dos Atributos Urbanos e sua Relação com as Variáveis Climáticas e a Sensação Térmica	105
3.5	OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO PMV, PET E UTCI	117
3.6	PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS DE SENSAÇÃO TÉRMICA VERSUS ÍNDICES DE CONFORTO E DOS DADOS REAIS VERSUS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	118
3.6.1	Análise da Sensação Térmica Real Versus Índices de Conforto Calculados (PMV, PET E UTCI)	119
3.6.2	Análise da Sensação Térmica Real Versus Variáveis Climáticas	126
3.7	PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA GERAÇÃO DE UM MODELO PREDITIVO DE SENSAÇÃO TÉRMICA EM ESPAÇOS EXTERNOS PARA CURITIBA	132
3.7.1	Apresentação do Modelo Preditivo de Sensação Térmica em Espaços Abertos para Curitiba	136
3.8	MODELO PREDITIVO DE CURITIBA	146
4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	148
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
	APÊNDICE A – AFERIÇÃO DOS SENSORES DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	179

APÊNDICE B – VELOCIDADE DO AR: TESTES ESTATÍSTICOS	183
APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO .	184
APÊNDICE D – MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO DA FDL E DO MRL	185
APÊNDICE E – EXPLICAÇÃO SOBRE AUTOVALORES E AUTOVETORES DE UMA MATRIZ	188

1 INTRODUÇÃO

Nas três últimas décadas do século XX, as questões ambientais passaram a ser discutidas em âmbito global. A partir do relatório “Limites do Crescimento” apresentado pelo Clube de Roma em 1972, as atenções se voltaram para o crescimento acelerado da população e a consequente escassez de alimento devida a este aumento populacional. Em 1988 é criado, pela ONU (Organização das Nações Unidas) e pela WMO (*World Meteorological Organization*), o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), com o objetivo de produzir informação científica sobre as mudanças climáticas e suas potenciais consequências nos aspectos ambientais, econômicos e sociais. Desta forma, ao longo dos anos 1990, várias discussões e pesquisas foram iniciadas para entender o aquecimento global. A principal discussão diz respeito aos níveis de dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera, uma vez que a quantidade de CO₂ registrada hoje está bem superior aos limites encontrados no início do século XIX. O CO₂ é um dos gases do efeito estufa responsáveis pelo aumento da temperatura da superfície da Terra.

Desta forma, duas correntes se destacam: (1) aqueles que acreditam que o aumento nos níveis de CO₂ tenha origem antrópica e (2) aqueles que acreditam que a origem seja natural, ou seja, que a principal causa do aquecimento global são as radiações cósmicas. O primeiro grupo, liderado pelos pesquisadores do IPCC, afirma que a concentração de CO₂ aumentou significativamente a partir de 1750 – com a maior quantidade registrada em 2005, 379 ppm (partes por milhão) – e, em consequência, a temperatura média da superfície da Terra também aumentou, com um aquecimento de 0,74 °C no século XX, entre 1906 e 2005 (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007). O segundo grupo acredita que o aquecimento global seja de origem natural. Beck (2007), em um estudo com dados sobre concentração de CO₂ desde 1812, aponta que a concentração deste gás sofreu flutuações ao longo do período apresentando três picos de concentração: 1825, 1857 e 1942. Ao comparar seus dados com os do relatório do IPCC o autor mostra que, nos períodos entre 1810-1835 e 1935-1945, o nível de CO₂ esteve acima de 379 ppm, contrariando os dados do IPCC que mostram um aumento contínuo de CO₂ a partir de 1750. Beck (2007) critica o método de análise aplicado pelo IPCC,

argumentando ser arbitrário o descarte de vários dados. Hieb (2006) mostra que, dos gases de efeito estufa que estão presentes na atmosfera, 95% são vapor de água e 5%, a combinação de gases como: CO₂, CH₄ (metano) e N₂O (ácido nitroso), dentre outros. O autor afirma que, ao analisar o efeito destes gases no aquecimento global, muitos estudos desconsideram o vapor de água e, em consequência, o efeito do CO₂ é superestimado. O total de CO₂ na atmosfera é de 3,62% e, deste total, 97% provém de origem natural e 3% de origem antrópica; ou seja, a influência humana no aumento da concentração de CO₂ na atmosfera é pequena (HIEB, 2006). Molion (2008) alerta para outros processos, menores que o efeito estufa, que interferem no controle climático, tais como: circulação atmosférica, circulação oceânica, albedo planetário e variação na produção de energia solar. Conhece-se a variabilidade destes processos em curto prazo, porém existem variações em longo prazo que ainda não são bem conhecidas. Para o autor, uma das causas do aquecimento global pode ser o aumento da temperatura dos oceanos, devido à redução do albedo planetário. Assim, não é possível afirmar que o aumento de temperatura foi causado pelo aumento de CO₂ na atmosfera, mas talvez o inverso tenha ocorrido, ou seja, que o CO₂ tenha aumentado em função do aumento de temperatura dos oceanos e do ar.

Apesar da falta de consenso entre os dois grupos em relação às causas do aquecimento global, ou seja, se sua origem é natural ou antrópica, o fato é que a temperatura média global aumentou. Uma forma mais clara de perceber este aquecimento é, em uma escala menor, por meio do estudo do clima das cidades. Sabe-se que a modificação de um sítio natural acarreta alterações climáticas. Desta forma, a implantação ou a expansão de uma área urbana gera modificações no solo natural, seja na topografia, no curso dos rios, na vegetação ou no uso do solo, dentre outros e, como consequência, ocorrem alterações nos sistemas termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico das cidades. Estas alterações podem ser percebidas pelos três níveis de conforto: térmico, qualidade de ar e impactos pluviais (MONTEIRO, 2003).

A transformação do espaço urbano ocorre para solucionar problemas físicos e sociais das cidades, como por exemplo, o aumento populacional. Este acarreta a necessidade da criação de mais espaços para moradia, de infraestrutura de transporte, saúde, lazer e educação, dentre outros. E como resultado desta

transformação tem-se a forma urbana, que durante boa parte do desenvolvimento urbano não considerou os aspectos ambientais e climáticos locais.

As civilizações grega e romana já apresentavam preocupações com o planejamento das cidades. Como exemplo, tem-se o tratado urbanístico de Vitruvius (Marcus Vitruvius Pollio, século I a.C.), que apresentava preocupações com salubridade, estética e zoneamento. Entretanto, o desenho das cidades gregas considerava, principalmente, a organização social e política do país. A formação dos espaços estava ligada à religião e à democracia. Da mesma forma, o desenho urbano romano estava fortemente ligado à religião, em aspectos que iam desde a delimitação do perímetro da cidade até a concepção do seu traçado. Porém, a organização social romana era baseada no poder imperial. No período medieval, as cidades crescem de forma espontânea e com aspecto desordenado. Com o crescimento urbano e o surgimento de novas funções (artesão, comerciante, etc.) a cidade passa a ter traçado radiocêntrico, que perdura durante o Renascimento (do século XV ao século XVIII) com diferentes configurações espaciais. No século XIX, a configuração das cidades seguiu os princípios renascentistas, porém, em uma escala maior.

Foi a partir da Revolução Industrial, com a industrialização das sociedades ocidentais, que a qualidade de vida nos centros urbanos se deteriorou. Os primeiros estudos sobre o clima das cidades datam do século XIX, e foram realizados em cidades da Inglaterra, França e Alemanha. Luke Howard verificou que a temperatura noturna em Londres era 2,2°C mais elevada que em seus arredores, e Emilien Renou observou que a temperatura na cidade de Paris era 1°C mais elevada que no seu entorno (BRANDÃO, 1996). O adensamento populacional, a concentração de atividades, o tráfego de automóveis, a emissão de poluentes, a supressão da vegetação nativa, a modificação da topografia e a impermeabilização do solo são algumas das variáveis que alteram o clima local. Este clima específico é chamado clima urbano. No século XX, Hann denominou a diferença de temperatura entre o centro da cidade e seu entorno como *Stadttemperatur*, e Gordon Manley define o mesmo fenômeno como ilha de calor (GARCIA, 1992).

O planejamento e o desenho urbano podem minimizar ou maximizar o impacto ambiental nos centros urbanos. Fatores como os usos e a ocupação do solo, o zoneamento urbano, o direcionamento e a largura das vias, a altura das edificações, dentre outros, podem ser utilizados de forma a controlar a alteração

climática urbana. As mudanças das condições térmicas urbanas exercem grande influência nos seres humanos, afetando o homem em diversos fatores, como a saúde, o conforto, a fisiologia, as emoções, o comportamento e o desempenho nas atividades diárias, devendo-se enfatizar que a influência climática pode ser tanto positiva como negativa (AYOADE, 2003). Segundo Ayoade (2003, p.289), “o essencial para a vida da humanidade no planeta é especialmente o ar, a água, o alimento, o vestuário e o abrigo, que são todos dependentes das condições meteorológicas ou do tempo que lhe é inerente.”

Assim, a alteração do clima em consequência da urbanização pode ser percebida pela formação de microclimas diferenciados em diferentes regiões das cidades, ou seja, através da ocorrência do fenômeno denominado ‘ilha de calor’. Estas alterações climáticas geram variações nos graus de conforto e desconforto térmico, tanto em espaços abertos quanto internos. A análise dos parâmetros urbanos relacionados ao clima pode servir de subsídio para o planejamento urbano. Variáveis como taxa de permeabilidade do solo, recuos entre edificações, densidade e altura das edificações podem ser melhor definidas com base em estudos de conforto, e tendo como reflexo um melhor nível de conforto e redução de consumo energético para climatização ou iluminação artificial de edificações.

Vários índices de conforto foram desenvolvidos para analisar a relação entre os seres humanos e o ambiente ao qual estão expostos. A maior parte desses índices foi elaborado para verificar a sensação térmica em espaços internos. Entretanto, um maior número de variáveis atuam na sensação de conforto em ambientes abertos, tornando-os mais complexos. Vários estudos sobre conforto em espaços abertos estão sendo desenvolvidos no Brasil, porém a diversidade climática encontrada no país indica uma necessidade de estudos específicos nas diferentes localidades. Diversas metodologias conceituais foram desenvolvidas no Brasil, em situações climáticas variadas e envolvendo amostras populacionais diversas. Para o clima de Curitiba, entretanto, há pouco material desenvolvido nessa área.

Os estudos de conforto térmico em espaços abertos podem ser classificados em dois tipos, os que estudam a relação entre o microclima e a morfologia urbana e os que estudam a relação entre o microclima e a sensação térmica. Dentre os temas abordados no primeiro grupo estão a relação entre o microclima e o uso e a ocupação do solo, o microclima e a geometria urbana, o microclima e a vegetação, e o microclima e a ventilação, dentre outros. Os estudos de sensação térmica em

espaços abertos têm como foco a análise da percepção térmica por parte dos usuários e a análise do uso do espaço em função do microclima.

Para estudar a resposta humana, foram selecionados três índices de conforto térmico: PMV (*Predicted Mean Vote*), PET (*Physiological Equivalent Temperature*) e UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*). Entretanto, os três índices foram desenvolvidos ou validados com dados climáticos e repostas térmicas de populações europeias (PMV, PET e UTCI), norte-americana (PMV) e israelense (UTCI) (FANGER, 1982; PSIKUTA, 2009), sendo que o índice PMV é utilizado para prever o conforto térmico em ambientes internos e, os índices PET e UTCI para prever o conforto térmico em ambientes externos.

A presente pesquisa parte da premissa de que cada localidade tem um clima específico e que a predição do conforto térmico deve levar em consideração as especificidades de cada cidade. Assim, esta pesquisa tem o objetivo de responder a seguinte pergunta: **Existe um método para a avaliação da sensação térmica que seja adequado à realidade climática de Curitiba?**

Foram utilizados os índices PMV, PET e UTCI para a predição da sensação de conforto térmico e para a avaliação da aplicabilidade destes índices para a população estudada.

O objetivo geral desta pesquisa é:

Propor um modelo preditivo para a avaliação da sensação térmica em espaços abertos para Curitiba por meio do estudo da percepção térmica de sua população metropolitana.

Os objetivos específicos são:

- Analisar a relação entre as características urbanas e a sensação térmica;
- Analisar a sensação térmica real, a partir dos dados coletados;
- Analisar a sensação térmica por meio dos índices PMV, PET e UTCI.

O local escolhido para a coleta de dados foi a via de pedestres da Rua XV de Novembro ou Rua das Flores. Decidiu-se por este local primeiramente por seu valor histórico – criado em 1972, foi o primeiro “calçadão” do país – e também por ser um importante eixo comercial da cidade, transitando por ele cerca de 140 mil pessoas por dia (ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DO PARANÁ, 2007). A coleta de dados ocorreu em 14 dias ao longo de janeiro e agosto de 2009 e em um dia em

junho de 2010, no período entre 10h00 e 15h00, tendo sido monitorados dados climáticos e levantados dados pessoais, por meio de questionários. As variáveis climáticas monitoradas foram: temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V_a), direção do vento, radiação solar (RS) e temperatura de globo (T_g). Em relação às variáveis individuais foram levantadas informações sobre: idade, gênero, altura, peso, cidade de moradia (fator de aclimatação) e vestimenta, além das variáveis subjetivas sobre a percepção térmica.

Este texto está estruturado em cinco capítulos, complementados pelas referências e apêndices.

No Capítulo 1 estão a introdução, a apresentação da pesquisa e dos objetivos principal e específico e o contexto no qual o trabalho encontra relevância.

O Capítulo 2, denominado Revisão Teórica, contém o referencial teórico relativo ao crescimento urbano, aborda aspectos relativos à influência do desenho urbano no clima da cidade, discorre sobre conforto térmico em espaços abertos, apresentando os índices de conforto térmico analisados nesta pesquisa: PMV, PET e UTCI e mostra os principais estudos nacionais sobre conforto térmico em espaços abertos.

O Capítulo 3, denominado Metodologia e Apresentação dos Resultados, apresenta a metodologia utilizada e os resultados obtidos. O capítulo é subdividido em 11 seções, as quais apresentam: a caracterização climática de Curitiba, a definição e caracterização da área de estudo, os procedimentos da coleta de dados, a caracterização da amostra e dos dados climático, a análise dos atributos urbanos e sua relação com a sensação térmica, o procedimento para a obtenção dos índices de conforto e para a comparação com os dados reais de sensação térmica, os procedimentos adotados na geração do modelo preditivo de sensação térmica para ambiente externo para Curitiba e a apresentação do modelo preditivo e a discussão dos resultados.

O Capítulo 4, denominado Considerações Finais, apresenta as considerações finais sobre a pesquisa realizada, assim como sugestões para pesquisas futuras.

Nos Apêndices estão apresentados a aferição das estações meteorológicas, o questionário de sensação térmica utilizado na pesquisa de campo e demais informações complementares.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados conceitos e revisões de várias áreas do conhecimento que estão relacionadas ao conforto térmico em espaços abertos. Assim sendo, este capítulo está dividido em três seções. A primeira aborda o processo de urbanização e as alterações climáticas resultantes das modificações físicas e estruturais das cidades; a segunda, a relação entre o desenho urbano e as variáveis climáticas e a terceira, o conforto térmico em espaços abertos.

2.1 URBANIZAÇÃO E CLIMA URBANO

Para Mumford (1945, p.13 e p.11), “a cidade surge como conseqüência das necessidades sociais do Homem”, sendo o “ponto de concentração máximo do poderio e de cultura de uma comunidade”. Mumford (1998) acredita que, no período paleolítico (cerca 2 milhões de anos até 10 mil anos a.C.) a cidade nasce sendo um ponto de encontro, local para onde as pessoas regularmente retornam, tornando-se com o tempo o local de residência fixa. Somente no período neolítico (de 10 mil a.C. até cerca de 4 mil a.C.) surgem as primeiras colonizações permanentes, com o uso da agricultura e a criação de animais domésticos. Assim, surgem as aldeias, como um pequeno agrupamento de famílias capazes de produzir seus próprios alimentos e de permanecer em um único local (sedentarismo). Com a aldeia nascem novos instrumentos: armas e utensílios. Nestas aldeias, a forma física da cidade já existia, assim como a estrutura inicial das instituições sociais.

Segundo Castells (1978), a cidade é o local geográfico onde está a estrutura político-administrativa de uma sociedade que chegou a um determinado nível de desenvolvimento técnico e social, e onde é possível diferenciar a produção em pequena escala da produção em série que se organiza em quatro sistemas: (1) sistema de classes sociais, (2) sistema político, que permite a dominação das classes e o funcionamento do conjunto social, (3) sistema de inversão e (4) sistema de intercâmbio com outras cidades. Nesta definição, podem-se incluir ainda as cidades pré-industriais, porém o que diferencia as cidades modernas destas é que a

urbanização e a estrutura de organização das cidades modernas estão ligadas ao modo de produção hegemônica. Assim, para compreender a urbanização e a organização das cidades modernas é necessária a análise histórica da relação entre cidade e sociedade (CASTELLS, 1978; SANTOS, 2008).

Na Grécia antiga, a organização da cidade (polis) se dava em função do caráter político, religioso e moral (HAROUËL, 2001). A estrutura das cidades era ordenada em função dos equipamentos sociais de caráter comercial, cívico, cultural e religioso. O principal espaço era a ágora (praça) localizada no centro da cidade, e os monumentos religiosos ocupavam lugares de fácil visibilidade. A organização romana das cidades era semelhante à organização grega. A delimitação do perímetro da cidade e a configuração do seu traçado eram definidas em um ritual religioso. A divisão das áreas por quadrículas facilitava a divisão dos terrenos e a construção das edificações. O zoneamento é resultado da hierarquia social e das técnicas de organização urbana (LAMAS, 1992).

Castells (1978) mostra que as cidades imperiais, principalmente Roma, eram centros político-administrativos e comerciais, mas não eram locais de produção de mercadorias e sim, locais de gestão e dominação (feudalismo) ligadas ao aparato político-administrativo. Muitas cidades foram fundadas pelo Império Romano, em regiões conquistadas, com o objetivo de manutenção da hegemonia política romana. Isto favoreceu a ampliação do comércio e a divisão do trabalho entre as cidades do império. Com o fim do Império Romano, as cidades perdem sua função político-administrativa e os laços com o campo, ocorrendo a desarticulação da rede urbana.

O declínio da atividade comercial e a implantação do feudalismo fazem com que a produção agrícola seja destinada à cidade, e não ao mercado externo. A estrutura econômica da cidade declina. As cidades medievais nascem de fortificações, em torno das quais existiam núcleos de habitação, serviço e comércio. Uma nova dinâmica social se estrutura com base na autonomia político-administrativa. Neste contexto, a burguesia mercantil estabeleceu diferentes relações com a nobreza feudal, aproximando ou afastando a relação entre a cidade e o campo. Deste modo, a evolução do sistema urbano de cada cidade pode ser analisada de acordo com as relações entre a burguesia, a nobreza e o poder real. Com o desenvolvimento do capitalismo industrial, as cidades perdem seu sistema institucional e social autônomo, ocorrendo a decomposição das estruturas sociais agrárias e a migração da população para os centros urbanos. Da mesma forma, a

produção passa a ser industrial, gerando a criação de um mercado, a concentração da mão-de-obra e a constituição de um meio industrial, acarretando assim a urbanização das cidades (CASTELLS, 1978).

A denominação sociedade urbana é utilizada de maneira generalizada para designar das cidades pré-industriais às megalópoles. No entanto, esta denominação se refere à sociedade que nasce da industrialização, ou seja, à sociedade constituída por este processo, que domina e absorve a produção agrícola (LEFEBVRE, 1999). Assim sendo, as cidades passam a concentrar a produção e criam um mercado, atraindo trabalhadores das áreas rurais que formam a força de trabalho essencial à indústria.

Como resultados do processo de industrialização ocorrem o crescimento populacional das cidades e o processo de urbanização, configurando de maneira específica a forma das cidades. Estruturalmente, as cidades não comportavam este crescimento populacional imediato. Surgem então vários problemas, principalmente de moradia, higiene, circulação, transporte, insalubridade nos locais de trabalho, diferenciação de classes sociais, segregação social e alterações climáticas, dentre outros. Assim, a nova organização do espaço urbano passa a ser feita pela revolução industrial e pelo desenvolvimento da economia capitalista. O meio natural foi modificado, criando espaços urbanos com relações econômicas e sociais entre a comunidade e o meio ambiente (ALVA, 1997).

Para Benjamin (1985), estas mudanças estão ligadas à estrutura capitalista da Revolução Industrial, isto é, as cidades perdem seu caráter humano e são ordenadas de forma a manter o poder da classe dominante. Como exemplo, o autor cita o urbanismo de Haussmann em Paris, mostrando que a destruição do centro antigo da cidade gerou especulação, fazendo com que os trabalhadores migrassem para a periferia. A reconstrução do centro tinha como propósito a proteção da cidade contra as revoluções trabalhistas. Para o autor, estas novas técnicas são utilizadas para a manutenção do poder e dominação da população.

Neste contexto uma nova disciplina, o urbanismo, é idealizada com o intuito de resolver os problemas advindos da urbanização. Segundo Bardet (1990), a expressão urbanismo foi usada pela primeira vez em 1910, significando ciência do planejamento das cidades. Em 1914, é fundada a Sociedade Francesa dos Arquitetos-Urbanistas. Em 1924, é fundado o Instituto de Urbanismo da Universidade de Paris e, somente em 1953, o urbanismo começa a ser ensinado na

Escola de Belas-Artes em Paris (CHOAY, 1998). Para Harouel (2001), o urbanismo nasce em decorrência da Revolução Industrial e abrange temas como: morfologia urbana, obras públicas, planos urbano, práticas sociais, pensamento urbano, legislação e direito relativo à cidade. Lefebvre (1999) vê o urbanismo como tentativa de submeter a realidade urbana à racionalidade industrial, às exigências do mercado. De acordo com Choay (1998), este novo termo surge devido a uma nova realidade: a expansão da sociedade industrial, originando uma nova disciplina com caráter reflexivo e crítico. O urbanismo tinha como pretensão resolver os problemas da industrialização através do planejamento da cidade maquinista. Entretanto, o processo de urbanização ocorre de maneira diferenciada nos países desenvolvidos e subdesenvolvidos.

Castells (1978) apresentou dados comparativos, até meados do século XX, entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos e concluiu que, entre países com um mesmo nível de população urbana, o nível de industrialização nos países desenvolvidos era muito maior. Em 1951, enquanto 52,8% da população alemã dependia da indústria, na Índia esta porcentagem era de 25%. O autor explica a diferença de urbanização nos países subdesenvolvidos destacando quatro fatores: (1) a concentração populacional em grandes cidades sem a integração a uma rede urbana, isto é, organismos espaciais de articulação econômica, (2) a falta de continuidade na hierarquia urbana, (3) as diferenças sociais e culturais entre as áreas urbanas e rurais e (4) a justaposição de povoados indígenas e aglomerações herdadas do colonialismo.

Castells (1978) afirma que a subordinação dos países subdesenvolvidos às metrópoles imperialistas estruturou o sistema produtivo e a relação entre as classes. A relação entre dependência e desenvolvimento deve ser analisada sob o aspecto da estrutura social destes países e o tipo de dominação exercido, que, segundo o autor, pode ser de três tipos: a dominação colonial, a dominação capitalista comercial e a dominação imperialista industrial e financeira. Estes três tipos de dominação podem coexistir, porém haverá sempre a prevalência de um deles. No caso brasileiro, as cidades coloniais têm duas funções principais: a administração dos territórios conquistados, com objetivo de explorar os recursos naturais e marcar o domínio político e, o comércio, principalmente com a metrópole.

No Brasil, o processo de urbanização iniciado com a colonização por Portugal também teve influência capitalista, ou seja, o modelo de colonização

utilizado por Portugal tinha como base a exploração dos recursos locais e a comercialização de bens da metrópole. Para isso, dependia do nível de desenvolvimento econômico, técnico e cultural das localidades colonizadas. Entretanto, no Brasil, este desenvolvimento era muito baixo e a população, pequena, sem a possibilidade de absorver os produtos europeus. Assim, o modelo utilizado por Portugal em suas colônias não pôde ser implantado com a mesma abrangência no território brasileiro (REIS, 2000).

A primeira atividade econômica foi a exploração das riquezas naturais e, como consequência, surgiram as primeiras aglomerações provisórias ao longo da costa. Com a oficialização da ocupação territorial (capitanias hereditárias) em 1532, surgem as primeiras cidades, Salvador em 1549, como sede do Governo Geral, e Rio de Janeiro em 1567, para o controle do litoral sul (REIS, 2000). Por meio das Ordenações (organização municipal portuguesa), foram criadas as primeiras vilas, com suas funções político-administrativas e judiciárias geridas pelo Governo Geral. Os primeiros núcleos urbanos (fundados até 1580) se concentraram no litoral brasileiro ou junto a cursos d'água, devido à fácil comunicação entre Portugal e o litoral, sendo o porto seu principal elemento (REIS, 2000; MARX, 1980).

A política de urbanização adotada por Portugal no Brasil deixava a cargo dos donatários as principais tarefas e custos da urbanização. Já nas cidades da Coroa, a responsabilidade era do Governo Geral. Nos primeiros anos de colonização, arquitetos e engenheiros militares vinham de Portugal para executar as obras de maior importância nos maiores núcleos urbanos, pertencentes à Coroa. De forma geral, as terras eram doadas aos donatários, que as ocupavam conforme lhes convinha, com pouco controle municipal sobre o crescimento urbano. Entre a segunda metade do século XVII e 1720 (implantação da política urbanizadora) houve um maior controle do crescimento urbano nos maiores centros (REIS, 2000).

As primeiras cidades totalmente urbanas se estabelecem no interior do país (final do séc. XVII e primeiras duas décadas do séc. XVIII), impulsionadas pelo desenvolvimento da mineração e pela centralização econômica. O comércio se fortalece nos principais núcleos da costa (REIS, 2000). Desta forma, o desenvolvimento das cidades estava ligado à organização político-administrativa, com diferenças entre o governo geral e o municipal, à atividade econômica predominantemente agrária e às atividades urbanas, ligadas ao comércio e à mineração.

A partir no século XVIII a urbanização se desenvolve, atingindo sua maturidade no século XIX. A base econômica eram a agricultura comercial e a exploração mineral. Mas é somente no início do século XX que ocorre o grande crescimento populacional nas cidades. Entre 1940 e 1980 a taxa de urbanização cresce, a população total triplica e a população urbana chega a 77%. Entre as décadas de 1960 e 1980 ocorrem a mecanização da agricultura e a industrialização¹ nas cidades e, como consequência, há a migração de parte da população do campo – que havia perdido o emprego por conta da mecanização, para a cidade – que contava com maior oferta de emprego devido à industrialização (SANTOS, 1994). De acordo com Menezes (2001), este desenvolvimento ocorreu de forma desordenada, sem planejamento e desconsiderando as características naturais do meio, o que gerou problemas como: falta de infraestrutura, de transportes, saúde e educação, dentre outros, resultando em grandes problemas sociais e ambientais. As políticas sociais da época tinham como objetivo remediar os problemas existentes. Desta forma, as cidades deveriam ser planejadas para receber a industrialização, sem que as questões sobre o impacto gerado por esse processo sobre o meio ambiente fossem consideradas. Segundo Mota (1999, p. 17), “o aumento da população e o aumento das cidades deveriam ser sempre acompanhados do crescimento de toda a infraestrutura urbana, de modo a proporcionar aos habitantes uma mínima condição de vida”.

De acordo com Oliveira (2000), somente a partir da segunda guerra mundial teve início a instauração do planejamento urbano nas cidades brasileiras, tendo como exemplo a construção de Brasília. O planejamento urbano tinha um papel estratégico no processo de crescimento das cidades, e os problemas sociais não eram considerados relevantes no âmbito das políticas públicas, sendo vistos como consequências do crescimento econômico. Desta forma, as cidades deveriam ser planejadas para receber a industrialização, sem que as questões sobre o impacto (social, ambiental, etc.) gerado fossem consideradas. Segundo Santos (1994), as cidades estavam sendo construídas ou reconstruídas com o auxílio da ciência, das técnicas e da informação (meio técnico-científico), com o objetivo de fortalecer o

¹ Segundo Santos (1994, p.27), o termo industrialização ligado ao contexto da urbanização brasileira não deve ser entendido no seu sentido restrito, mas sim, “como processo social complexo, que tanto inclui a formação de um mercado nacional quanto os esforços de equipamento do território para torná-lo integrado, como a expansão do consumo em formas diversas (leia-se terceirização), o que impulsiona a vida de relações e ativa o próprio processo de urbanização.”

processo de produção hegemônico. A interligação do país, por meio da implantação de novos sistemas técnicos (transporte, energia, telecomunicações etc.) possibilitou a adaptação da natureza e dos espaços e ampliou o desenvolvimento econômico.

Um novo modelo de organização espacial se forma, as áreas metropolitanas, com o intuito de implementar um projeto de planejamento e reforma urbana, para suprir as principais demandas sociais (saneamento, habitação, transportes, etc.). Assim, cria-se um conjunto de cidades que compõe uma rede de atividades industriais, comerciais e de serviços, gerida por um município central que exerce as funções administrativas e econômicas. Segundo Oliveira (2000), o processo de criação das regiões metropolitanas não levou em consideração a relação de dependência socioeconômica entre os municípios, sendo definido politicamente. Somente algumas capitais tornaram-se regiões metropolitanas. Curitiba foi a cidade escolhida para testar o novo modelo, mas segundo o autor, na época, a cidade não mantinha relações sociais e econômicas com os municípios vizinhos, com os quais também não compartilhava problemas metropolitanos, como aconteceu nas regiões de Campinas e Londrina, por exemplo.

Órgãos públicos municipais foram criados com objetivo de gerir esta rede de cidades. Apesar do esforço destas instituições de tentar planejar as cidades de forma a garantir o bem estar social, as decisões urbanas estavam intimamente ligadas aos interesses capitalistas da classe dominante. Utilizando o planejamento urbano de Curitiba como exemplo, Oliveira (2000) demonstra a influência da iniciativa privada e do sistema capitalista nas escolhas urbanísticas implantadas em Curitiba desde o plano diretor de 1965. O autor mostra que deve existir compatibilidade entre os interesses empresariais e urbanísticos, pois grande parte das terras necessárias para a reforma urbana está em poder da classe capitalista, limitando de certa forma a liberdade projetual dos planos diretores. Desta forma, os planos diretores são pensados de forma a privilegiar a economia urbana privada, sem levar em consideração os setores informais da economia, tais como, serviços públicos e ocupações ilegais. Assim, ferramentas legais como código de obras, leis de zoneamento, alvarás de funcionamento para comércio, etc., têm como objetivo garantir o controle capitalista da cidade.

Para salvaguardar seus interesses, a classe empresarial paranaense se organizou em instituições privadas tais como: Associação Comercial do Paraná (ACP), Federação das Indústrias do Estado do Paraná (Fiep), Sindicato da Indústria

da Construção Civil (Sinduscon), Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis no Estado do Paraná (Secovi), dentre outras. Estas instituições sempre exerceram grande pressão sobre os órgãos públicos com o objetivo de garantir sua participação nas decisões urbanas pertinentes às suas áreas de atuação, protegendo seus interesses capitalistas. Desta forma, conseguiram participar da elaboração ou reformulação de ferramentas de controle e organização urbana (OLIVEIRA, 2000).

Como exemplo, tem-se a criação da cidade industrial de Curitiba (CIC) em 1972, que ocorreu devido à forte pressão que as instituições ligadas às empresas privadas e indústrias (ACP, Fiep, Sinduscon, dentre outros) exerceram sobre as instituições municipais e estaduais. Em 1965, no Seminário de Desenvolvimento Industrial de Curitiba, foi recomendada a formulação de uma política industrial que favorecesse o crescimento econômico e social da região. Foi realizado um projeto de zoneamento urbano da área na qual seria implantada a cidade industrial e os custos de implantação ficaram a cargo das instituições municipais e estaduais (Urbs, Sanepar, Copel, Telepar, etc.), sendo que o valor de venda dos terrenos não incorporou os custos de implantação. Os custos relativos à infraestrutura elétrica, de água e de telefonia foram repassados para a população. A implantação da CIC alterou o perfil da economia local, aumentou o PIB estadual e os postos de trabalho. Como consequência, houve a consolidação da aliança entre o setor empresarial industrial e o órgão de planejamento urbano em Curitiba (OLIVEIRA, 2000).

As instituições privadas também tiveram grande influência na definição de algumas leis relativas à ocupação do solo, tais como: o Código de Obras de Curitiba, a Lei do Solo Criado e a Lei de Zoneamento do Solo, interferindo sempre que alguma decisão contrariava seus interesses comerciais. O mesmo ocorreu com a criação do sistema de transporte coletivo da cidade.

De modo geral, a partir do século XIX, as cidades passaram a ser organizadas de acordo com o sistema econômico dominante. A organização espacial é direcionada de forma a priorizar a urbanização de determinadas áreas, com o objetivo de valorização imobiliária das mesmas, enquanto outras são negligenciadas. Da mesma forma, a paisagem urbana é influenciada por um modelo construtivo e pelo direcionamento do crescimento da cidade, independente das consequências geradas, tais como: falta de insolação e ventilação em função da alta densidade de ocupação, uso de condicionamento artificial de ar em função dos

modelos e materiais construtivos utilizados, substituição de áreas verdes por áreas construídas, dentre outros.

A falta de aspectos climáticos, ambientais e sociais nas leis municipais, acarreta impactos que nem sempre são percebidos em curto prazo. A ocupação máxima do solo urbano, de acordo com a legislação vigente, prejudica a qualidade do espaço projetado, gerando problemas climáticos como o aumento da temperatura do ar, a alteração da ventilação e problemas com o escoamento de águas pluviais, dentre outros. Estas alterações contribuem para a formação de um clima diferenciado nas cidades, em comparação com o ambiente rural, denominado clima urbano.

O clima urbano pode ser definido como sendo aquele gerado em um determinado local devido às suas características atmosféricas e às alterações provocadas pelo homem. Desta forma, Oke (1978), define o clima urbano como sendo o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização na superfície terrestre e nas características atmosféricas de um determinado local e Monteiro (2003, p.19) afirma que “o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

Para compreender as alterações climáticas decorrentes do processo de urbanização, é necessário compreender a relação entre as características urbanas, o microclima e o conforto térmico. A seguir serão apresentadas as alterações climáticas provocadas pelo desenho urbano.

2.2 EFEITOS DO DESENHO URBANO NO CLIMA DA CIDADE

O planejamento urbano é um dos instrumentos de regulação e ordenação de uma cidade, a partir do qual resulta o plano diretor, documento que define e organiza espacialmente a cidade (BARDET, 1990; FERRARI, 1986). Bardet (1990) aponta cinco problemas (enfoques) do urbanismo: o tráfego, a higiene e o conforto, aspectos sociais e econômicos, estética e aspectos intelectuais e espirituais. Estes enfoques devem ser abordados de forma conjunta e respeitando as características e necessidades de cada local.

Assim, o planejamento urbano, no que diz respeito ao controle do uso e da ocupação do solo, é um processo complexo, envolvendo várias áreas do conhecimento e necessitando de um grupo interdisciplinar de profissionais, no qual cada um contribui com conhecimentos específicos. O planejamento urbano ocorre em um meio físico, mas acarretará alterações na estrutura social, econômica e cultural de uma cidade. A partir do momento em que um desenho define áreas com diferentes usos e ocupações, define também uma relação social naquele espaço.

As características naturais do sítio, isto é, sua topografia, vegetação, clima, orientação solar, ventilação, dentre outros, são fatores determinantes de um bom planejamento e desenho urbano. Entretanto, estas características nem sempre são levadas em consideração ao se planejar a ocupação de um local, acarretando graves problemas ambientais e sociais. Um desenho urbano adequado deve proporcionar um bom aproveitamento da topografia e do vento do sítio, no que diz respeito ao traçado das vias e à ventilação local; deve manter um equilíbrio entre espaços abertos e construídos, favorecendo assim um microclima favorável à população, e deve organizar as áreas, setorizando-as em função do uso, levando em consideração as características do clima e do meio natural.

Para Romero (1988, p.12), “a arquitetura, ou o desenho urbano, busca definir as condições ambientais, do meio natural e construído, que melhor satisfaçam às exigências do conforto térmico do Homem”. Diversos autores estudaram a relação entre o meio natural e o ambiente construído, dentre eles os irmãos Olgyay (1998) e Givoni (1998). Embora o enfoque seja maior na edificação, os princípios por eles desenvolvidos podem ser utilizados para o desenho urbano, considerando a inter-relação existente entre o clima e a edificação.

Segundo Givoni (1998), os fatores que deveriam ser considerados no planejamento urbano são: (1) escolha do local para a implantação da cidade ou de loteamentos de grande porte; (2) tamanho das cidades ou do empreendimento; (3) densidade da área construída e distância entre as edificações; (4) cobertura do solo: a elevação de temperatura nas cidades é causada em parte pelo lento resfriamento da massa edificada, que durante o dia armazena calor e durante a noite o perde de maneira mais lenta, em comparação com as áreas vegetadas e cultivadas; (5) a orientação e as larguras das caixas das vias; (6) altura média das edificações e (7) desenho das edificações.

Desta forma, o projeto de uma edificação pode alterar as condições climáticas no seu interior e no seu entorno. A interação entre as construções e o ambiente em seu redor é complexa, pois, da mesma forma que as condições de conforto no interior de uma edificação dependem das condições climáticas externas, as construções geram modificações climáticas no seu entorno.

O ambiente interno é mais facilmente controlado. Nele, as pessoas estão protegidas da radiação solar e a temperatura e a velocidade do ar criam uma condição diferente da existente no exterior da edificação. O projeto arquitetônico pode auxiliar no controle das condições climáticas internas, sendo possível projetar elementos que controlem a incidência da radiação solar, do vento e, em função disso, influenciar o consumo energético da edificação. Givoni (1998) afirma que através de políticas urbanas e do desenho urbano pode-se interferir no clima de determinada localidade, promovendo o conforto térmico dentro e fora das edificações e, desta forma, reduzir a demanda de energia em climatização artificial.

Por outro lado, a mesma edificação que foi projetada para garantir o conforto no seu interior vai interagir com o ambiente externo, alterando o microclima em seu entorno. Segundo Oke (1978), a implantação de uma construção na paisagem gera modificações no balanço energético, no comportamento do vento, nas condições térmicas e de umidade no seu entorno.

A configuração urbana (tamanho e densidade das edificações, altura e distância entre os edifícios, orientação das edificações e tamanho das caixas das vias, dentre outros) desempenha um papel fundamental na alteração do balanço de radiação. Assim sendo, é possível, por meio do desenho urbano, influenciar os elementos climáticos (radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do ar) que exercem impacto no equilíbrio térmico entre o ambiente e o homem, definindo condições ambientais que satisfaçam o conforto térmico.

A seguir serão apresentados os impactos do desenho urbano nas variáveis climáticas: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade dos ventos.

Radiação Solar

A radiação solar recebida por um determinado ponto depende da latitude, da época do ano e da altura solar (hora do dia), sendo que a maior incidência de radiação solar ocorre próximo ao meio dia, quando o sol está no seu ápice. Parte da

radiação solar incidente é refletida e absorvida pelas superfícies que compõem o ambiente urbano (solo, coberturas, paredes, vegetação, etc.). Segundo Givoni (1998), em locais medianamente adensados, grande parte da radiação solar é refletida pelos edifícios e pelo solo, sendo apenas eventualmente absorvida pelo solo ou pelas superfícies em seu entorno. Em locais muito adensados, a maior parte da radiação solar é absorvida pelas superfícies mais altas, sendo pequeno o aquecimento do ar perto do solo.

Em locais urbanizados, a orientação da via e a geometria urbana influenciam o microclima. Para estudar o efeito da geometria urbana na radiação solar, utilizam-se indicadores do nível de urbanização, como por exemplo a relação H/W , entre a altura das edificações (H) e a largura das vias (W), e o fator de visão do céu (FVC). A relação H/W , não leva em consideração elementos como árvores, pérgolas, marquises ou perfis verticais diferentes, dentre outros. Já o FVC é o ângulo de visão do céu visível em um determinado ponto, quantificado de 0 a 1 (sendo que o valor 1 corresponde a ausência de obstáculos) e engloba todos os elementos presentes no local.

Oke (1978) analisou um cânion urbano² com orientação Norte/Sul, $H/W = 1$, paredes de concreto pintadas de branco, sem janelas e com solo recoberto por vegetação esparsa. O autor observou que depois do meio dia, a fachada Leste recebia somente radiação difusa e irradiação da parede oposta. O solo recebeu insolação somente ao meio-dia, sendo registrado o maior valor de radiação comparado com as outras superfícies, devido ao menor albedo³ da superfície. Durante a noite a perda de calor foi pequena devido ao reduzido FVC. Segundo o autor, se a razão H/W for maior ou menor que 1, a radiação solar penetrará de forma diferente nos cânions e a perda de calor para o espaço poderá ser prejudicada. Diferentes materiais construtivos alteram o albedo do cânion e sua capacidade de armazenar calor.

A Figura 1 mostra o efeito da via orientada no sentido Norte/Sul na insolação e sombreamento das fachadas.

² Expressão criada por Oke (1978) para denominar a configuração espacial urbana composta por edificações implantadas ao longo do eixo de uma via.

³ O albedo é a "energia radiante proveniente da radiação refletida e depende do tipo de superfície refletora" (SANTANA, 1997, p.59).

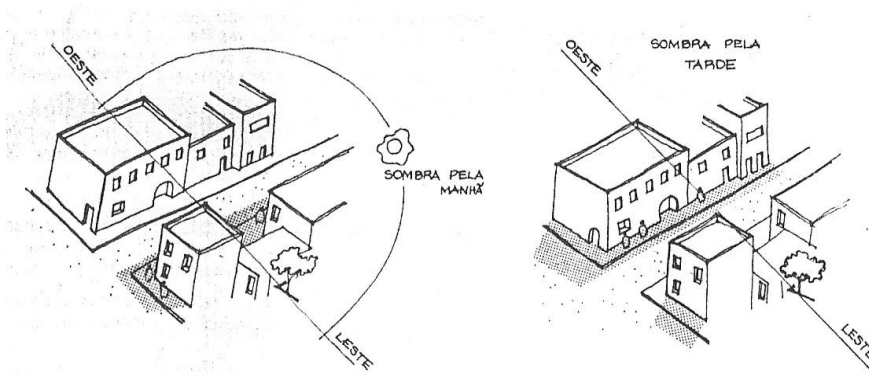


Figura 1 – Efeito da orientação Norte/Sul da via na insolação e no sombreamento
Fonte: Romero (1988, p.104)

O efeito da radiação solar pode ser analisado utilizando a temperatura radiante média, que é a temperatura média das superfícies de um ambiente que participa das trocas térmicas com o corpo. Nota-se que a temperatura das superfícies depende da quantidade de radiação incidente e das características físicas e térmicas do material da superfície. Assim, o efeito da radiação difusa e da radiação solar no ambiente urbano pode ser quantificado. Para a análise do conforto térmico utiliza-se a temperatura radiante média como uma das variáveis climáticas.

Várias pesquisas mostram o efeito da geometria urbana na radiação solar incidente, dentre eles estão o estudo de Postigo e Souza (2007), que analisaram o ambiente térmico de um bairro residencial em Bauru (SP) e concluíram que em locais obstruídos (menor FVC) há menor carga de radiação incidente e que áreas mais adensadas e verticalizadas sofrem maior efeito da ilha de calor noturna.

Minella (2009) analisou a relação entre a geometria urbana e os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. A autora verificou a existência de uma tendência na relação entre FVC e a temperatura radiante média (T_{rm}), ou seja, em pontos com maior obstrução, os valores de T_{rm} foram menores.

Ali-Toudert e Mayer (2006), ao analisar diferentes configurações urbanas, observaram que os valores máximos de temperatura do ar correspondiam à quantidade de insolação recebida pelos cânions. Os maiores valores de temperatura em cânions orientados no sentido Norte/Sul ocorreram no início da tarde, período de maior incidência de radiação solar e, os maiores valores de temperatura em cânions orientados no sentido Leste/Oeste ocorreram no final da tarde.

Temperatura do ar

A temperatura do ar em áreas urbanizadas é normalmente mais alta que a temperatura em áreas rurais. Este efeito é denominado ilha de calor urbana (OKE, 1978) e é utilizado para mostrar o efeito da urbanização sobre o microclima local. De acordo com Oke (1978), a forma e a dimensão da ilha de calor variam no tempo e no espaço em função das condições meteorológicas locais e das características urbanas. A Figura 2 mostra a generalização do efeito da ilha de calor. É possível observar que há uma grande diferença de temperatura do ar entre a área rural e a área urbana, sendo que a maior diferença pode ser vista na divisa entre estas áreas. Na área menos urbanizada a temperatura do ar é mais uniforme e na área mais adensada ocorre o pico de temperatura, sendo a intensidade da ilha de calor dada pela diferença entre a temperatura urbana e a rural (ΔT_{u-r}). Oke (1978) afirma que a intensidade da ilha de calor está relacionada com o tamanho populacional da cidade. Quanto maior e mais populosa a cidade, maior a necessidade de infraestrutura e, conseqüentemente, maior a diferença entre as temperaturas da cidade e as do seu entorno.

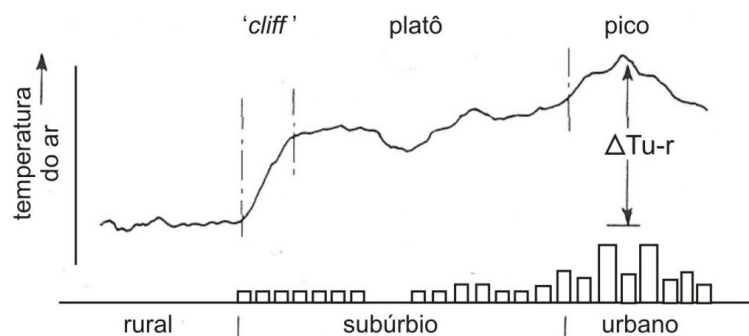


Figura 2 – Generalização da ilha de calor urbana
Fonte: Adaptado de Oke (1978, p.254)

Segundo Givoni (1998), é comum observar ilhas de calor noturnas com intensidade de 3°C a 5°C e ilhas de calor diurna com intensidade de 1°C a 2°C. Oke (1978) e Givoni (1998) citam alguns fatores que afetam a temperatura do ar, principalmente ao nível do solo:

- aumento de radiação atmosférica devido a absorção de radiação de onda longa e sua reemissão pelo ar poluído;
- diminuição da perda de radiação de onda longa devido à redução do FVC;
- grande absorção de radiação de onda curta devido ao efeito da geometria do cânion no albedo;

- diminuição da evaporação devido à remoção de vegetação e da impermeabilização;
- diminuição da perda de calor sensível devido à redução da velocidade do vento;
- liberação de calor antropogênico;
- fontes de calor sazonais: aquecimento ou resfriamento das edificações, devolvendo o ar aquecido ou resfriado para o ambiente urbano.

Estudos sobre a relação da alteração de temperatura e densidade construída mostram que, quanto mais adensada a área urbana, mais altos são os valores de temperatura do ar registrados. Lombardo (1985, p.16), ao estudar a ilha de calor na cidade de São Paulo, verificou que “os altos valores de temperatura estão relacionados às mais altas densidades de população, onde se encontram mais de trezentos habitantes por hectare”. Santana (1997, p.155), em seu estudo na cidade de Fortaleza, concluiu que “as temperaturas mais elevadas foram registradas nos pontos localizados em zonas com maior densidade de edificações, pessoas e veículos,...”. Gomes e Lamberts (2009) ao estudar a relação entre densidade construída e comportamento térmico na cidade de Montes Claros (MG) concluíram que as áreas mais adensadas apresentaram maiores valores de temperatura em relação às áreas menos adensadas.

Em relação à geometria urbana e seu efeito na variação da temperatura do ar, Ribeiro, Fidelis e Carvalho (2008) ao analisarem a relação entre formação de ilhas de calor e a geometria urbana (FVC) em dois bairros da cidade de João Pessoa/PB, concluíram que, no período da tarde, há uma tendência da temperatura do ar permanecer mais quente em locais com maior FVC, ou seja, em locais mais expostos à radiação solar direta. Já no período da noite, o comportamento térmico se inverte, e a temperatura é mais elevada em locais com menor FVC, confirmando a teoria de que a maior obstrução do céu dificulta a perda do calor acumulado durante o dia.

Umidade do ar

A diferença entre a umidade do ar na área urbana e na área rural é pequena, sendo que na área urbana o ar é mais seco durante o dia e ligeiramente mais úmido durante a noite. Na área rural, a umidade do ar é maior durante o dia

devido ao processo de evapotranspiração, e menor durante a noite em função do rápido resfriamento do ar. Já nas áreas urbanas, devido à baixa evapotranspiração do tecido urbano, ao vapor antropogênico e à estagnação do fluxo de ar, a umidade do ar é mais alta (OKE, 1978).

Segundo Oke (1978), durante a noite ocorre nos centros urbanos a formação de ilhas de umidade, efeito similar ao da ilha de calor. A área mais urbanizada concentra maior umidade no ar, e há uma significativa diferença em relação à área rural. Em climas frios, durante o inverno, a umidade do ar pode ser mais alta durante o dia devido à liberação de vapor d'água pelos processos antropogênicos.

Velocidade do vento

A velocidade do vento dentro da camada urbana é normalmente menor que a velocidade do vento na área rural. Oke (1978) alerta que em duas situações esta premissa não é verdadeira: (1) quando a ventilação é canalizada ao longo de vias orientadas na direção do fluxo de ar e (2) quando os ventos regionais são muito leves ou há calmaria. Dois fatores influenciam a ventilação urbana: os ventos regionais e o gradiente de temperatura do ar entre a área urbana e a rural (OKE, 1978; GIVONI, 1998). A rugosidade e a porosidade são duas características urbanas de grande influência na ventilação local. A porosidade pode ser vista como a permeabilidade aos ventos, e é dada em função das distâncias entre as edificações e a largura das vias (Figura 3 e Figura 4).

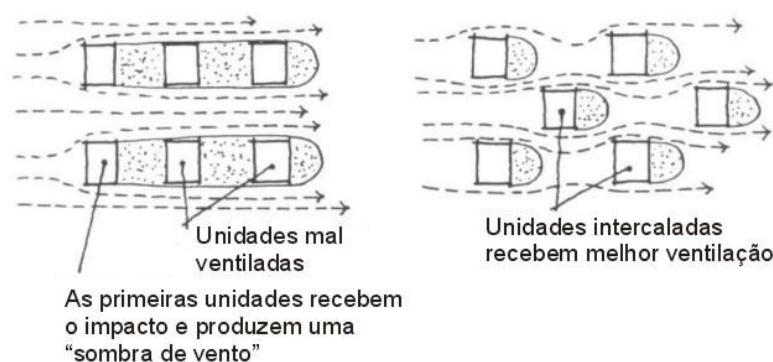


Figura 3 – Espaçamento e localização dos edifícios e a ventilação
Fonte: Olgyay (1968, citado por SANTANA, 1997, p.54)

As áreas entre as vias e as edificações são afetadas pelo potencial de insolação nas edificações e pela ventilação local, formando túnel de vento ou bloqueando a ventilação. A altura média das edificações interfere na ventilação, pois edificações altas diminuem a velocidade do vento no nível do solo (GIVONI, 1998).

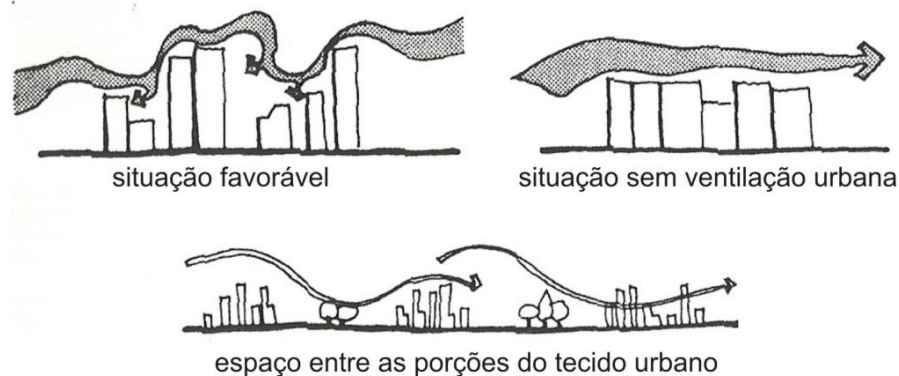


Figura 4 – Ventilação no tecido urbano
Fonte: Romero (1988, p.108)

Johansson (2006) analisou o comportamento de variáveis climáticas em um cânion estreito ($H/W = 9,7$) e em um cânion largo ($H/W = 0,6$), na cidade de Fez, Marrocos. Em relação à umidade relativa, o autor observou que no cânion estreito a umidade permaneceu estável, enquanto no cânion largo ela sofreu variação diurna. A variação da umidade está relacionada com a variação diurna da temperatura do ar nos dois cânions. A velocidade do vento variou consideravelmente, em função da hora do dia. No cânion estreito, a velocidade do vento permaneceu estável e foram registrados valores mais baixos se comparados com o cânion largo. Marques e Araújo (2009) analisaram o impacto de diferentes ocupações do solo na ventilação natural na orla da cidade de Natal/RN e concluíram que ao diminuir a porosidade, isto é, reduzir os recuos entre edificações e aumentar a altura das mesmas, a velocidade do vento é reduzida, originando a formação de ilhas de calor.

A partir da compreensão de como o desenho urbano influencia o microclima, é possível utilizar os elementos do desenho urbano para melhorar a condição térmica dos espaços urbanos.

2.2.1 Desenho Urbano Orientado para a Melhoria do Microclima Urbano

A implantação de edificações na paisagem modifica o balanço energético, a umidade do ar e a ventilação no entorno edificado, conforme foi descrito anteriormente. Em áreas adensadas, as áreas sombreadas recebem menos radiação solar, ocorre o aumento da radiação solar por reflexão e a redução do

resfriamento das superfícies devido ao reduzido FVC, e ocorre o aumento da temperatura do ar e a diminuição da velocidade do vento.

Ao analisar os efeitos da urbanização e do desenho urbano no microclima percebe-se a complexidade do tema. Um determinado elemento do desenho urbano pode influir em mais de uma variável climática; por exemplo, a geometria urbana pode alterar o balanço térmico, aumentando a temperatura do ar e diminuindo a umidade. Apesar dos vários fatores que devem ser considerados ao se planejar e projetar um espaço urbano, com o objetivo de minimizar os efeitos da urbanização no microclima, é possível utilizar elementos urbanísticos que melhorem o clima urbano e o conforto térmico em espaços abertos.

Autores como Oke (1978), Oliveira (1988), Romero (1988) e Givoni (1998) apresentam algumas estratégias de desenho urbano visando à melhoria do conforto térmico dos espaços urbanos. A seguir serão apresentadas algumas estratégias gerais:

- controle da densidade construída

Danni-Oliveira (1995, p.24), em seu estudo da distribuição espacial do ar em Porto Alegre, constatou “a presença de IC⁴ sobre as áreas mais densamente edificadas e, ainda, sobre áreas caracterizadas pelo uso industrial”. Nery, Andrade e Lira (2003) analisaram oito tipologias de ocupação do solo em Salvador/BA e observaram que a impermeabilização do solo e a massa construída contribuem para o armazenamento de calor pelas superfícies, induzindo o aumento da temperatura do ar. Vilela, Assis e Paiva (2007) analisaram dois cenários de adensamento urbano (massa construída) na cidade de Belo Horizonte/BH e seu impacto no conforto térmico, observando que há correlação significativa entre a massa construída, a temperatura do ar e a umidade relativa, e concluindo que se houver aumento das taxas de adensamento e verticalização na área estudada a poluição acarretará aumento da temperatura, diminuição da umidade, redução de áreas verdes, desconforto térmico e problemas de saúde.

- orientação das vias: melhoria da ventilação local, da insolação e do conforto térmico

⁴ ilhas de calor.

Santamouris⁵ (2001, citado por Romero, 2009) mostra que apesar da orientação da via determinar a quantidade de radiação recebida pelas superfícies das edificações, a temperatura no interior dos cânions urbanos não é influenciada pela orientação da via, mas sim, pela ventilação no cânion. Bourbia e Awbi (2004) afirmam que a orientação das vias tem considerável efeito no sombreamento e no microclima. No estudo realizado para as latitudes 26-32°N, os autores verificaram que, para a orientação N-S, 40% a 80% da via apresenta sombreamento, enquanto para a orientação NO-SE, apenas 30% a 50% da rua é sombreada ao longo do ano. Carvalho et al. (2009), ao estudar a relação entre a orientação das edificações e o comportamento térmico na orla marítima de João Pessoa, verificaram que a orientação da edificação influencia o comportamento da sombra projetada e o comportamento do ar próximo à superfície do solo.

- edificações com fachadas irregulares e coberturas inclinadas: diminuição da reflexão da radiação solar, retardamento da perda de calor durante a noite

Castanheira e Costa (2001a, 2001b) analisaram a incidência de radiação solar em superfícies planas com inclinações de 0° a 90° na cidade do Rio de Janeiro/RJ e observaram que, durante o verão, à medida que a inclinação aumenta, a quantidade de radiação solar incidente diminui, principalmente para as superfícies orientadas para o Norte, ocorrendo maior incidência de radiação em superfícies com até 20° de inclinação, independente da orientação. No período de inverno, também ocorre a diminuição de incidência solar à medida que a inclinação aumenta, porém, a maior incidência se dá somente na orientação Norte, nas superfícies com inclinação entre 20° e 70°. Ali-Toudert e Mayer (2007) estudaram diferentes perfis verticais, cânions assimétricos e o uso de galerias e dispositivos de sombreamento para cânions com diferentes orientações, com o objetivo de analisar a relação entre conforto térmico e desenho urbano. Os resultados mostraram que todas as situações analisadas têm moderado impacto sobre a temperatura do ar e a sensação térmica, sendo que: (1) quanto mais aberto o cânion, maior o estresse térmico, (2) cânions estreitos orientados no sentido Leste/Oeste apresentam grande

⁵ SANTAMOURIS, Matheos. **Energy and climate in the urban built environment**. London: James & James, 2001.

estresse térmico, (3) o uso de galerias, dispositivos de sombreamento e vegetação reduzem o tempo e a abrangência do estresse térmico.

- utilização de vegetação

A vegetação urbana ajuda a melhorar o clima urbano e a ventilação natural, serve como barreira ao vento, produz sombra, absorve a radiação e auxilia na diminuição da temperatura do ar e no aumento da umidade do ar (OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; GIVONI, 1998). As áreas verdes funcionam como elementos atenuantes no controle da temperatura. Danni (1987) constatou a formação de ilhas frias no centro da cidade de Porto Alegre em função do Parque Farroupilha. Segundo Givoni (1991), as áreas verdes exercem grande influência na qualidade do meio ambiente urbano, afetando o desempenho térmico das edificações, bem como o conforto térmico tanto dentro quanto fora das mesmas (Figura 5). Além de aumentar a qualidade de vida na cidade, as áreas verdes também exercem outras funções urbanas, como a social e a psicológica. As áreas verdes urbanas funcionam como moderadoras do clima, ou seja, fornecem sombra, ajudam na evapotranspiração e no controle do vento, por exemplo.

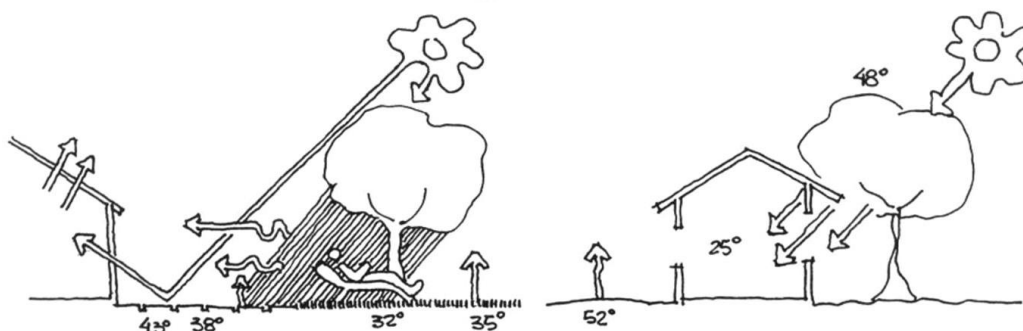


Figura 5 – Efeito da vegetação no microclima
Fonte: Konya (1981, citado por SANTANA, 1997, p.63)

Bueno-Bartholomei, Labaki e Vianna (2001) analisaram a atenuação da radiação solar por cinco espécies arbóreas e concluíram que sua variação pode ser de aproximadamente 75% a 90%, dependendo das características específicas de cada espécie. Abreu e Labaki (2007) verificaram o raio de influência de doze espécies arbóreas e observaram que na situação sombreada os valores de temperatura do ar e radiação solar foram mais baixos que na situação ao sol.

- utilização de mobiliário urbano

Ananian, Fontes e Silva (2005) avaliaram o desempenho de uma cobertura de fibra de vidro em uma rua de pedestres em Bauru/SP. O estudo mostrou que sob a cobertura a temperatura radiante média foi mais baixa e os níveis de conforto, um pouco melhores do que fora da área coberta. Franco et al. (2009) estudaram a influência de um chafariz no microclima da cidade de Cuiabá-MT, concluindo que quando o chafariz estava ligado houve variação da umidade relativa, contribuindo com o conforto térmico na cidade.

- projetos arquitetônicos climaticamente projetados: redução da necessidade de refrigeração ou aquecimento
- controle do albedo: pela escolha de materiais construtivos e cores das edificações. Cores e materiais menos reflexivos diminuem a radiação solar refletida pelas superfícies

As estratégias acima descritas têm como objetivo melhorar o ambiente urbano no que diz respeito ao conforto térmico. Entretanto, salienta-se que cada localidade tem suas particularidades e que estas devem ser analisadas para que as estratégias adotadas sejam efetivas para a melhoria do microclima e do conforto térmico local. O conforto térmico também varia de acordo com o clima local e a população residente, sendo sua avaliação subjetiva e relacionada com fatores fisiológicos e psicológicos de cada indivíduo. A seguir estão apresentados os fatores que interferem no conforto térmico em espaços abertos.

2.3 CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS

O conforto térmico é definido pela ASHRAE (2005) como sendo o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico. Sua avaliação é subjetiva e pessoal, relacionada com fatores fisiológicos e psicológicos, assim, as condições ambientes requeridas para o conforto térmico não são as mesmas para todos.

O conforto térmico é obtido por meio de trocas térmicas regidas por leis físicas, pelos mecanismos de adaptação fisiológica e por fatores ambientais, individuais e subjetivos. As variáveis ambientais envolvidas no conforto térmico são: temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura radiante média, e

as variáveis individuais são: taxa metabólica e isolamento térmico. A avaliação e a percepção do ambiente térmico são os fatores subjetivos. Nas seções a seguir estão apresentados o processo de termorregulação do corpo e os fatores envolvidos no conforto térmico.

2.3.1 Termorregulação do Corpo Humano

O homem é um ser homeotérmico, com temperatura corporal interna de aproximadamente 37°C, sendo a variação de temperatura ao longo do dia pequena, inferior a 1°C. Somente em condições extremas de calor ou de frio, durante atividade física intensa ou devido a problemas de saúde, a temperatura corporal sofre grande variação, além de sua faixa normal de 36,1°C a 37,8°C (WILMORE, 2001). Para manter a temperatura corporal constante, o corpo humano produz calor e o troca com o ambiente. Esta troca é regida por leis físicas, pelos mecanismos de adaptação fisiológica e por fatores ambientais e individuais.

A termorregulação é o esforço que o organismo faz para manter sua temperatura interna constante, ajustando a temperatura corporal à do ambiente. Assim, em um ambiente quente, o organismo inicia o processo de vasodilatação, permitindo que mais sangue percorra os vasos superficiais, aumentando a temperatura da pele e proporcionando mais dissipação do calor por convecção e radiação. Em situações extremas, quando a vasodilatação não é suficiente, o organismo inicia a produção de suor para que o corpo perca calor por evaporação.

Da mesma forma, em um ambiente frio, o organismo tenta entrar em equilíbrio térmico por meio da vasoconstrição, reduzindo a passagem de sangue nos vasos superficiais, direcionando a circulação sanguínea para o cérebro e órgãos vitais, baixando a temperatura da pele e reduzindo a troca de calor com o ambiente. Em situações extremas, quando a vasoconstrição não é suficiente, o organismo inicia uma série de movimentos musculares involuntários (tremor), aumentando o metabolismo muscular e a produção de calor interno.

Entretanto, a temperatura interna não é igualmente distribuída no corpo. No cérebro, no coração e nos órgãos vitais, a temperatura de núcleo é de aproximadamente 37°C em repouso, podendo aumentar em duas situações: febre e

atividades físicas (alteração metabólica), chegando a 39,5°C. A temperatura nos membros, músculos e pele sofre variação em função da necessidade de troca térmica com o ambiente. Em relação às trocas térmicas, o corpo pode ser considerado das seguintes formas: um compartimento térmico, que leva em conta as trocas entre o corpo como um todo e o ambiente térmico (FANGER, 1982); dois compartimentos térmicos, o núcleo (*core*) e a pele (GAGGE, FOBELETS, BERGLUND, 1986; HÖPPE, 1999) e múltiplos compartimentos, o núcleo (*core*), a pele, os músculos e a gordura (FIALA et al., 1999; 2001; 2003; 2007; 2011). Nesta pesquisa será testado um índice de cada um destes modelos, isto é, o índice PMV (modelo de um nó), o índice PET (modelo de dois nós) e o índice UTCI (modelo de múltiplos nós).

O equilíbrio térmico ocorre quando a quantidade de calor produzida pelo corpo é igual à liberada para o ambiente por meio da pele e da respiração. Assim, a taxa de calor produzido é igual à taxa de calor perdido. A ASHRAE (2005) propõe o seguinte modelo matemático para o balanço energético:

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S \quad (1)$$

sendo:

$$q_{sk} = C + R + E_{sk} \quad (2)$$

$$q_{res} = C_{res} + E_{res} \quad (3)$$

$$S = S_{sk} + S_{cr} \quad (4)$$

onde:

M = Taxa de metabolismo (W/m²)

W = Taxa de trabalho mecânico realizado (W/m²)

q_{sk} = Taxa total de calor perdido pela pele (W/m²)

q_{res} = Taxa total de calor perdido pela respiração (W/m²)

C + R = Perda de calor sensível pela pele, por convecção e radiação (W/m²)

E_{sk} = Taxa total de calor perdido por evaporação pela pele (W/m²)

C_{res} = Taxa de calor perdido por convecção pela respiração (W/m²)

E_{res} = Taxa de calor perdido por evaporação pela respiração (W/m²)

S_{sk} = Taxa de calor armazenado na pele (W/m²)

S_{cr} = Taxa de calor armazenado no núcleo (W/m²)

Se o valor de S for positivo haverá aquecimento do corpo, se for negativo, ocorrerá resfriamento, e se S for igual a zero, o corpo estará em equilíbrio térmico. O

valor de W é normalmente considerado zero, pois para a maioria das atividades o seu valor é nulo (RUAS, 2001).

As unidades das variáveis da equação de balanço térmico são de energia por área, que se refere à área da superfície do corpo nu. Esta área pode ser calculada pela fórmula de DuBois⁶ (1916, citado por ASHRAE, 2005):

$$A_D = 0,202 \times m^{0,425} \times h^{0,725} \quad (5)$$

onde:

A_D = Área da superfície do corpo, DuBois (m²)

m = massa corporal (kg)

h = altura do corpo (m)

A ISO 8996 (2004) estima como área da superfície do corpo masculino o valor de 1,8m² e para o corpo feminino 1,6m². Estes valores derivam da média individual masculina e feminina, ou seja, o homem médio tem 30 anos, pesa 70kg e mede 1,75m de altura e a mulher média tem 30 anos, pesa 60kg e mede 1,70m de altura.

Em um corpo vestido, a área superficial aumenta em função de cada vestimenta. Assim, deve-se aplicar um fator de correção às trocas térmicas, para que sejam consideradas as áreas superficiais de cada vestimenta.

$$f_{cl} = A_{cl} / A_D \quad (6)$$

onde:

f_{cl} = Fator de área da vestimenta

A_{cl} = Área da vestimenta (m²)

A_D = Área da superfície do corpo, DuBois (m²)

Os valores de f_{cl} podem ser encontrados na norma ISO 9920 (2007).

O corpo perde calor para o ambiente por meio de mecanismos de trocas térmicas. A perda de calor sensível ocorre através de trocas secas: condução, convecção e radiação, e a perda de calor latente ocorre através de trocas úmidas: evaporação (FROTA E SCHIFFER, 1995).

⁶ DUBOIS, D.; DUBOIS, E. F. A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known. In: Archives of Internal Medicine. v.17, p.863-871, 1916.

Condução

A troca por condução ocorre por meio de contato. Por exemplo, a transferência do calor do corpo passa para a superfície da roupa por meio do contato desta com a pele. Da mesma forma, se um objeto quente é encostado na pele, aquele conduz calor para esta, aquecendo-a. O calor perdido por condução é pequeno se o indivíduo estiver vestido e calçado; assim, em ambientes externos, desconsidera-se a perda por condução.

Convecção

A troca por convecção ocorre pela movimentação do ar, que está em constante movimento. Quando o ar apresenta temperatura menor que a do corpo, ao passar sobre a pele, retira o ar aquecido de junto desta, por contato. Nessas condições, quando maior o movimento do ar, maior a taxa de resfriamento da pele. O ciclo da convecção termina quando o ar aquecido sobe e o ar frio ocupa o seu lugar.

Se o ar apresentar temperatura maior que a temperatura do corpo, o processo se inverte. Caso a temperatura do ar e do corpo sejam iguais, não ocorre transferência de calor por este processo.

Os processos de condução e convecção associados podem fazer com que o corpo ganhe calor em um ambiente mais quente que a temperatura da pele. Geralmente, estes dois processos fazem com que o corpo perca calor em ambientes mais frios que a temperatura da pele, porém a perda total de calor do corpo é pequena, cerca de 10% a 20% (WILMORE, 2001).

Radiação

A troca por radiação ocorre quando uma superfície quente irradia calor para uma superfície fria por meio de ondas eletromagnéticas (raios infravermelhos). Estas ondas são transformadas em calor ao atingir a superfície fria. A temperatura superficial determina quanto de energia radiante será emitida.

O corpo irradia calor para o ambiente ao seu redor. Esta troca térmica é constante; ou seja, uma pessoa está sempre emitindo ou recebendo energia radiante. Assim, quando uma superfície está mais fria que o corpo, ela ganha calor por radiação, resfriando o corpo. Da mesma forma, quando uma superfície está mais quente que o corpo, ela perde calor para o corpo, aquecendo o corpo.

A radiação é a principal forma de perda de calor em repouso. Em um ambiente com temperatura entre 21°C e 25°C, cerca de 60% do calor em excesso é perdido pelo corpo nu (WILMORE, 2001).

Evaporação

Em situações extremas, quando as trocas de calor por convecção e radiação não são suficientes, o organismo inicia a produção de suor para que o corpo perca calor por evaporação. Ou seja, ocorre a evaporação da umidade formada na pele, liberando calor para o ambiente.

Esta é a principal forma de perda de calor durante a atividade física. A evaporação é responsável por cerca de 80% da perda total de calor durante a atividade física, e cerca de 20% da perda total de calor em repouso. A perda por evaporação ocorre sempre que o líquido corporal (suor) entra em contato com o ambiente. Isto ocorre constantemente, e representa aproximadamente 10% de perda total de calor produzido pelo organismo. Entretanto, este não é um mecanismo útil quando é necessária maior perda de calor pelo corpo, mas é uma importante forma de perda de calor quando a temperatura do corpo está alta (WILMORE, 2001).

Os mecanismos de perda de calor pela pele e pela respiração estão descritos abaixo:

Perda de calor sensível pela pele

Para o corpo perder o calor sensível para o ambiente, este deve passar pela roupa. Esta transferência de calor ocorre em duas etapas sucessivas: (1) da superfície da pele, através da roupa, até a superfície externa da vestimenta e (2) da superfície externa da vestimenta para o ambiente. A perda do calor sensível ocorre por condução, convecção e radiação.

Perda de calor latente pela pele

A perda do calor latente pela pele para o ambiente ocorre em função da quantidade de umidade na pele e da diferença entre a pressão do vapor d'água na pele e no ambiente. É a combinação da evaporação do suor secretado e da difusão natural da água através da pele.

Perda de calor pela respiração

Tanto o calor sensível quanto o latente são perdidos por convecção e evaporação durante a respiração. O ar é inalado na temperatura ambiente e expirado praticamente saturado, e em uma temperatura ligeiramente mais baixa que a temperatura interna do corpo. A perda de calor é proporcional à quantidade de ar inalada e depende da atividade física (taxa metabólica).

A sensação térmica é influenciada pelas variáveis ambientais: (1) temperatura do ar (T_a); (2) umidade relativa do ar (UR); (3) velocidade do ar (V_a) e; (4) temperatura radiante média (T_{rm}), e pelas variáveis pessoais: (1) metabolismo e (2) isolamento térmico. Estas variáveis, independentes, são utilizadas para definir índices de conforto ou estresse térmico com base no balanço térmico.

2.3.2 Parâmetros do Conforto Térmico: variáveis ambientais

Temperatura do ar (T_a)

A temperatura do ar (T_a) atua na troca térmica por convecção e na respiração. A relação da troca é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto maior a diferença de temperatura, maior a troca convectiva.

Quanto à evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da umidade relativa e da velocidade do ar.

Umidade relativa (UR)

A umidade relativa do ar (UR), numa determinada temperatura, é a razão entre a quantidade de vapor d'água existente em determinado volume de ar e a quantidade máxima de vapor d'água que o mesmo volume de ar pode conter, quando está saturado àquela temperatura.

A umidade relativa está diretamente ligada à temperatura do ar. Em ambientes mais quentes, a quantidade máxima de vapor d'água em determinado volume de ar é maior que em ambientes mais frios. Assim, quando se aumenta a temperatura em um ambiente, a umidade relativa do ar baixa, e vice-versa.

A umidade relativa do ar tem grande influência na remoção de calor por evaporação. Em ambientes mais secos, a umidade da pele é absorvida mais facilmente pelo ar. Em ambientes mais úmidos, a relação é contrária.

Velocidade do ar (V_a)

A velocidade do ar (V_a) atua em conjunto com a temperatura e a umidade relativa do ar. Desta forma, em condições de ar não saturado e com temperatura do ar inferior à temperatura da pele, quanto maior a velocidade do vento, mais rápido é o processo da evaporação, ou seja, mais rápido a umidade é retirada da pele. Assim, em grande parte, a remoção do vapor d'água depende da velocidade do vento.

Temperatura radiante média (T_{rm})

A temperatura radiante média (T_{rm}) é a temperatura média das superfícies de um ambiente que participam das trocas térmicas com o corpo. A T_{rm} pode ser maior ou menor que a temperatura do ar, pois as superfícies podem apresentar diferentes temperaturas. A troca térmica da T_{rm} ocorre por radiação. A norma ISO 7726 (1998) apresenta métodos de obtenção da T_{rm} , por meio de medições ou cálculo. Uma das formas apresentadas é a medição por termômetro de globo negro. Entretanto, para medições expostas à radiação solar, a referida norma recomenda a utilização de termômetro de globo na cor cinza médio, devido à sua absorção de radiação de onda curta ser semelhante à das pessoas vestidas.

O termômetro de globo consiste em uma esfera oca pintada de preto, no centro da qual é colocado um sensor de temperatura. O tamanho do globo pode variar, porém é recomendado o diâmetro de 0,15m. Na ISO 7726 (1998) são apresentadas cinco fórmulas para calcular a T_{rm} . Todas consideram como variáveis a temperatura do ar (T_a), a temperatura de globo (T_g), o diâmetro do globo (D) e a emissividade do material (ϵ_g). No caso de ventilação forçada, a velocidade do ar (V_a) também é considerada, conforme a equação a seguir.

$$T_{rm} = \{(T_g + 273)^4 + [(1,1 \times 10^8 \times V_a^{0,6}) / (g \times D^{0,4})] \times (T_g - T_a)\}^{1/4} - 273 \quad (7)$$

2.3.3 Parâmetros do Conforto Térmico: variáveis pessoais

Metabolismo (M)

A taxa metabólica depende do ambiente externo, da alimentação, da idade, do peso, da altura e do nível de atividade física. O metabolismo é o conjunto de reações químicas necessárias para o organismo gastar energia. A quantidade de energia ou calor que o organismo, em repouso, necessita para manter funcionando todos os órgãos vitais, tais como a regulação da temperatura corporal, dos batimentos cardíacos e da pressão arterial, é chamada metabolismo basal. Cada organismo possui um nível metabólico único.

Entende-se por taxa metabólica a quantidade de calor que o organismo precisa trocar com o ambiente para se manter em equilíbrio térmico. Parte da energia produzida pelo corpo ocorre pela ingestão de alimentos, e a quantidade de calor produzida está ligada à quantidade ingerida e ao tipo de alimento ingerido (proteína, carboidrato ou gordura).

A produção metabólica individual sofre variação em função das dimensões, da composição e da temperatura do corpo. Em relação às dimensões, quanto maior a área superficial da pele, maior a taxa metabólica. Em relação à composição corporal, quanto maior a quantidade de gordura corporal, maior a conservação do calor corporal e conseqüentemente, menor a produção metabólica. Da mesma forma, a taxa metabólica está relacionada com a quantidade de massa magra (massa muscular), quanto maior a quantidade de massa magra, maior a taxa metabólica. Assim, como mulheres apresentam menor quantidade de massa magra na sua composição corporal, em comparação ao homem, sua taxa metabólica é menor. Em relação à temperatura corporal, quanto mais elevada a temperatura do corpo, maior a taxa metabólica (WILMORE, 2001).

Outro parâmetro que influencia a produção metabólica é a faixa etária, pois, com o aumento da idade, diminui a quantidade de massa magra no corpo, o que diminui o metabolismo com o passar dos anos (WILMORE, 2001).

Parte da energia metabólica é gasta com o trabalho muscular. Assim, a razão entre o trabalho mecânico (W) e a taxa metabólica (M), define a eficiência mecânica (η). A eficiência mecânica é normalmente considerada nula, pois seu valor é baixo, mesmo em atividades mais pesadas. Então, a energia consumida no

trabalho mecânico é considerada igual ao calor produzido. A Tabela 1 mostra os valores de eficiência mecânica, taxa metabólica e atividade física.

Tabela 1 – Metabolismo para diferentes atividades

Atividade	Velocidade (km/h)	Taxa Metabólica (W/m ²)	Met	Eficiência Mecânica (η)	
Dormindo	0	40	0,7	0	
Reclinado	0	45	0,8	0	
Sentado	0	55	0,9	0	
Em pé, relaxado	0	70	1,2	0	
Caminhando					
Superfície plana sem carga	2	110	1,9	0	
	3	140	2,4	0	
	4	165	2,8	0	
	5	200	3,4	0	
Superfície plana com carga					
	10 kg	4	185	3,2	-
	30 kg	4	250	4,3	-
Aclive sem carga					
	5° de inclinação	4	180	3,1	0,11
	15° de inclinação	3	210	3,6	0,19
	25° de inclinação	3	300	5,2	0,21
Aclive com carga (20 kg)					
	15° de inclinação	4	270	4,6	-
	25° de inclinação	4	410	7,1	-
Declive sem carga					
	5° de inclinação	5	135	2,3	-
	15° de inclinação	5	140	2,4	-
	25° de inclinação	5	180	3,1	-
Atividades sedentárias					
	(escritório, escola, laboratório)		70	1,2	0

Fonte: Adaptado de ISO 8996 (2004); FANGER (1982)

Segundo Froehle (2008), os métodos para cálculo do metabolismo basal não levam em consideração o clima. Entretanto, fatores climáticos podem influenciar na taxa metabólica, com populações de países quentes tendendo a ter níveis mais baixos de metabolismo basal do que os moradores de climas mais frios. O autor desenvolveu uma fórmula para o cálculo do metabolismo basal em função do peso, gênero, idade e temperatura do ar, mostrando que a temperatura média anual tem significativo efeito no metabolismo basal.

Isolamento térmico

A vestimenta é um importante fator de conforto térmico, à medida que fornece isolamento térmico ao corpo e, em consequência, impõe resistência à troca de calor com o ambiente, interferindo nas perdas de calor sensível e latente. A norma ISO 9920 (2007) apresenta métodos para estimar as características térmicas das vestimentas e mostra a influência do movimento corporal e da penetração de ar no isolamento térmico e na resistência evaporativa.

A resistência térmica da roupa (I_{cl}) é expressa em clo, sendo que 1 clo equivale a $0,155\text{m}^2\text{C/W}$. O fator de área da roupa (f_{cl}) influencia a resistência térmica, pois o corpo vestido tem maior área que o corpo nu (a equação 6, apresentada na seção 2.3.1, é utilizada para a obtenção do f_{cl}). A norma ISO 9920 (2007) apresenta diversos valores de f_{cl} e I_{cl} para conjuntos de vestimentas e valores de I_{cl} para peças individuais. O Quadro 1 mostra o valor de I_{cl} para algumas peças de roupa.

Roupas Íntimas	I_{cl}	Camisas e blusas	I_{cl}	Casacos e suéteres	I_{cl}
calcinha	0,03	camiseta manga curta	0,09	colete fino	0,13
sutien	0,01	camiseta manga longa	0,16	colete grosso	0,22
cueca	0,04	camisa manga curta	0,25	suéter fino	0,23
camiseta manga curta	0,09	camisa manga longa	0,28	suéter grosso	0,29
camiseta manga longa	0,16	Regata	0,06	jaqueta leve curta	0,21
combinação	0,16	top	0,06	jaqueta leve longa	0,34
ceroulas	0,15	blusa 3/4	0,27	jaqueta grossa curta/blazer	0,35
Meias		Calças		jaqueta grossa longa	0,42
meia fina / meia calça	0,02	calça fina	0,15	paletó	0,44
meia grossa	0,03	calça grossa / calça jeans	0,24	moletom	0,36
meião fino	0,03	bermuda	0,11	Vestidos e saias	
meião grosso	0,06	shorts	0,08	saia longa	0,23
Calçados		macacão sem mangas	0,24	saia até a barriga da perna	0,10
sandálias / chinelo	0,02	macacão manga longa	0,49	saia até o joelho	0,14
botas	0,1	Acessórios		vestido manga curta	0,29
tênis / sapato	0,02	luva	0,08	vestido manga longa	0,32
		gorro / boné	0,01	vestido sem manga	0,23

Quadro 1 - Valores de clo para diferentes peças de roupas
Fonte: Adaptado de ISO 9920 (2007)

O valor do fator de área da roupa (f_{cl}) de um conjunto de vestimentas é obtido somando os valores de f_{cl} de cada peça. Para obter o valor do f_{cl} , em clo, de cada peça de roupa utiliza-se a seguinte equação:

$$f_{cl} = 1,00 + (0,28 \times I_{cl}) \quad (8)$$

A avaliação e percepção do ambiente térmico são resultados das variáveis ambientais e individuais apresentadas anteriormente. Entretanto, trata-se de uma análise subjetiva. Cada indivíduo avalia o ambiente de acordo com aspectos psicológicos, sociais e culturais. Segundo Knez e Thorsson (2006) diferentes regiões geográficas e climáticas podem ser definidas como diferentes culturas. Eisler et al. (2003) afirmam que o padrão de percepção e avaliação, dentre outros, são aprendidos e compartilhados pelos indivíduos de uma mesma cultura. O fator adaptação também tem importante papel na avaliação do ambiente térmico, podendo ser definido como a diminuição gradual da resposta do organismo à exposição repetida a um estímulo, envolvendo todas as ações que o torna mais adequado para sobreviver em tal ambiente (NIKOLOPOULOU, 2004a).

Desta forma, ao analisar um ambiente térmico e a resposta dos usuários, é necessário levantar dados climáticos, individuais e subjetivos da população estudada. A norma ISO 10551 (1995) apresenta princípios para obtenção das respostas subjetivas em relação à percepção, avaliação e preferência térmica, aceitação pessoal e tolerância. A obtenção destes parâmetros é realizada por meio de escalas de julgamento baseadas no estado térmico do corpo. A referida norma divide estas escalas em dois grupos: (1) escalas de julgamento de percepção, avaliação e preferência e (2) escalas de aceitação pessoal e tolerância. A seguir estão apresentadas as variáveis subjetivas do conforto térmico.

2.3.4 Parâmetros do Conforto Térmico: variáveis subjetivas

Escalas de julgamento de percepção, avaliação e preferência

De acordo com a ISSO 10551 (1995), estas três escalas devem ser aplicadas na seguinte ordem: escala de percepção, escala de avaliação e escala de preferência. Estas escalas podem apresentar nove ou sete graus de intensidade, sendo que em ambientes térmicos relativamente neutros ou com temperaturas ligeiramente frias ou quentes, utiliza-se a escala de sete graus e, para ambientes com temperaturas mais extremas utiliza-se a escala de nove graus.

- Escala de percepção térmica

A escala de percepção é simétrica e tem dois polos (frio e calor), com 3 ou 4 graus de intensidades diferentes para cada polo e um ponto central neutro. Esta escala define como uma pessoa percebe ou sente o ambiente térmico em um dado momento. Assim a pergunta feita às pessoas é: Neste exato momento, você está sentindo...?

O Quadro 2 apresenta a escala de percepção de sete graus.

Graus de intensidade			Ponto neutro	Graus de intensidade		
muito frio	frio	um pouco de frio	neutralidade	um pouco de calor	calor	muito calor
-3	-2	-1	0	1	2	3

Quadro 2 – Escala de percepção térmica de sete graus

Fonte: ISO 10551 (1995), traduzido pela autora

- Escala de avaliação térmica

A escala de avaliação tem um polo com quatro graus de intensidade e um ponto de origem. Esta escala permite avaliar a carga térmica em termos positivo (confortável) e negativo (desconfortável). A pergunta para esta escala é: Neste exato momento, como você está?

O Quadro 3 mostra a escala de avaliação de quatro graus de intensidade.

Ponto de origem	Graus de intensidade		
Confortável	Um pouco desconfortável	Desconfortável	Muito desconfortável
0	1	2	3

Quadro 3 – Escala de avaliação térmica de quatro graus

Fonte: ISO 10551 (1995), traduzido pela autora

- Escala de preferência térmica

Semelhante à escala de percepção, a escala de preferência é uma escala simétrica de dois polos (frio e calor), com 3 ou 4 graus de intensidades diferentes para cada polo, e um ponto central. A pergunta para esta escala é: Neste exato momento, o que você preferiria estar sentindo?

O Quadro 4 mostra a escala de preferência de sete graus de intensidade.

Graus de intensidade			Ponto neutro	Graus de intensidade		
muito mais frio	mais frio	um pouco mais de frio	sem mudança	um pouco mais de calor	mais calor	muito mais calor
-3	-2	-1	0	1	2	3

Quadro 4 – Escala de preferência térmica de sete graus

Fonte: ISO 10551 (1995), traduzido pela autora

Escalas de aceitação pessoal e tolerância

Estas duas escalas indicam como as pessoas julgam uma determinada condição climática (clima local) e são complementares às três escalas apresentadas anteriormente. Elas devem ser aplicadas após as três outras escalas, e na seguinte ordem: escala de aceitação e escala de tolerância. Estas escalas têm como base as preferências pessoais.

- Escala de aceitação pessoal

A escala de aceitação pessoal define se uma pessoa aceita ou rejeita dado ambiente térmico, com base em suas preferências térmicas. Desta forma, a estrutura da escala é binária. E a pergunta para esta escala é: Levando em conta suas preferências pessoais, você aceita as condições climáticas neste momento?

O Quadro 5 mostra a escala de aceitação pessoal.

aceitação pessoal	rejeição pessoal
sim	não
0	1

Quadro 5 – Escala de aceitação pessoal
Fonte: ISO 10551 (1995), traduzido pela autora

- Escala de tolerância

A escala de tolerância tem um polo de cinco graus de intensidade e um ponto de origem que indica tolerância às condições climática. A frase a ser completada para esta escala é: Neste exato momento, com relação às condições climáticas, estar neste local é...?

O Quadro 6 mostra a escala de tolerância de quatro graus de intensidade.

Ponto de origem	Graus de intensidade			
perfeitamente tolerável	fácil de tolerar	difícil de tolerar	muito difícil de tolerar	intolerável
0	1	2	3	4

Quadro 6 – Escala de tolerância pessoal
Fonte: Adaptado de ISO 10551 (1995)

Os índices térmicos são fórmulas que combinam os efeitos das variáveis climáticas sob as respostas fisiológicas e sensoriais do corpo. Vários índices foram desenvolvidos com este fim, porém os índices diferem em sua abordagem do problema nas unidades utilizadas para expressar o efeito combinado de vários fatores, na sua aplicação, e na importância e na interdependência de cada um dos

fatores (GIVONI, 1976). A seguir estão apresentados um breve histórico sobre índices de conforto térmico, e a revisão de estudos nacionais sobre conforto térmico em espaços abertos.

2.3.5 Índices de Conforto Térmico

A preocupação com o conforto térmico é antiga. As civilizações grega e romana já se preocupavam com a questão da salubridade, e isto se refletia tanto na organização espacial da cidade como nas edificações. No tratado urbanístico de Vitruvius (*De Architectura*) estas preocupações são delineadas e um conjunto de regras é definido para tratá-las. Bernan (1845) apresenta a influência do clima no conforto térmico e analisa alguns fatores que influenciam na sensação térmica, tais como: temperatura de globo e vestimenta. Além disso, apresenta uma série de exemplos de adaptações das edificações em diversas localidades e aponta para o uso da climatização artificial como contribuição para o desenvolvimento da humanidade, para a preservação da saúde e longevidade do ser humano.

Segundo Ruas (1999), no período de 1913 a 1923 foram estabelecidos os primeiros esforços com o intuito de estabelecer critérios de conforto térmico. A partir deste período, os primeiros estudos são publicados e apresentam parâmetros e índices de conforto térmico baseados no modelo de balanço térmico, conforme apresentado por Monteiro (2008).

Houghten e Yaglou⁷ (1923, citado por GIVONI, 1976; SZOKOLAY, 1985; MONTEIRO, 2008) propõe o índice empírico de temperatura efetiva (ET – *Effective Temperature*) com base em três parâmetros ambientais: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. Foram desenvolvidas duas escalas, uma para pessoas seminuas e outra para pessoas vestidas com roupas de verão. As faixas para cada variável são: temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, de 1 a 43°C; e velocidade do ar, de 0,1 a 3,5 m/s.

⁷ HOUGHTEN, F. C.; YAGLOU, C. P. Determining lines of equal comfort. In: **ASHVE Transaction**, St. Joseph, v.29, n.4, p.163-176, 1923.

Gagge et al.⁸ (1971, citado por PARSONS, 1987; ASHRAE, 2005) definiram a nova temperatura efetiva (ET* - *New Effective Temperature*) como sendo a temperatura em um ambiente com umidade relativa a 50%, que resulta em mesma perda de calor total pela pele que em um ambiente real.

A temperatura resultante (RT – *Resultant Temperature*) foi desenvolvida por Missenard (1948, citado por GIVONI, 1976; SZOKOLAY, 1985; MONTEIRO, 2008) com base na ET, e as faixas para cada variável são: temperatura de bulbo seco, de 20 a 45°C, temperatura de bulbo úmido, de 18 a 40°C, e velocidade do ar, de 0 a mais de 3 m/s. Segundo Szokolay (1985), o índice é mais confiável para climas moderados, mas não para climas tropicais, uma vez que superestima o efeito de resfriamento pelo ar em temperaturas acima de 35°C e umidade maiores que 80%.

Belding e Hatch⁹ (1955, citado por SZOKOLAY, 1985; ASHRAE, 2005; MONTEIRO, 2008) propõem o índice de estresse térmico por calor (HSI – *Heat Stress Index*). Definido como a razão da perda total de calor por evaporação requerido para o equilíbrio térmico pela perda total de calor por evaporação máxima possível no ambiente.

Yaglou e Minard¹⁰ (1957, citado por ASHRAE, 2005; MONTEIRO, 2008) desenvolvem a temperatura de globo e de bulbo úmido (WBGT – *Wet Bulb Globe Temperature*). Este índice considera três parâmetros ambientais: (1) a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), (2) a temperatura de bulbo úmido natural (ambiente naturalmente ventilado) e (3) a temperatura de globo.

Olgyay¹¹ (1976, citado por GIVONI, 1998) desenvolveu a primeira carta bioclimática apropriada ao ambiente externo e com ênfase em climas temperados. A carta apresenta valores de umidade relativa e de temperatura do ar, sobre os quais é plotada a zona de conforto. Olgyay (1968, citado por ANDRADE, 1996) desenvolveu um estudo para a Colômbia com o objetivo de adaptar sua carta para regiões mais quentes. Com base na temperatura média de verão, foi estabelecida uma zona de conforto para a região. Assim, esta nova carta passou a incorporar dados que possibilitaram sua utilização em climas temperado, quente e úmido.

⁸ GAGGE, A. P.; BURTON, A. C.; BAZETT, H. D. A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment. In: **Science**, n.94, p.428-430, 1971.

⁹ BELDING, H. S.; HATCH, T. F. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. In: Heating, Piping and Air Conditioning, p.207-239, 1955.

¹⁰ YAGLOU, C. P., MINARD, C. Control of heat casualties at military training centers. A.M.A. Archives of Industrial Health, 16, p.302-316, 1957.

¹¹ OLGAY, Victor. **Design with climate**. New Jersey: Princeton University Press, 1976.

Koenigsberger et al. (1977, citado por ANDRADE, 1996) adaptaram a carta de Olgay para países quentes, estabelecendo novos limites para a zona de conforto.

Givoni (1976) propõe o índice de estresse térmico (ITS – *Index of Thermal Stress*). O ITS é um modelo biofísico que descreve o mecanismo de troca de calor entre o corpo e o ambiente. A primeira versão do índice foi desenvolvida para ambientes internos e era composta pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, pressão de vapor, velocidade do ar, taxa metabólica e vestimenta. Mais tarde, ela foi estendida para ambientes externos, e a radiação solar foi incluída entre as variáveis. Givoni (1998) desenvolveu uma carta climática baseada na carta psicrométrica convencional e nas zonas de conforto da ASHRAE. Nesta carta estão plotadas as zonas de conforto e as estratégias bioclimáticas compatíveis com cada zona. Foram desenvolvidas duas cartas, uma para países desenvolvidos e outra para países em desenvolvimento.

Recentemente, dois índices foram desenvolvidos em países europeus, o índice universal de conforto térmico (UTCI - *Universal Thermal Climate Index*) e o voto de sensação real (ASV - *Actual Sensation Vote*).

A Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB - *International Society of Biometeorology*) criou em 2000 uma comissão (ISB Commission 6) para desenvolver um índice universal de conforto térmico, denominado UTCI (*Universal Thermal Climate Index*). O objetivo principal do índice é avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano. A comissão definiu que o índice fosse termofisiologicamente válido, aplicável a todos os tipos de clima e independente das características pessoais dos indivíduos. (INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY, 2001, 2003).

Um dos mais recentes índices desenvolvidos em países europeus é resultado do projeto RUROS (NIKOLOPOULOU, 2004b). O projeto RUROS (*Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces*), desenvolvido no período entre 2001 e 2004, teve como objetivo a análise dos espaços urbanos abertos em função dos princípios bioclimáticos. Este projeto foi desenvolvido em sete cidades de cinco países europeus: Atenas e Thessaloniki, na Grécia; Milão, na Itália; Freiburg, na Suíça; Cambridge e Sheffield, na Inglaterra e Kassel, na Alemanha. Em cada uma destas cidades foram selecionadas duas áreas de estudo com diferentes tipologias e usos. Foi desenvolvida uma metodologia padrão para ser aplicada em cada cidade e, no total, foram coletados mais de 10.000 dados (ambientais e pessoais). Para

cada cidade foi obtido um índice de conforto térmico obtido por regressão múltipla, para a predição do Voto de Sensação Real (ASV – *Actual Sensation Vote*). Além disso, foi obtido um índice europeu.

No Brasil os estudos utilizando índices de conforto térmico em espaços abertos se iniciaram na década de 1930, com o objetivo de adaptar índices internacionais às condições brasileiras (OLIVEIRA, 2003). A seguir estão apresentados os estudos de conforto térmico em espaços abertos desenvolvidos no Brasil.

2.3.6 Estudos Nacionais sobre Conforto Térmico

De modo geral, os trabalhos de conforto térmico são destinados a avaliar espaços internos. O principal objetivo destes estudos é a tentativa de controle das variáveis envolvidas no conforto térmico, de modo que estes espaços sejam ou se tornem confortáveis termicamente. Em ambientes externos a complexidade aumenta devido à menor possibilidade de controle das variáveis climáticas e à grande modificação destas ao longo do dia. Fatores como os ganhos de radiação de ondas curta e longa, a atuação do vento e a diversidade de sensações e percepções térmicas dos indivíduos são algumas das variáveis que tornam o estudo de conforto em espaços abertos complexo.

Da mesma forma, muitos dos índices de conforto existentes são para a determinação de conforto térmico em espaços internos, com condições térmicas controladas. Monteiro (2008) apresenta 21 índices desenvolvidos em diversos países, porém nenhum criado no Brasil. Por meio de estudo experimental e comparativo, foi realizada a calibração dos modelos apresentados e proposto um novo modelo preditivo. O objetivo principal desta pesquisa foi o desenvolvimento de um índice específico para a cidade de São Paulo.

No Brasil, segundo Oliveira (2003), durante a década de 1930, Sá e Ribeiro desenvolveram pesquisas na área do conforto térmico com o objetivo de criar uma zona de conforto para brasileiros e um índice térmico específico para as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, respectivamente. Os métodos existentes naquela época foram desenvolvidos fora do país, o que gerou preocupação quanto à sua utilização

no Brasil. Os índices utilizados na época eram a Temperatura Efetiva, desenvolvido por Houghten e Yaglou; e a Temperatura Equivalente e a Temperatura Resultante, desenvolvidas por Missenard.

Sá (1934, citado por OLIVEIRA, 2003) realizou sua pesquisa na cidade do Rio de Janeiro, com o monitoramento das variáveis climáticas e a aplicação de questionários individuais para a obtenção da sensação térmica em uma escala de sete pontos¹². Existem semelhanças entre os métodos propostos por Fanger e por Sá, visto que os dois levam em consideração variáveis ambientais e pessoais, como vestimenta e atividade física, e o processo fisiológico humano de perda de calor. Da mesma forma, ambos realizaram suas pesquisas em ambientes escolares.

Ribeiro (1939, citado por OLIVEIRA, 2003) realiza sua pesquisa na cidade de São Paulo, utilizando o método proposto por Sá. Os resultados das respostas de sensação térmica desta pesquisa foram diferentes dos resultados encontrados para a cidade do Rio de Janeiro, reforçando a ideia original dos autores da necessidade de criação de zonas climáticas e índices térmicos específicos para as cidades brasileiras.

De modo geral, as pesquisas que envolvem índices de conforto térmico no Brasil referem-se a ambientes internos. Dentre as pesquisas de mestrado e doutorado com o tema conforto térmico em espaços internos estão: Roriz (1987), Scarazzato (1988), Viana (1991), Vieira (1995), Martins (1995), Araújo (1996), Roriz (1996), Sampaio (1996), Xavier (1999), Xavier (2000), Michaloski (2001), Adriazola (2002), Dumke (2002), Fernandes (2005), Barbosa (2008), Felix (2008), Stancato (2009) e Fontanella (2009).

Na área de conforto térmico em espaços abertos e microclima urbano foram identificadas as seguintes pesquisas de mestrado e doutorado: Lombardo (1984), Romero (1985), Oliveira (1985), Assis (1990), Dines (1991), Hackenberg (1992), Nascimento (1993), Vieira (1994), Duarte (1995), Souza (1996), Fontes (1998), Barbirato (1998), Assis (2000), Duarte (2000), Costa (2003), Blanchet (2004), Rossi (2004), Lima (2005), Pertschi (2005), Giralt (2006), Dumke (2007), Monteiro (2008), Minella (2009), Hirashima (2010) Nakata (2010) e Souza (2010).

As pesquisas de conforto térmico no Brasil, nos últimos 20 anos, têm sido divulgadas no principal evento da área, o ENCAC (Encontro Nacional de Conforto no

¹² nota-se que esta escala não era usual na época, sendo que a desenvolvida por Fanger e posteriormente utilizada pela AHRAE e pela ISO entrou em uso em 1967.

Ambiente Construído). A primeira edição deste evento foi realizada em Gramado/RS em 1990. A partir de então, o evento ocorre a cada dois anos, sendo que a última edição ocorreu em setembro de 2009, em Natal/RN. Uma avaliação dos trabalhos publicados em todas as edições deste evento mostra que, desde a primeira edição, o tema conforto térmico está presente tanto no espaço interno quanto no aberto, mas, somente a partir de 1997, o tema clima urbano foi classificado como uma área temática. Nesta nova divisão, os trabalhos relativos ao conforto térmico em ambientes abertos podem ser encontrados nos dois eixos temáticos: microclima e morfologia urbana e microclima e conforto térmico em espaços abertos..

Os estudos sobre microclima e morfologia urbana analisam a relação entre o grau de urbanização e a alteração climática nas cidades utilizando métodos quantitativos, como o monitoramento de variáveis climáticas e o levantamento de atributos urbanos (densidade de ocupação do solo, altura das edificações, presença de vegetação, geometria urbana, dentre outros), métodos qualitativos, como a análise bioclimática (OLIVEIRA, 1988; ROMERO, 1988; KATZSCHNER, 1997) e métodos computacionais, como simulações e técnicas de cenários. No levantamento realizado nos anais dos encontros ENCAC (de 1990 a 2011), no tema microclima e morfologia urbana foram identificadas pesquisas sobre ilhas de calor, análises bioclimáticas, zoneamentos climáticos, simulações, avaliação pós-ocupação, efeito da vegetação e proposições de novas metodologias.

As pesquisas sobre microclima e conforto térmico em espaços abertos analisam a percepção dos usuários destes espaços em relação ao ambiente térmico ao seu redor, fazendo uso de índices existentes e/ou por meio das respostas reais dos usuários. O método utilizado nessas pesquisas é quantitativo, empregando diferentes ferramentas de coleta de dados. No levantamento realizado, foram identificadas pesquisas sobre conforto térmico em espaços de permanência (parques e praças) e em espaços de passagem (vias públicas). As análises de conforto foram feitas utilizando as respostas reais dos usuários (obtidas por questionários), as respostas calculadas por meio de índices existentes, ou a comparação das respostas reais com as calculadas. Também foram analisados o impacto da geometria urbana e da vegetação na sensação de conforto, e propostas novas metodologias.

O Quadro 7 apresenta o resumo das pesquisas publicadas nos anais do ENCAC. A maioria dos estudos sobre conforto térmico se concentra nas regiões

sudeste e nordeste do Brasil, sendo que o maior número de pesquisas é sobre a relação entre microclima e morfologia urbana. Todas as pesquisas realizadas na região Sul na área de microclima e conforto térmico se concentram em Curitiba e no tema microclima e morfologia urbana 30% foram desenvolvidas em Curitiba (dados em itálico).

microclima e morfologia urbana							
	Ilha de calor	microclima / uso ocupação solo	análise e zoneamento bioclimático	simulações computacionais e ensaios	avaliação pós-ocupação	proposição novas metodologias	revisão literatura
Sul (<i>Curitiba</i>)	4 (1)	4 (2)	0	0	0	1	0
Sudeste	9	24	1	7	4	5	0
Centro-Oeste	2	5	1	0	0	0	0
Nordeste	2	26	14	5	0	0	0
Nacional						5	1
microclima e conforto térmico							
	aplicação de índices	sensação térmica real	uso do espaço	proposição e calibração de índices	impacto da geometria urbana	proposição novas metodologias	revisão literatura
Sul (<i>Curitiba</i>)	3 (3)	3 (3)	0	0	2 (2)	0	0
Sudeste	13	9	1	4	0	0	0
Nordeste	4	1					
Nacional	2					2	2

Quadro 7 – Resumo das pesquisas sobre conforto térmico publicadas nos anais do ENCAC
Fonte: Autoria própria

A seguir estão apresentadas as pesquisas divididas por temas e em ordem cronológica, na área de sensação e conforto térmico.

Microclima e Morfologia Urbana

Bueno, Labaki e Santos (1997) estudaram o efeito de três espécies arbóreas no subdistrito de Barão Geraldo, Campinas/SP, na atenuação da radiação térmica e do conforto térmico urbano. Foram realizadas medições de temperatura, umidade do ar e temperatura de globo na sombra e no sol. Os resultados não mostraram grande diferença entre a temperatura do ar sob as três espécies analisadas. Entretanto, os valores mais altos de temperatura de globo foram registrados sob a espécie com copa menos densa.

Corbella e Yannas (1997) estudaram a variação do microclima em uma área densamente povoada no Rio de Janeiro/RJ. Durante quatro dias, foram realizadas medições móveis e entrevistas sobre conforto térmico, visual e acústico. Concluiu-se que a forma urbana influencia a radiação solar, a temperatura do ar e a ventilação

local, e que a presença de vegetação ameniza o desconforto térmico. O grande volume de tráfego é a principal fonte de ruído e poluição.

Barbirato e Mattos (1999) analisaram o conforto térmico em ambientes urbanos através da aplicação de um modelo climático de balanço de energia, adaptando-o para as condições climáticas típicas da cidade de Maceió/AL. A partir de dados obtidos em medições de temperatura do ar em frações urbanas distintas, ajustou-se um modelo de balanço de energia às condições climáticas típicas da cidade. A avaliação do potencial do modelo mostrou a utilidade dessa ferramenta no teste de soluções e previsões dentro de problemas relativos ao planejamento e controle térmico de ambientes urbanos.

Costa e Araújo (2003) investigaram a influência da forma urbana no microclima e na sensação térmica dos usuários no bairro Petrópolis, em Natal/RN. Foram elaborados e analisados mapas de topografia, uso do solo, altura das edificações, pavimentação e áreas verdes, e monitoradas as variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos. Observaram-se altos valores de temperatura e umidade relativa nos pontos monitorados, e propuseram-se melhorias climáticas como a implantação de arborização nos lotes e a utilização de recuos entre as edificações.

Costa, Rodrigues e Labaki. (2005) investigaram a influência do tipo de revestimento do solo (asfalto e gramado) nos resultados das variáveis ambientais e na sensação de conforto térmico de usuários no campus da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas/SP). Foram levantados alguns parâmetros urbanos como: topografia, altura dos edifícios, uso do solo, áreas verdes e tipo de recobrimento do solo, além de medições de temperatura de ar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos e temperatura superficial. Questionários de sensação térmica também foram aplicados. Observou-se que, na área asfaltada, a temperatura superficial foi mais alta e os usuários apresentaram maior desconforto. Concluiu-se que pode haver relação entre o tipo de pavimento do solo e a sensação térmica.

Abreu e Labaki (2007) propõem uma metodologia para avaliação do raio de influência de espécies arbóreas no microclima urbano. As autoras realizaram medições fixas simultâneas de temperatura do ar, temperatura de globo, radiação solar e velocidade do vento, e utilizaram fotos olho de peixe para determinar o fator de visão de céu e a porcentagem de atenuação da radiação solar de cada espécie

estudada. Utilizou-se o índice PMV para analisar o conforto térmico. Concluiu-se que dentro de um raio de 5 metros pode-se verificar o raio de influência de cada espécie arbórea e que, com os dados obtidos, é possível obter parâmetros ambientais relacionados à quantidade de indivíduos arbóreos necessários para o trabalho de termorregulação eficiente.

Rossi, Krüger e Nikolopoulou (2011) analisaram a existência de diferenças climáticas em ruas de pedestres de Curitiba/PR e sua relação com as características urbanas, com o objetivo de sugerir ações que melhorem o conforto térmico local. Os resultados mostraram que, de modo geral, a configuração urbana interfere nas condições climáticas e que a comparação entre dois pontos monitorados em um mesmo dia ajuda a entender as diferenças significativas observadas entre as variáveis climáticas monitoradas.

Microclima e Conforto Térmico em Espaços Abertos

Katzschner et al. (1999) analisaram o conforto térmico na cidade de Salvador/BA utilizando os índices PET e SET*. A morfologia urbana foi classificada qualitativamente e medições de variáveis climáticas foram realizadas. Concluiu-se que em cidades tropicais a ventilação é um fator dominante no conforto térmico.

Andrade et al. (2001) analisaram a configuração do topo-clima da orla de Salvador/BA com o objetivo de fornecer indicações de conforto térmico através do índice PET e apresentar recomendações para o planejamento urbano em regiões de clima quente e úmido. Foram associados dados de: temperatura do ar, umidade relativa, radiação global, velocidade e direção do vento, com aspectos da geometria urbana e de inércia térmica dos revestimentos do solo. Os resultados indicaram que valores do PET estão fora da zona de conforto nos horários medidos, que a vegetação proporciona sombreamento e diminui a temperatura em alguns pontos, e que a ventilação tem importante papel na atenuação no conforto térmico.

Lois e Labaki (2001) apresentam uma revisão dos estudos realizados sobre conforto térmico em espaços externos. As autoras listam vários estudos internacionais e os seguintes índices de conforto térmico: Índice de Stress Térmico (ITS), Modelo de Morgan e Baskett, Modelo de Jendritzky e Nübler, Modelo de Munique para Balanço de Energia para Indivíduos (MEMI), Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), Temperatura Neutra ao Exterior (Tne) e Índice de Noguchi e Givoni.

Silva et al. (2001) avaliaram a qualidade térmica das sombras de cinco espécies arbóreas. Foram monitorados dados climáticos sob a sombra de cada espécie e calculado o índice de conforto térmico CTR (índice de carga térmica radiante). Os autores observaram a importância da copa na redução da radiação solar e relacionaram as espécies de acordo com a capacidade de redução da carga térmica radiante.

Takenaka e Faria (2003) estudaram o ambiente térmico de três ruas em Bauru/SP. Foram realizadas medições de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido, de globo e velocidade do vento, além de observações sobre o comportamento e a vestimenta dos usuários. Foram calculados os índices PMV e PET. Concluiu-se que a vegetação exerce grande importância na qualidade do espaço ao prover sombreamento nas áreas de circulação de pedestres. Soluções foram propostas para as três vias estudadas a fim de melhorar o ambiente térmico em cada uma delas.

Ananian, Fontes e Silva (2005) analisaram o conforto térmico em duas situações urbanas em uma mesma rua de pedestres, uma a céu aberto e outra em local coberto, para verificar a funcionalidade da cobertura de fibra de vidro opaca. Foram levantados dados climáticos no local e dados de configuração urbana por meio de fotos aéreas e verificação no local. As comparações entre as medições fora e embaixo da cobertura mostraram pouca diferença em relação à temperatura do ar e diferenças significativas em relação à temperatura radiante média. Para definir a sensação de conforto foi utilizado o PMV, e concluiu-se que apesar da cobertura oferecer um local menos quente que a céu aberto, este espaço ainda não atinge os níveis de conforto térmico para o pedestre.

Monteiro e Alucci (2005c) apresentam procedimentos para a quantificação de variáveis ambientais, individuais e subjetivas (sensação térmica) para a avaliação de resultados de modelos preditivos de conforto térmico em espaços abertos, com o objetivo de fornecer um método para a determinação das variáveis envolvidas na análise termofisiológica de conforto e estresse em espaços abertos, fornecendo embasamento para pesquisas futuras.

Araújo et al. (2007) apresentam recomendações de sombreamento em espaços de circulação de pedestres no campus da UFRN. Foram realizados diagnósticos dos passeios, do tempo de percurso e da tipologia das edificações, analisados dados de radiação ultravioleta B e radiação solar, calculado o índice PMV

para a análise do conforto térmico e determinado o período de sombreamento por meio de simulações. Os autores recomendam que os passeios sejam localizados o mais próximo possível de edificação de três pavimentos, ao longo das fachadas Leste ou Sul, e que sejam criados caminhos entre os blocos de edifícios, com o objetivo de potencializar o sombreamento.

Monteiro e Alucci (2007a, 2007b) verificam a aplicabilidade de diferentes modelos preditivos de conforto térmico em espaços abertos, considerando diferentes abrangências microclimáticas, e propõem calibrações para tais modelos preditivos visando à possibilidade de seu uso para verificação da adequação térmica de espaços abertos na cidade de São Paulo/SP. Foram realizadas medições de campo de variáveis climáticas e a aplicação de questionários de sensação térmica. Os dados reais foram correlacionados com os dados das simulações, determinando-se as capacidades preditivas de vinte modelos e trinta e dois índices. A partir destes dados, os autores propõem calibrações para diferentes abrangências microclimáticas e apresentam a metodologia para a calibração dos índices.

Pareja Júnior et al. (2007) estudaram o conforto térmico em quatro praças da cidade de Presidente Prudente/SP. Foram realizadas medições de temperaturas ambiente e de globo, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar em dez pontos em cada praça, e levantados parâmetros pessoais dos usuários do local. Para a análise do conforto térmico foi utilizado o índice PMV, e observou-se que a radiação solar, a vegetação, o tipo de piso e a presença de fluxo de automóveis são determinantes na análise do conforto.

Abreu e Labaki (2009) utilizaram os índices PMV, PET e SET* e o gráfico de conforto de Moreno para avaliar o raio de influência de um indivíduo arbóreo no conforto térmico. Foram monitoradas variáveis climáticas em três diferentes raios de influência e calculados os três índices. Verificou-se que para todos os índices o desempenho de conforto térmico da espécie ao longo do ano depende da arquitetura da copa, variando conforme o tipo de cobertura vegetal.

Brusantin e Fontes (2009) avaliaram um espaço aberto público de permanência na cidade de Bauru/SP em relação às variáveis climáticas e respostas individuais sobre a sensação térmica com o objetivo de investigar as condições de conforto térmico dos usuários. As respostas reais obtidas com a aplicação de questionários foram comparadas aos índices PMV e PET. As autoras diagnosticaram diferenças entre a sensação térmica real e a calculada pelos índices,

concluindo que aspectos qualitativos do espaço (arborização, bancos etc.) influenciam na percepção térmica do mesmo, e que é necessária a calibração dos modelos de conforto existentes para a realidade da cidade de Bauru.

Dacanal et al. (2009) analisaram o conforto térmico em duas praças públicas na cidade de Campinas/SP, com diferentes configurações espaciais. Para cada espaço, foram levantados dados climáticos e respostas individuais (questionários), além do cálculo de sensação térmica utilizando os modelos PMV e PET. Concluiu-se que as respostas reais (questionários) diferem da resposta calculada pelos modelos, e que fatores qualitativos influenciam na percepção térmica do espaço de permanência.

Lamotta e Labaki (2009) determinaram estratégias bioclimáticas para projeto para a cidade de Campinas/SP, com o objetivo de atualização dos dados propostos por Chvatal (1998). A análise foi realizada para o período de 1993 a 2006, e quatro métodos foram utilizados (Método de Mahoney, Método de Rivero, Método de Aroztegui e Método dos Triângulos).

Minella, Rossi e Krüger (2009) investigaram a influência do fator de visão do céu (FVC) nos níveis de conforto térmico em espaços abertos, mais especificamente na Rua XV de Novembro, em Curitiba/PR. Foram tiradas fotos com lente olho de peixe e realizados monitoramentos fixos de variáveis climáticas, em dois pontos ao longo da rua. Para a análise de conforto térmico foram utilizados os índices PMV e PET. Os autores concluíram que há pouca influência na variação da temperatura do ar, que o FVC não pode ser considerado, isoladamente, como fator determinante para os níveis de conforto dos índices PMV e PET, que a influência do FVC no microclima é menor que a influência da incidência da radiação solar e que as características do desenho urbano, como altura das edificações, largura das vias e orientação, tem forte influência no ganho de radiação solar nos pontos medidos, e em consequência nos níveis de conforto.

Monteiro e Alucci (2009a, 2009b, 2009c) propõem um índice de temperatura equivalente para avaliação do conforto térmico em espaços abertos na cidade de São Paulo/SP. O objetivo da pesquisa era quantificar as correlações entre variáveis microclimáticas urbanas e variáveis subjetivas, possibilitando a predição do grau de adequação térmica de espaços abertos para uma população adaptada às condições climáticas local. No primeiro artigo são apresentados os levantamentos empíricos das situações microclimáticas analisadas, a aplicação dos questionários, os

procedimentos utilizados para obtenção das correlações entre as variáveis e a proposição do índice de temperatura equivalente percebida (TEP). No segundo artigo é verificada a influência de diferentes taxas metabólicas e de diferentes isolamentos térmicos das roupas na sensação térmica dos usuários. No terceiro artigo verificou-se a questão da adaptação e aclimatação da população.

Rossi et al. (2009) apresentaram resultados iniciais da pesquisa em conforto térmico em espaços abertos na principal rua de pedestres de Curitiba/PR, com o objetivo de verificar a sensação de conforto térmico de transeuntes. Foram realizados monitoramentos fixos de variáveis climáticas e de sensação térmica, com os índices PMV, PET e SET* sendo utilizados para a análise de conforto. Os autores concluíram que as diferenças encontradas entre as respostas reais e as obtidas pelos índices podem ser decorrência das faixas de conforto definidas por cada índice, e indicam a necessidade de determinação de uma faixa de conforto adequada às condições climáticas locais.

Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009) analisaram os modelos PMV e PET para a cidade de Presidente Prudente/SP com o objetivo de indicar qual dos dois modelos é o mais apropriado para a cidade. Para tal, monitoraram variáveis climáticas e aplicaram questionários de sensação térmica em usuários do Parque do Povo. As sensações reais (questionários) foram comparadas com as sensações calculadas pelos modelos PMV e PET. Concluiu-se que, para quatro dos seis dias monitorados, houve poucas diferenças entre a sensação real e os modelos, e que o modelo que melhor se aproximou da sensação real foi o PET.

Barlatti e Bueno-Bartholomei (2011) analisaram o microclima e o conforto térmico de usuários de uma via de pedestre em Presidente Prudente/SP. Foram monitorados dados climáticos, aplicados questionários de sensação térmica e avaliados os limites de conforto térmico real e os obtidos pelos índices PMV e PET. Os resultados mostraram divergência entre as respostas reais e as calculadas pelos índices, indicando que pessoas em ambientes externos são mais tolerantes às variações microclimáticas, o que demonstra a necessidade de ajustes nos modelos utilizados.

Fontes e Brusantini (2011) analisaram os limites de conforto térmico real e calculado pelo índice PET para um espaço público arborizado em Bauru/SP. Os resultados mostraram diferenças significativas entre o conforto real e o calculado, e

limites amplos para a neutralidade térmica, sugerindo a necessidade de um ajuste nos limites de conforto/desconforto e calibração do índice PET.

França e Barbirato (2011) avaliaram a influência de diferentes configurações urbanas no conforto térmico em Maceió/AL. Foram realizadas medições móveis de variáveis climáticas e aplicação simultânea de questionários. A sensação térmica real foi comparada com a zona de conforto proposta por Ahmed e com o índice PET. Os resultados mostram as características do local contribuíram para a sensação térmica dos usuários, que os valores do PET mostraram-se mais próximos dos resultados reais que o índice de Ahmed.

Hirashima, Assis e Ferreira (2011) propuseram um procedimento para medição de variáveis microclimáticas urbanas, coleta de variáveis individuais e subjetivas e tratamento dos dados obtidos, com o objetivo de calibrar o índice Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), para espaços abertos do município de Belo Horizonte/MG. Para a calibração foi utilizada a Regressão Logística Ordinal e calibradas as seguintes faixas de estresse térmico: frio, pouco frio, confortável, pouco calor, calor e muito calor.

Rossi, Krüger e Bröde (2011) analisaram dados climáticos e dados pessoais de transeuntes em ruas de pedestres de Curitiba/PR com o objetivo de definir faixas de estresse térmico e de calibrar o as faixas do índice UTCI para as condições térmicas de Curitiba. Os autores concluíram que é possível definir as faixas de estresse térmico a partir das respostas reais de sensação térmica. Também indicam a necessidade de calibração do índice UTCI e que 20% de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico seria um possível limiar para PPD em espaços abertos.

Shinyashiki e Bueno-Bartholomei (2011) analisaram o microclima e o conforto térmico de usuários espaços públicos de Campinas, Bauru e Presidente Prudente/SP. Foram monitorados dados climáticos, aplicados questionários de sensação térmica e avaliados os limites de conforto térmico real e os obtidos pelos índices PMV e PET. Os resultados mostraram divergência entre as respostas reais e as calculadas pelos índices, sendo que o resultado do PMV foi mais próximo das respostas reais e que para o índice PET é necessária a realização de ajustes em sua calibração.

As pesquisas realizadas em espaços abertos são mais recentes, e a maioria analisa a aplicação de índices existentes para a avaliação do conforto térmico (principalmente os índices PMV, PET e SET*). Em menor número estão as

pesquisas que utilizam as respostas reais da amostra estudada, e somente uma pesquisa teve como objetivo propor um índice específico para as condições climáticas brasileiras, especificamente para a cidade de São Paulo/SP (MONTEIRO, 2008).

Em relação aos estudos na cidade de Curitiba, grande parte diz respeito ao conforto térmico em ambientes internos e à relação entre morfologia urbana e microclima. Recentemente, pesquisas sobre microclima e conforto térmico começaram a ser desenvolvidas em Curitiba, o que mostra a importância da presente pesquisa para esta área do conhecimento.

A partir da revisão dos estudos nacionais sobre clima urbano, verificou-se que os índices PMV (54% das pesquisas analisadas) e PET (60% das pesquisas analisadas) são os mais utilizados para analisar a sensação térmica. Assim, optou-se por utilizá-los para a análise da sensação térmica da população de Curitiba. Além do PMV e do PET, foi aplicado o índice UTCI, por se tratar do mais recente modelo desenvolvido e por ser um índice universal de conforto térmico, isto é, por ser aplicável a todos os tipos de clima, independente das características pessoais dos indivíduos.

Assim, foram utilizados os seguintes índices para a analisar a sensação térmica da população de Curitiba.

- O PMV (*Predicted Mean Vote*) desenvolvido por Fanger (1982);
- O PET (*Physiological Equivalent Temperatura*) desenvolvido por Höpfe (1999) e;
- O UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) desenvolvido pela Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB – International Society of Biometeorology) (BRÖDE et al., 2010).

Voto Médio Estimado – PMV

Fanger (1982) desenvolveu um índice de conforto térmico para espaços internos com base no modelo de balanço térmico humano. O PMV possibilita a predição do valor médio dos votos de sensação térmica de um grupo de pessoas para qualquer combinação das quatro variáveis climáticas (T_a , U_R , V_a , T_{rm}), levando em consideração o nível de atividade física e com a vestimenta.

A obtenção deste índice partiu da análise dos dados de aproximadamente 1300 pessoas. Segundo Fanger (1982), dos vários índices desenvolvidos poucos

são os que consideram, além dos fatores climáticos, fatores pessoais como nível de atividade física e vestimenta. Entretanto, segundo Monteiro (2008), este modelo tem limitações com relação à determinação da temperatura da pele e da taxa de suor regulatório, não sendo adequado para a predição dos níveis de conforto em ambientes externos.

A sensação térmica é medida por uma escala de sete graus de intensidade, apresentada na seção 2.3.4 e está representada no Quadro 8.

Graus de intensidade			Ponto neutro	Graus de intensidade		
muito frio	frio	um pouco de frio	nem frio nem calor	um pouco de calor	calor	muito calor
-3	-2	-1	0	1	2	3

Quadro 8 – Escala de sete graus de intensidade
Fonte: Adaptado de ISO 10551 (1995)

A fórmula que calcula o PMV é composta por quatro equações, e envolve as variáveis climáticas e pessoais descritas nas seções 2.3.2 e 2.3.3, respectivamente. Abaixo estão apresentadas as equações para o cálculo do PMV (ISO 7730, 2005, p.3).

$$\begin{aligned}
 \text{PMV} = & [0,303 \times \exp(-0,036 \times M) + 0,028] \\
 & \times \{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99 \times (M - W) - p_a] \\
 & - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - p_a) \\
 & - 0,0014 \times M \times (34 - T_a) - 3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \\
 & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (T_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - T_a)\}
 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35,7 - 0,028 \times (M - W) - I_{cl} \\
 & \times \{3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (T_{rm} + 273)^4] + f_{cl} \times h_c \\
 & \times (t_{cl} - T_a)\}
 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 h_c = & 2,38 \times |t_{cl} - T_a|^{0,25} & \text{se, } 2,38 \times |t_{cl} - T_a|^{0,25} > 12,1 \times \sqrt{V_a} \\
 h_c = & 12,1 \times \sqrt{V_a} & \text{se, } 2,38 \times |t_{cl} - T_a|^{0,25} < 12,1 \times \sqrt{V_a}
 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 f_{cl} = & 1,00 + 1,290 \times I_{cl} & \text{se, } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \text{ K/W} \\
 f_{cl} = & 1,00 + 0,645 \times I_{cl} & \text{se, } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \text{ K/W}
 \end{aligned} \quad (12)$$

onde:

M = Taxa de metabolismo, em W/m²

W = Taxa de trabalho mecânico realizado, em W/m^2

I_{cl} = Isolamento da roupa, em m^2K/W

f_{cl} = Fator área da roupa

T_a = Temperatura do ar, em $^{\circ}C$

T_{rm} = Temperatura média radiante, em $^{\circ}C$

V_a = Velocidade do vento, em m/s

p_a = Pressão parcial de vapor d'água, em Pa

h_c = coeficiente de transferência de calor convectivo, em $W/(m^2K)$

t_{cl} = Temperatura da superfície da roupa, em $^{\circ}C$

As equações para definir o h_c e a t_{cl} são resolvidas por iteração.

A norma ISO 7730 (2005, p.23) apresenta no anexo D um programa para calcular o índice PMV.

O índice PMV determina, dentro da escala de sete graus de intensidade, um voto de sensação térmica estimado. Segundo Fanger (1982), os indivíduos mais interessantes são aqueles que apresentam algum grau de desconforto, pois são estes que irão reclamar do ambiente no qual estão inseridos. Desta forma, foi criado o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), que prediz a porcentagem de pessoas que estarão insatisfeitas com o ambiente térmico em questão. O PPD é calculado pela equação abaixo.

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (13)$$

Temperatura Fisiológica Equivalente – PET

O índice PET - Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature*) foi baseado no modelo MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*). O PET baseia-se no balanço térmico do corpo, sendo “um índice para cálculo do conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera não só a temperatura, umidade e vento, mas também a temperatura radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade” (MAYER; HÖPPE, 1987¹³, citado por LOIS; LABAKI, 2001). Segundo Höppe (1999), o PET é definido como a temperatura fisiológica equivalente, em um determinado ambiente (interno ou externo), à temperatura do ar de um ambiente

¹³ MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. In: **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987.

interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com a temperatura da pele e do centro do corpo iguais àsquelas das condições em avaliação.

Os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais são estabelecidos da seguinte forma (HÖPPE, 1999):

1- Umidade relativa de 50% a uma temperatura do ar de 20°C (equivalente à pressão parcial de vapor de água de 12hPa);

2- Velocidade do ar de 0,1 m/s;

3- Temperatura radiante média igual à temperatura do ar;

4- Metabolismo de 80W mais o metabolismo basal e;

5- Vestimentas de 0,9 clo

O cálculo do índice PET é obtido utilizando o sistema de equações do modelo MEMI, apresentado abaixo:

$$M + W + R + C + E_D + E_{Re} + E_{Sw} + S = 0 \quad (14)$$

$$F_{CS} = v_b \times p_b \times c_b \times (T_c - T_{sk}) \quad (15)$$

$$F_{SC} = (T_{sk} - T_{cl})/I_{cl} \quad (16)$$

onde:

E_D = fluxo de calor latente por transpiração

E_{Re} = soma dos fluxos de calor para aquecer e umidificar o ar inspirado

E_{Sw} = fluxo de calor pela evaporação

S = fluxo de calor armazenado para aquecer ou resfriar o corpo

F_{CS} = fluxo de calor do centro do corpo para a superfície da pele (W/m^2)

v_b = fluxo de sangue do centro do corpo para a pele ($L/s \cdot m^2$)

p_b = densidade do sangue (kg/L)

c_b = calor específico do sangue ($W \cdot s/K \cdot kg$)

T_c = Temperatura do centro do corpo ($^{\circ}C$)

T_{sk} = Temperatura da superfície da pele ($^{\circ}C$)

F_{SC} = fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa (W/m^2)

T_{cl} = Temperatura da superfície externa da roupa ($^{\circ}C$)

Para resolver a equação 14 é necessário quantificar a temperatura da superfície externa da roupa (T_{cl}), a temperatura da pele (T_{sk}) e a temperatura do

centro do corpo (T_c) utilizando as equações 15 e 16. Resolvendo o sistema de três equações é possível calcular – para várias combinações de parâmetros climáticos, nível de atividade e tipos de roupas – o estado térmico do corpo, caracterizado pelos fluxos de calor, temperaturas do corpo e taxa de suor.

Assim, para obter o PET, insere-se no modelo MEMI os valores de temperatura da pele (T_{sk}) e a temperatura do centro do corpo (T_c), e resolve-se o sistema de equações para os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais. O Quadro 9 mostra os níveis de estresse térmico e sensação térmica para os índices PMV e PET, considerando o metabolismo de 80W e vestimenta de 0,9 clo de acordo com Fanger, 1982; Jendritzky et. al, 1979 e Matzarakis e Mayer, 1996.

PMV	PET	Sensação térmica	Nível de estresse térmico
-3,5	4°C	muito frio	extremo estresse para o frio
-2,5	8°C	frio	forte estresse para o frio
-1,5	13°C	pouco frio	moderado estresse para o frio
-0,5	18°C	levemente frio	leve estresse para o frio
0,5	23°C	confortável	sem estresse térmico
1,5	29°C	levemente calor	leve estresse para o calor
2,5	35°C	pouco calor	moderado estresse para o calor
3,5	41°C	calor	forte estresse para o calor
		muito calor	extremo estresse para o calor

Quadro 9 – Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET
Fonte: Adaptado de Mayer, Matzarakis (1998)

Índice Universal de Conforto Térmico – UTCI

O UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) foi desenvolvido pela ISB *Commission 6* da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB - *International Society of Biometeorology*), com o objetivo de avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano. Foi definido que o índice fosse termofisiologicamente válido, aplicável a todos os tipos de clima e independente das características pessoais dos indivíduos. (INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY, 2001, 2003).

O UTCI foi elaborado com base no modelo termoregulatório multinodal desenvolvido por Fiala et al. (1999; 2001; 2003; 2007; 2011), que considera:

- 1- o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa;
- 2- a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo e;
- 3- a redução da resistência térmica e evaporativa da roupa, causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4 km/h em superfície plana.

O UTCI segue o conceito da temperatura equivalente, tendo para o ambiente de referência as seguintes definições (BRÖDE et al., 2010):

- 1- 50% de umidade relativa, com vapor de pressão não excedendo 20 hPa;
- 2- temperatura do ar igual à temperatura radiante média e;
- 3- velocidade do vento de 0,5m/s, medida a 10 metros de altura.

A igualdade das condições fisiológicas é baseada na equivalência da resposta fisiológica dinâmica prevista pelo modelo para os ambientes real e de referência. Como essa resposta dinâmica é multidimensional (temperatura corporal, taxa de sudorese, temperatura da pele, etc. em diferentes tempos de exposição), um índice unidimensional foi calculado pelo método dos componentes principais. Assim, a temperatura UTCI equivalente para uma dada combinação das variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) é definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse térmico (BRÖDE et al., 2010).

O UTCI abrange as seguintes faixas climáticas:

- 1- $-50^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 50^{\circ}\text{C}$;
- 2- $-30^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{rm}} - T_a \leq 70^{\circ}\text{C}$;
- 3- velocidade de vento entre 0,5 e 30,3m/s e;
- 4- umidade relativa de 5 a 100% (pressão de vapor máxima 5kPa).

Bröde et al. (2010) afirmam que o índice UTCI pode ser universalmente utilizado para aplicações na área da biometeorologia, e que tem potencial na avaliação da resposta fisiológica de estresse para o frio e para o calor.

O Quadro 10 apresenta as faixas de estresse térmico do índice UTCI.

Faixas do UTCI	Nível de estresse térmico
-40°C	extremo estresse para o frio
-27°C	muito forte estresse para o frio
-13°C	forte estresse para o frio
0°C	moderado estresse para o frio
9°C	pouco estresse para o frio
18°C	sem estresse térmico
26°C	conforto térmico
32°C	moderado estresse para o calor
38°C	forte estresse para o calor
46°C	muito forte estresse para o calor
	extremo estresse para o calor

Quadro 10 – Faixas de estresse térmico do UTCI
Fonte: Adaptado de Bröde et al. (2010)

O próximo capítulo descreve a metodologia e os resultados obtidos na pesquisa.

3 METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A revisão de literatura sobre conforto térmico em espaços abertos mostra o caráter multidisciplinar desta pesquisa. A compreensão da sensação térmica dos usuários de espaços abertos envolve diferentes áreas do conhecimento, o que torna o problema complexo, sendo necessária a utilização de ferramentas diversas para a obtenção dos dados e de diferentes métodos de análises, como por exemplo, levantamento de campo, desenvolvimento e validação de modelos matemáticos, simulação computacional (vento, ambiente térmico urbano, sensação térmica, etc.), dentre outros.

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo preditivo para a avaliação da sensação térmica em espaços abertos para a cidade de Curitiba. Diferentes ferramentas foram utilizadas para a obtenção dos dados (mensuração e questionários) e diferentes métodos estatísticos para analisar os dados. Esta pesquisa é classificada como descritiva do tipo levantamento quantitativo e está dividida nas seguintes etapas (Figura 6):

- Coleta de dados climáticos, pessoais e de percepção térmica;
- Análise das características urbanas e do microclima local;
- Cálculo dos índices de conforto PMV, PET e UTCI;
- Análise da sensação térmica real e da sensação térmica obtida pelos índices;
- Proposição e avaliação de um modelo preditivo para avaliação da sensação térmica.

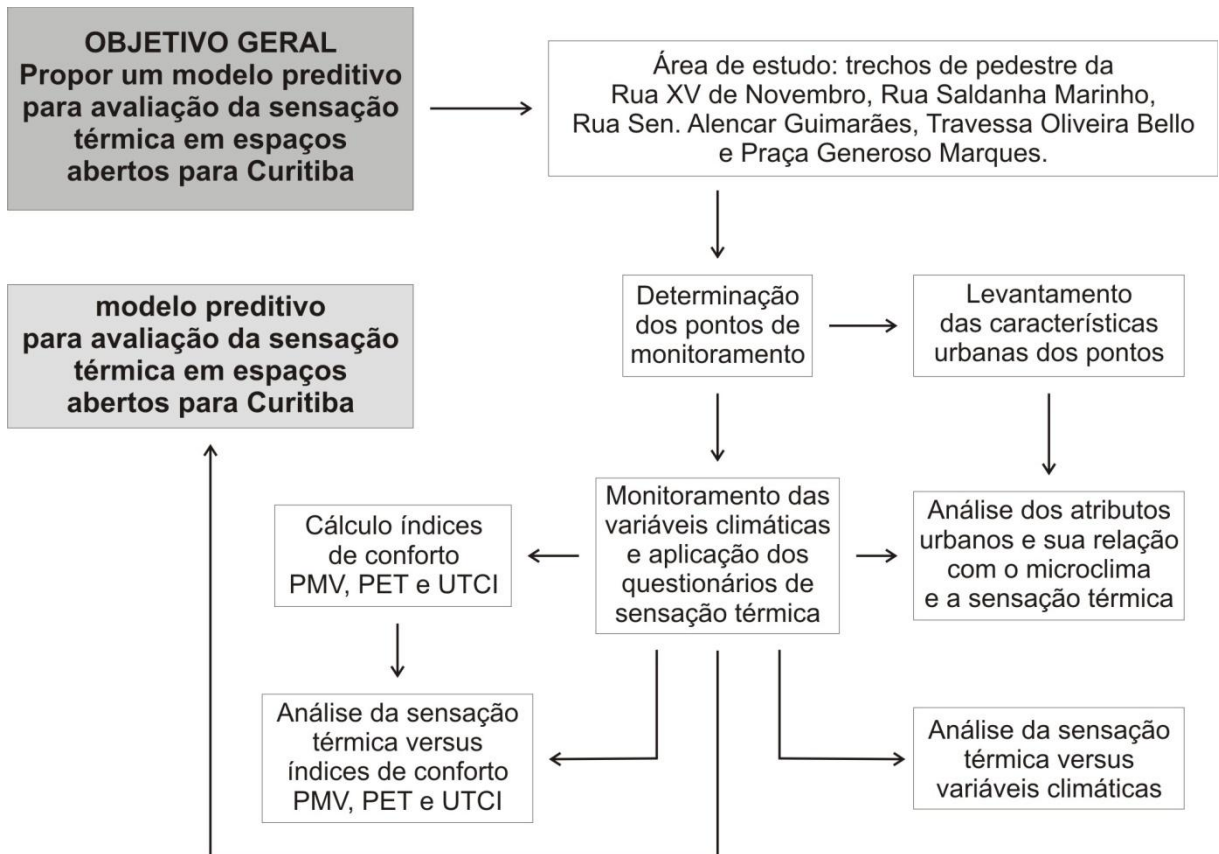


Figura 6 – Fluxograma das etapas da pesquisa
Fonte: Autoria própria

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos e a metodologia adotada.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta seção estão apresentadas informações sobre a classificação climática de Curitiba, a definição da área de estudo, dos pontos e dias dos levantamentos de campo e da amostra.

3.1.1 Caracterização climática de Curitiba

Curitiba está situada na região Sul do Brasil, latitude 25°31' Sul, longitude 49°11' Oeste, altitude média de 917 metros, e seu clima é condicionado pela

atuação de fatores estáticos (latitude, altitude e proximidade ao oceano) e por fatores dinâmicos (circulação atmosférica). A região Sul está sob ação de quatro centros de ação: o Anticiclone Migratório Polar, o Anticiclone Subtropical do Atlântico – que constituem a principal fonte das massas de ar tropicais marítimas – a Depressão do Chaco e a Zona de Convergência Intertropical. Estes centros de ação são responsáveis pela formação das massas de ar que atuam na região Sul. São elas (MONTEIRO, 1968; DANNI-OLIVEIRA, 1999):

- Massa de ar Tropical Atlântica (TA): tem origem no anticiclone do Atlântico Sul e é uma massa quente e úmida com tendência à estabilidade. Sua atividade é constante durante todo o ano;
- Massa de ar Polar Atlântica (PA): tem origem sobre o oceano Atlântico, na latitude da Patagônia. É uma massa fria e úmida com atividade constante durante o ano todo, e seu deslocamento em direção ao continente gera a frente polar atlântica (FPA) que regula as chuvas da região;
- Massa de ar Tropical Equatorial (Tc): tem menor atuação e é mais restrita ao verão, sendo uma massa quente e seca;
- Massa de ar Equatorial Continental (Ec): tem origem na Planície Amazônica é uma massa quente e úmida e atua no verão.

As duas massas de ar continentais – Ec e Tc – atravessam a região Sul, sendo a Ec responsável pelo aquecimento da região no verão e a Tc, além do calor, responsável pelo aumento de umidade e precipitações. Desta forma, os invernos apresentam temperaturas baixas, com a ocorrência de geadas, e os verões são quentes. Durante o ano todo, as chuvas são abundantes (FILL, SUGAI e HILU, 1999).

O clima de Curitiba é classificado como mesotérmico controlado por massas de ar tropicais e polares, sendo do tipo Cfb com verão fresco (MONTEIRO, 1968¹⁴ citado por MENDONÇA, 2001), apresentando as seguintes características climáticas: (1) clima úmido, temperado e sem estação seca definida; (2) maior incidência pluviométrica, em média, no verão, podendo ocorrer inversão desta sazonalidade; (3) velocidade do ar moderada, com direção predominante nordeste (NE); (4) a evapotranspiração real apresenta 71% da precipitação e 82% quando a

¹⁴ MONTEIRO, Carlos A. F. **Clima**. In: A grande região sul. Rio de Janeiro: IBGE, tomo 1, v.4, p.14-166, 1968.

superfície é líquida; (5) no inverno, é comum a ocorrência de geadas (temperatura inferior ou igual a 0°) entre abril a setembro (FILL, SUGAI e HILU, 1999).

A temperatura média anual é de 16,5°C. Fevereiro é o mês mais quente, com temperatura média de 22°C, podendo ocorrer temperaturas superiores a 35°C, e junho é comumente o mês mais frio, com temperatura média de 18°C, podendo ocorrer temperaturas de até -5°C. A cidade apresenta grande amplitude térmica diária e sazonal, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e com maior concentração no verão. Entretanto, devido à frente polar atlântica, o inverno pode tornar-se chuvoso. Agosto é o mês mais seco e julho, o mês com menos dias de chuva (DANNI-OLIVEIRA, 1999; MENDONÇA, 2001).

3.1.2 Determinação dos pontos e dos dias de monitoramento

O local de estudo é o trecho de pedestres da Rua XV de Novembro, também conhecida por Rua das Flores ou Rua XV, localizada no centro da cidade. A escolha foi definida primeiramente pelo importante valor histórico deste “calçadão”, sendo o primeiro criado no país, em 1972. Além de ser um importante eixo comercial da cidade, transitam por ela cerca de 140 mil pessoas por dia (ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DO PARANÁ, 2007). A orientação da Rua XV de Novembro é praticamente Leste/Oeste, com azimute¹⁵ do eixo da rua de 67°.

Outras três vias de pedestres foram incorporadas como possíveis locais de monitoramento: a Rua Saldanha Marinho, que tem a mesma orientação da Rua XV de Novembro, porém só duas quadras exclusivas de pedestres; a Travessa Oliveira Bello e a Rua Senador Alencar Guimarães, que são paralelas entre si e possuem azimute de 314°.

A definição dos pontos de coleta de dados se deu em função das diferentes configurações urbanas encontradas ao longo das sete quadras que compõem o calçadão da Rua XV e das demais vias de pedestres. Fotos olho de peixe foram tiradas em todas as quadras de pedestres, no eixo das vias e das quadras. O equipamento utilizado foi uma câmera digital Nikon CoolPix 4500, com lente FC-E8,

¹⁵ é uma medida angular que serve para indicar uma direção horizontal, marcada sobre o solo. Indica o ângulo que uma direção faz com a orientação Norte.

chamada de olho de peixe ou grande angular. A escolha da configuração urbana como parâmetro de definição dos pontos de monitoramento, ocorreu em função da pesquisa de mestrado de Minella (2009), que analisou a influência de aspectos da geometria urbana nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres.

Foram realizados monitoramentos em quinze pontos (Figura 7), os mesmos utilizados por Minella¹⁶ (2009).

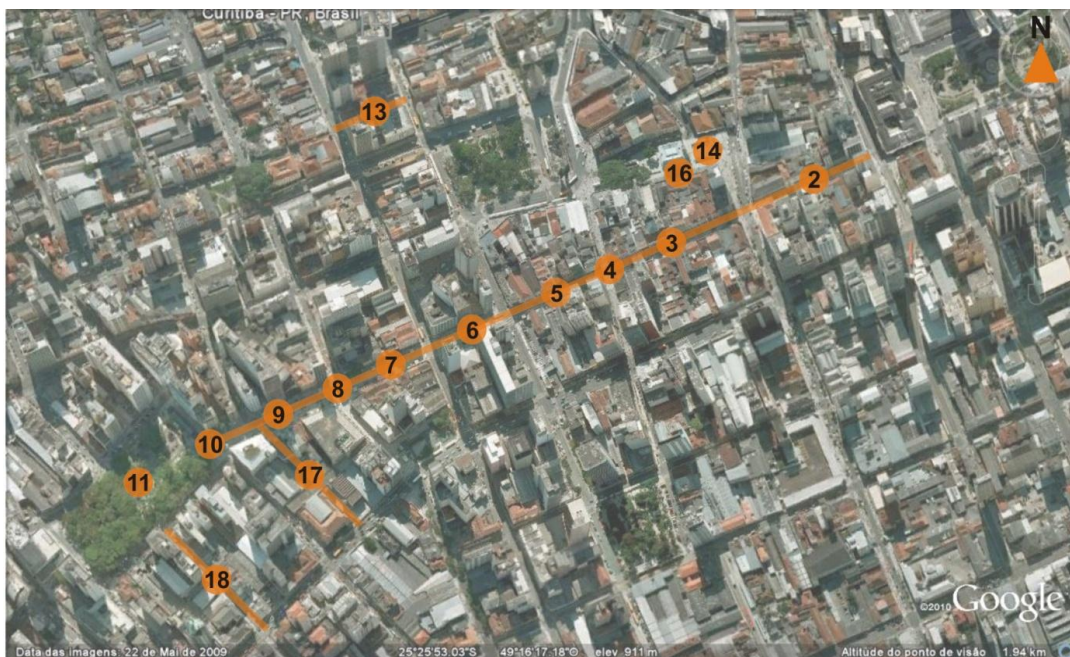


Figura 7 – Localização dos pontos nas ruas de pedestre selecionadas para monitoramento
Fonte: Autoria própria

Ao todo, três diferentes configurações urbanas foram consideradas: cânions, cruzamentos e praças. No Quadro 11 estão apresentados os pontos monitorados e sua localização, agrupados em função das características urbanas.

Cânions	2	Rua XV de Novembro - entre as ruas Presidente Faria e Riachuelo
	3	Rua XV de Novembro - entre as ruas Riachuelo e Monsenhor Celso
	5	Rua XV de Novembro - entre as ruas Monsenhor Celso e Marechal Floriano
	6	Rua XV de Novembro - entre as ruas Marechal Floriano e Muricy
	7	Rua XV de Novembro - entre as ruas Muricy e Ébano Pereira
	9	Rua XV de Novembro - entre as ruas Ébano Pereira e Voluntários da Pátria
	13	Rua Saldanha Marinho - entre as ruas José Bonifácio e do Rosário
	17	Travessa Oliveira Bello
	18	Rua Senador Alencar Guimarães - entre a rua Emiliano Perneta e a praça Osório

Quadro 11 – Localização e característica dos pontos monitorados
Fonte: Autoria própria

¹⁶ A utilização dos mesmos pontos permitiu a comparação entre o conforto térmico e a morfologia urbana (ROSSI, MINELLA E KRÜGER, 2009).

(conclusão)

Cruzamentos	4	Cruzamento das ruas Monsenhor Celso e Rua XV
	8	Cruzamento da Travessa Oliveira Bello e da Rua XV
	10	Cruzamento das ruas Voluntários da Pátria e da Rua XV
Praças	11	Praça Osório
	14	Praça Generoso Marques – em frente ao Paço Municipal
	16	Praça Generoso Marques – ao lado do Paço Municipal

Quadro 11 – Localização e característica dos pontos monitorados**Fonte: Autoria própria**

A escolha dos dias de monitoramento foi realizada com base nos seguintes fatores:

- 1 - abranger a maior quantidade possível de condições climáticas e épocas do ano;
- 2 - a ocorrência de condições climáticas estáveis, em dias sem probabilidade de chuva. Para isso, foram utilizadas as previsões climáticas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
- 3 - disponibilidade da equipe de apoio;
- 4 - disponibilidade de transporte para as estações meteorológicas (o peso aproximado da estação montada é de 22 kg).

Foram realizados 15 levantamentos de campo, sendo 14 dias no período entre janeiro e agosto de 2009 e um dia em junho de 2010. Os levantamentos ocorreram entre 10h00 e 15h00, e, além do monitoramento de dados climáticos, foram também coletados dados pessoais por meio de questionários. As variáveis climáticas levantadas foram: temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V_a) e direção do vento, radiação solar (RS) e temperatura de globo (T_g). Em relação às variáveis pessoais, foram reunidas informações sobre: (1) gênero, (2) idade, (3) altura, (4) peso, (5) local e tempo de moradia (aclimatação), (6) vestimenta e (7) tempo de exposição ao ambiente externo, além das variáveis sobre percepção térmica. Os dados sobre moradia foram utilizados para definir as pessoas que fariam parte da amostra. Somente os moradores de Curitiba e da Região Metropolitana (RMC) que declararam residir nessa área há pelo menos seis meses foram considerados como parte da amostra. Seguindo as recomendações da ASHRAE Standard 55 (2004), as pessoas que declararam estar há menos de 15 minutos ao ar livre não foram consideradas parte da amostra. Todos os dados

coletados por meio de questionários foram tabulados e organizados em planilhas eletrônicas.

Em cada dia de medição foram utilizadas duas estações meteorológicas e monitorados dois pontos simultaneamente. No Quadro 12 estão apresentados os pares de pontos monitorados.

Dia	Ponto	Estação	Dia	Ponto	Estação
09.01.2009	2	1	09.06.2009	17	1
	7	2		18	2
19.03.2009 e 25.03.2009	10	1	17.06.2009	6	1
	3	2		2	2
01.04.2009	13	1	19.06.2009	3	1
	2	2		7	2
08.04.2009	4	1	13.07.2009	8	1
	9	2		16	2
06.05.2009	4	1	11.08.2009	11	1
	14	2		14	2
03.06.2009	4	1	12.08.2009	11	1
	14	2		6	2
05.06.2009	10	1	10.06.2010	6	1
	5	2			

Quadro 12 – Dias e pontos monitorados
Fonte: Aatoria própria

Os equipamentos utilizados para a obtenção dos dados climáticos e o questionário para a obtenção dos dados pessoais seguiram as normas internacionais, conforme descrito na próxima seção.

3.2 EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS

Para o monitoramento das variáveis climáticas foram utilizadas duas estações meteorológicas da marca HOBO (H21-001). Esta estação consiste de um *data logger*, ao qual se acoplam até oito sensores para medir temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, precipitação e pressão barométrica, registrando-se até 15 canais de medições. Apesar das duas estações serem novas, foi realizada uma aferição dos sensores, por meio da comparação dos dados registrados no dia 04.12.2008 na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Os resultados estão apresentados no Apêndice A.

As estações estavam equipadas com os seguintes instrumentos (Figura 8):

- Sensor de temperatura e umidade do ar (S-THB-M002);

- Piranômetro de silício (S-LIB-M003) e;
- Sensor de direção e velocidade do ar (S-WCA-M003).

Para se obter a temperatura radiante média (T_{rm}), foram utilizados termômetros de globo de cobre, com diâmetro de duas polegadas ($\varnothing=2''$, aproximadamente 5 cm), pintados na cor RAL-7001 (cinza médio) (THORSSON et al., 2007). Os globos estavam equipados com os seguintes instrumentos:

- Sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002) e;
- HOBO Pro V2 logger (U23-004).



Figura 8 – Estação meteorológica HOBO
Fonte: Autoria própria

A norma ISO 7726 (1998) recomenda parâmetros para a medição destas variáveis. Para a medição da temperatura do ar, é necessário que o sensor esteja protegido da radiação solar e de outras fontes de calor (superfícies vizinhas). São recomendadas três alturas para a colocação dos sensores, caso a pessoa esteja sentada ou em pé (Tabela 2).

Tabela 2 – Alturas para a colocação dos sensores de temperatura do ar

	Sentada	em pé
nível da cabeça	1,10m	1,70m
nível do abdomen	0,60m	1,10m
nível do tornozelo	0,1m	0,10m

Fonte: Adaptado de ISO 7726 (1998)

Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar foram fixados na altura de 110 cm (ISO 7726, 1998), o piranômetro foi fixado a 160 cm, acima dos demais sensores, para evitar sombras sobre o mesmo, e o anemômetro foi fixado a 200 cm, em função da estrutura física da estação meteorológica. Em cada estação, foram fixados dois termômetros de globo nas alturas de 60 cm e 110 cm (ISO 7726, 1998), porém foram utilizados somente os dados referentes ao sensor fixado a 110 cm para

o cálculo da temperatura radiante média (T_{rm}). A T_{rm} foi calculada pela equação 7 apresentada na seção 2.3.2, considerando ventilação forçada (ISO 7726, 1998, pg.16).

A velocidade do ar foi monitorada a 200 cm de altura. Entretanto, considerando a premissa que os dados da velocidade do ar a 110 cm (mesma altura que as outras variáveis foram monitoradas) seriam mais adequados para a análise da sensação térmica, na última medição, realizada no dia 10.06.2010, os dados relativos ao vento foram monitorados em duas alturas, a 110 cm e a 200 cm. A partir dos dados dessa medição, os valores de velocidade do ar foram analisados por regressão linear simples, obtendo-se uma equação de regressão que foi utilizada para calcular a velocidade do ar a 110 cm de altura para a série completa de dados. Os valores de velocidade do ar calculados para a altura de 110 cm e os valores registrados a 200 cm foram analisados pelo teste estatístico t, de Student, para verificar se as duas séries são significativamente diferentes, e também para analisar a qualidade do ajuste produzido pelo modelo de regressão.

O teste t de Student testa a hipótese de que os valores médios de dois conjuntos de dados são iguais, ou, de outro modo, que não há diferença significativa entre as duas médias. Para tal, a hipótese nula (H_0) a ser testada é que não há diferença significativa entre as médias das duas amostras, ou seja, $H_0: \mu_1 = \mu_2$. E a hipótese alternativa (H_a) é que há diferença significativa entre os valores médios das duas amostras ($H_a: \mu_1 \neq \mu_2$). Para estabelecer se a diferença amostral é estatisticamente significativa é necessário estabelecer o nível de significância (α), ou seja, o nível de probabilidade em que a hipótese nula pode ser rejeitada com confiança, uma zona de rejeição e um valor crítico de rejeição (t). A hipótese nula é rejeitada quando o valor p é menor que o nível de significância adotado.

Para testar os dados da velocidade do ar, foi estabelecido o nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$, ou valor p = 0,05). De acordo com o teste t foi possível afirmar que há diferença significativa ($t=166,02$) entre os valores médios de velocidade do ar tomados a duas alturas, assim, decidiu-se utilizar os dados calculados para a altura de 110 cm em todas as análises realizadas e para o desenvolvimento do modelo de predição da sensação térmica. As informações da análise de regressão e do teste estatístico estão no Apêndice B.

A norma ISO 7726 (1998) também recomenda as faixas de medição e a precisão requerida para cada uma das variáveis monitoradas (Tabela 3).

Tabela 3 – Faixas e precisão requeridas pela ISO 7726, para a medição das variáveis climáticas

Variáveis	Faixa para conforto	Precisão para conforto	Faixa para estresse	Precisão para estresse
Temperatura do ar (Ta)	10 a 40°C	Requerida: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Desejada: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$	-40 a 120°C	Requerida: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (0 a 50°C) Desejada: $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ (0 a 50°C)
Temperatura radiante média (Trm)	10 a 40°C	Requerida: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Desejada: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$	-40 a 150°C	Requerida: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (0 a 5 °C) Desejada: $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (0 a 50°C)
Velocidade do ar (Va)	0,05 a 1 ms	Requerida: $\pm (0,05 + 0,05va)$ m/s Desejada: $\pm (0,02 + 0,07va)$ m/s	0,2 a 20 m/s	Requerida: $\pm (0,1 + 0,05va)$ m/s Desejada: $\pm (0,05 + 0,05va)$ m/s
Pressão de vapor (Pa)	0,5 a 3,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa $ Tr - Ta < 10^{\circ}\text{C}$	0,5 a 6,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa $ Tr - Ta < 20^{\circ}\text{C}$

Fonte: Adaptado de ISO 7726 (1998)

A estação utilizada satisfaz a recomendação da norma pela ISO 7726 (1998) conforme dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Faixas e precisão dos sensores utilizados

Variáveis	Faixa para conforto	Precisão para conforto
Temperatura do ar (Ta)	-40 a 75°C (S-THB-M002)	0,2°C (0 a 50°C)
Temperatura radiante média (Trm)	-40 a 70°C (U23-004) -40 a 100°C (S-TMB-M002)	0,2°C (0 a 50°C)
Velocidade do ar (Va)	0 a 44 m/s (S-WCA-M003)	$\pm 0,5$ m/s $\pm 3\%$ (17 a 30 m/s) $\pm 4\%$ (30 a 44 m/s)
Pressão de vapor (Pa)	0 a 38,7 kPa (S-THB-M002)	$\pm 2,5\%$ (10 a 90%)

Fonte: Autoria própria

Nota: A pressão de vapor da estação HOBO foi calculada a partir dos valores da faixa de conforto de umidade relativa e temperatura do ar, medidos pela estação. Para o cálculo da pressão parcial de vapor e da pressão de vapor, foram utilizadas as fórmulas 1 e 10 da tabela D.1 do Anexo D da ISO 7726 (ISO 7726, 1998, p.39).

A estação HOBO foi programada para iniciar as medições as 10h00 e gravar os dados com intervalo de cinco segundos. Assim, as variáveis climáticas foram registradas de cinco em cinco segundos, e extraiu-se a média para cada minuto. Para cada dia de monitoramento e para cada estação foram organizadas planilhas eletrônicas com os dados das variáveis climáticas ordenadas de minuto em minuto.

Para obtenção dos dados pessoais e de sensação térmica foram aplicados questionários, desenvolvidos com base na norma internacional ISO 10551 (1995). O questionário foi dividido em duas partes, a primeira referente aos dados pessoais e a segunda referente às perguntas de sensação térmica. O modelo de questionário utilizado está apresentado no Apêndice C.

O Quadro 13 apresenta a relação de roupas selecionadas da ISO 9920 (2007) e utilizadas no questionário assim como os respectivos valores de isolamento térmico (clo).

Roupas Íntimas	Icl	Camisas e blusas	Icl	Casacos e suéteres	Icl
calcinha	0,03	camiseta manga curta	0,09	colete fino	0,13
sutien	0,01	camiseta manga longa	0,16	colete grosso	0,22
cueca	0,04	camisa manga curta	0,25	suéter fino	0,23
camiseta manga curta	0,09	camisa manga longa	0,28	suéter grosso	0,29
camiseta manga longa	0,16	regata	0,06	jaqueta leve curta	0,21
combinação	0,16	top	0,06	jaqueta leve longa	0,34
ceroulas	0,15	blusa 3/4	0,27	jaqueta grossa curta/blazer	0,35
Meias		Calças		jaqueta grossa longa	0,42
meia fina / meia calça	0,02	calça fina	0,15	paletó	0,44
meia grossa	0,03	calça grossa / calça jeans	0,24	moletom	0,36
meião fino	0,03	bermuda	0,11	Vestidos e saias	
meião grosso	0,06	shorts	0,08	saia longa	0,23
Calçados		macacão sem mangas	0,24	saia até a barriga da perna	0,10
sandálias / chinelo	0,02	macacão manga longa	0,49	saia até o joelho	0,14
botas	0,1	Acessórios		vestido manga curta	0,29
tênis / sapato	0,02	luva	0,08	vestido manga longa	0,32
		gorro / boné	0,01	vestido sem manga	0,23

Quadro 13 – Valores de clo para diferentes peças de roupas
Fonte: Adaptado de ISO 9920 (2007)

Na segunda parte do questionário aplicado constam cinco questões referentes às escalas de percepção, avaliação e preferências térmicas, de aceitação pessoal e de tolerância, conforme apresentado na seção 2.3.4 Para a obtenção das respostas subjetivas, foi aplicada a escala de intensidade definidas pela ISO 10551 (1995).

Para o cálculo da amostra foi utilizada a equação 17 (BARBETTA, 2006). Considerou-se 3.168.960 habitantes¹⁷ como a população da Região Metropolitana de Curitiba e o erro amostral de 5%. Desta forma, obteve-se um tamanho mínimo para a amostra de 400 habitantes.

$$n = [N^*(1/E^2)]/[N+(1/E^2)] \quad (17)$$

onde:

n = tamanho da amostra;

N = tamanho da população e;

E = erro amostral.

¹⁷ IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados do Censo 2010**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censo2010> > Acesso em 11 fev. 2011.

A seguir estão apresentados os dados climáticos monitorados e os dados pessoais coletados durante os levantamentos de campo.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E DOS DADOS CLIMÁTICOS

A análise descritiva dos dados pessoais e dos dados climáticos foi realizada levando em consideração todos os levantamentos de campo em conjunto, sem a distinção por ponto ou por estação. Os dados obtidos nos levantamentos de campo foram tabulados e as análises descritivas e os histogramas foram gerados no programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), versão 13.0, 2004.

Descrição dos dados pessoais

As entrevistas foram realizadas simultaneamente às medições climáticas em cada um dos pontos. No total foram obtidos 2024 questionários, sendo considerados 1685 válidos. Somente foram considerados como válidos os respondentes que declararam residir em Curitiba ou em sua Região Metropolitana por pelo menos 6 meses; que declararam estar há pelo menos 15 minutos ao ar livre; que não responderam o mesmo valor (positivo ou negativo) na escala de percepção e de preferência térmica, por exemplo, sentindo calor (+2) e preferindo sentir mais calor (+2) e os questionários que estavam completamente e corretamente preenchidos.

A amostra pode ser caracterizada por gênero, idade, altura, peso e vestimenta (clo). Em relação aos dados pessoais, tem-se uma amostra bem diversificada, abrangendo várias faixas etárias, características físicas e diferentes condições de isolamento térmico dado pela vestimenta (clo), conforme dados da análise descritiva, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise descritiva dos dados pessoais

	Idade	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso (IMC)	clo
N	1.685	1.685	1.685	1.685	1.685
Média	37,96	168,94	71,08	24,84	0,74
Mediana	35,0	170,0	70,00	24,4	0,7
Desvio padrão	17,39	9,12	14,40	4,31	0,34
Variância	302,26	83,15	207,49	18,59	0,11
Coef. Variação (%)	45,80	5,40	20,27	17,36	45,62
Mínimo	13	130	40	15,9	0,2
Máximo	91	202	180	55,6	2,6

Fonte: Autoria própria

Onde: N = número de respondentes

Obteve-se um total de 967 respostas masculinas (57%) e 718 respostas femininas (43%). O Gráfico 1A mostra o histograma da frequência absoluta relativa ao gênero e à idade dos respondentes. Os dados da idade (Gráfico 1B) estão apresentados em quatro grupos com intervalo de vinte em vinte anos, assim definidos: até 25 anos, de 25 a 44 anos, de 45 a 64 anos e acima de 65 anos. A maior quantidade de respondentes foi de adultos, na faixa de 25 a 64 anos, conforme classificação da Organização Mundial da Saúde: Adolescente: de 15 a 19 anos; Jovem: de 20 a 24 anos; Adulto: de 25 a 64 anos e Idoso: acima de 65 anos (WORLD HEALTH ORGANISATION, 1995).

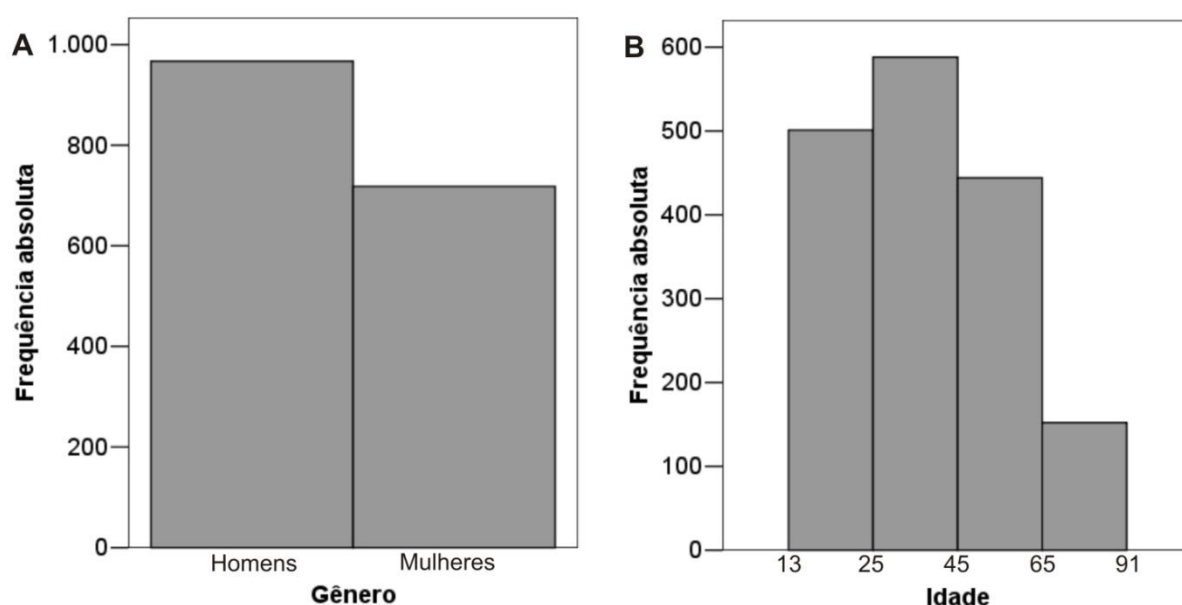


Gráfico 1 – Distribuição da frequência absoluta do gênero (A) e da idade (B)
Fonte: Autoria própria

Os histogramas de altura e do índice de massa corpórea (IMC) estão apresentados no Gráfico 2A. Os dados de altura (Gráfico 2B) estão apresentados em seis grupos: até 150 cm, de 150 a 159 cm, de 160 a 169 cm, de 170 a 179 cm, de 180 a 189 cm e acima de 190 cm. O índice de massa corpórea foi classificado de acordo com a classificação da Organização Mundial de Saúde (WORLD HEALTH ORGANISATION, 1995): magro (até 18,4 kg/m²), saudável (18,5 a 24,9 kg/m²), sobrepeso (de 25 a 29,9 kg/m²) e obeso (acima de 30 kg/m²). O IMC é calculado pela seguinte fórmula: $IMC = \text{peso} / \text{altura}^2$, o peso é dado em quilograma (kg) e a altura em metro (m).

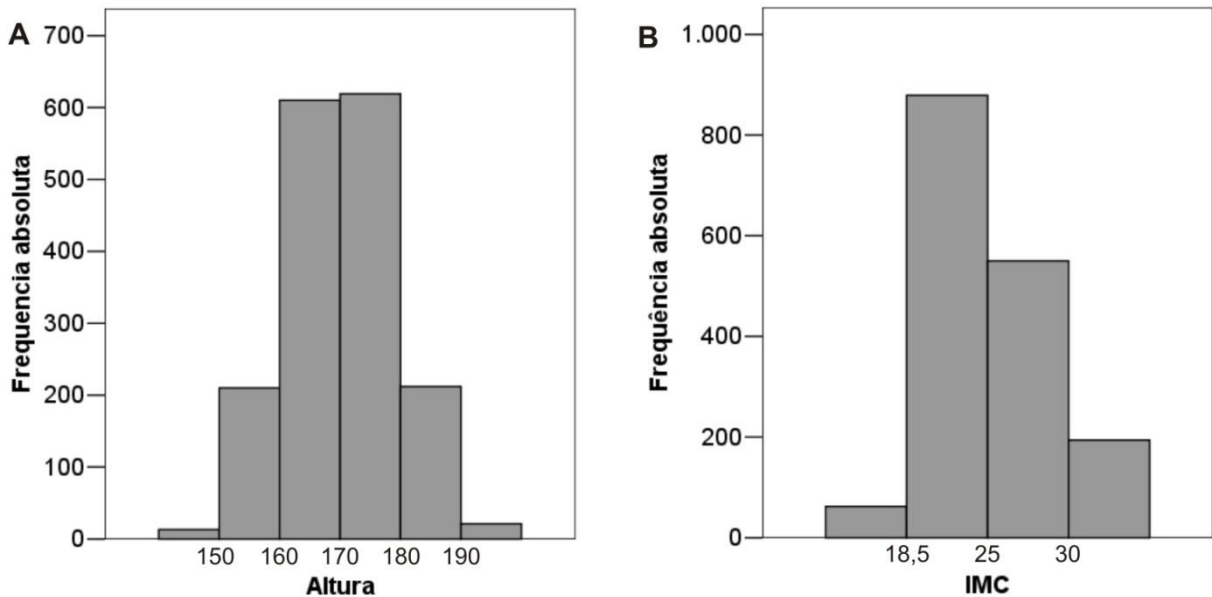


Gráfico 2 – Distribuição da frequência absoluta da altura (A) e do índice de massa corpórea (B)
 Fonte: Autoria própria

Em relação ao isolamento térmico da roupa (clo) os dados foram divididos em dois grupos, isolamento térmico de verão, com valores médios de clo de 0,5 e isolamento térmico de inverno, com valores médios de clo de 1,0 (ISO 7730, 2005), conforme apresentado no Gráfico 3.

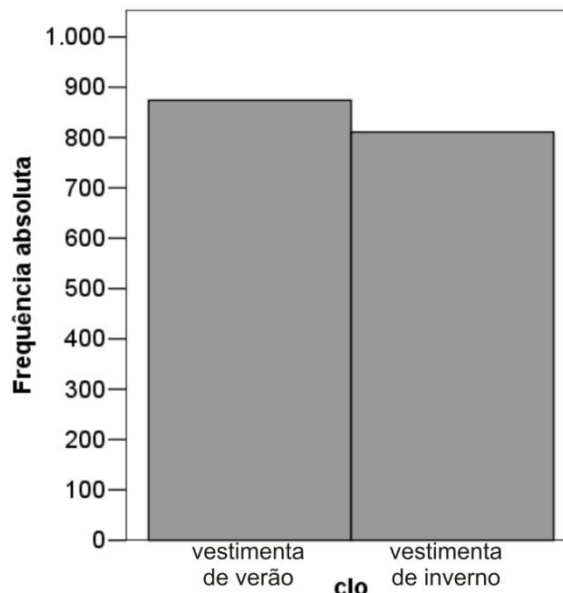


Gráfico 3 – Distribuição da frequência absoluta do isolamento térmico da roupa
 Fonte: Autoria própria

Descrição das variáveis climáticas

O monitoramento das variáveis climáticas foi realizado em 15 dias (Quadro 11), no período de janeiro a agosto, tendo sido monitoradas duas localidades por

dia, durante cinco horas consecutivas (10h00 as 15h00), perfazendo um total de mais de 8100 minutos de dados climáticos. Em cada ponto de monitoramento foram registrados dados de: temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do ar (V_a), radiação solar (RS) e temperatura de globo (T_g). A temperatura radiante média foi calculada utilizando a equação 7 apresentada na seção 2.3.2. Os dados de velocidade do ar apresentados são relativos à altura de 110 cm, conforme explicado na seção 0. A Tabela 6 mostra a análise descritiva das variáveis climáticas monitoradas. Ao analisar os valores mínimos e máximos de cada variável, observa-se que os monitoramentos abrangeram uma considerável variedade de condições climáticas.

Tabela 6 – Análise descritiva das variáveis climáticas

	V_a (m/s)	RS (W/m^2)	T_a ($^{\circ}C$)	UR (%)	T_g ($^{\circ}C$)	Trm ($^{\circ}C$)
N	8.128	8.128	8.128	8.128	8.128	8.128
Média	1,0	298	19,4	57	21,9	30,1
Mediana	0,9	133,6	18,8	57	20,9	26,3
Desvio padrão	0,5	309,0	5,4	13	6,6	13,5
Variância	0,3	95.451,4	29,4	172,3	43,0	182,0
Coef. Variação (%)	0,5	1,0	0,3	0,2	0,3	0,5
Mínimo	0,0	0,6	6,4	23	7,6	8,6
Máximo	3,5	1.249	32,6	93	38,0	74,7

Fonte: Autoria própria

Onde: N = número de respondentes

Os gráficos a seguir mostram os histogramas de frequências absolutas das variáveis climáticas monitoradas em campo. A temperatura do ar (Gráfico 4A) foi agrupada de $5^{\circ}C$ em $5^{\circ}C$. Durante o período monitorado houve predominância de temperaturas entre $10^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$. Os valores de umidade relativa (Gráfico 4B) foram agrupados a cada 20%. No período monitorado foi registrada maior quantidade de dados de umidade relativa entre 30 e 60%.

Os dados de velocidade do ar (Gráfico 5A) foram agrupados de acordo com a escala Beaufort¹⁸, que classifica a intensidade do vento em 12 categorias, de 0 a 12, são elas: 0 (calmaria): até 0,2 m/s; 1 (bafagem): de 0,3 a 1,5 m/s; 2 (aragem): de 1,6 a 3,3 m/s; 3 (vento fraco): de 3,4 a 5,4 m/s; 4 (vento moderado): de 5,5 a 7,9 m/s; 5 (vento fresco): de 8 a 10,7 m/s; 6 (vento muito fresco): de 10,8 a 13,8 m/s; 7 (vento forte): de 13,9 a 17,1 m/s; 8 (vento muito forte): de 17,2 a 20,7 m/s; 9 (vento duro): de 20,8 a 24,4 m/s; 10 (vento muito duro): de 24,5 a 28,4 m/s; 11 (tempestuoso): de 28,5 a 32,6 m/s e 12 (furacão): acima de 32,7 m/s.

¹⁸ Disponível em inglês em: <<http://www.metoffice.gov.uk/weather/marine/guide/beaufortscale.html>>
Disponível em português em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/refer/escala_beaufort.htm>

A radiação solar (Gráfico 5B) está apresentada em intervalos de 300 W/m², sendo considerado que valores abaixo de 300 W/m² configuram situação sombreada e valores acima de 300 W/m² configuram situação com incidência de radiação solar. Durante o período monitorado houve prevalência de períodos sombreados. A radiação solar registrada corresponde à radiação solar global (direta, difusa e refletida pelo entorno) no plano horizontal.

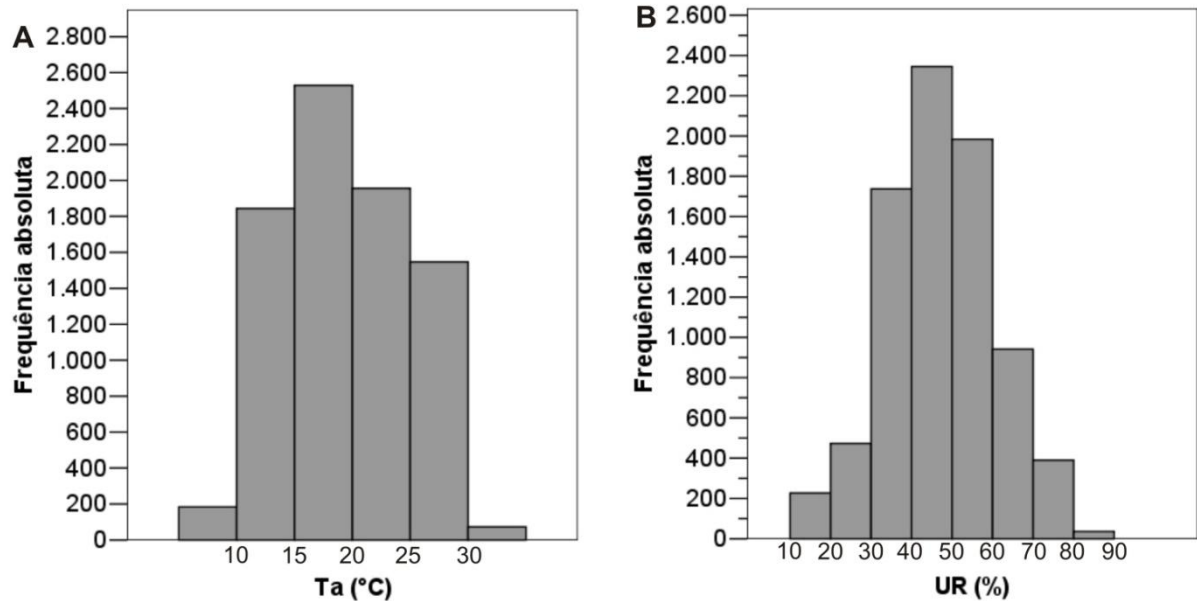


Gráfico 4 – Distribuição da frequência absoluta da temperatura do ar (A) e da umidade relativa (B)

Fonte: Autoria própria

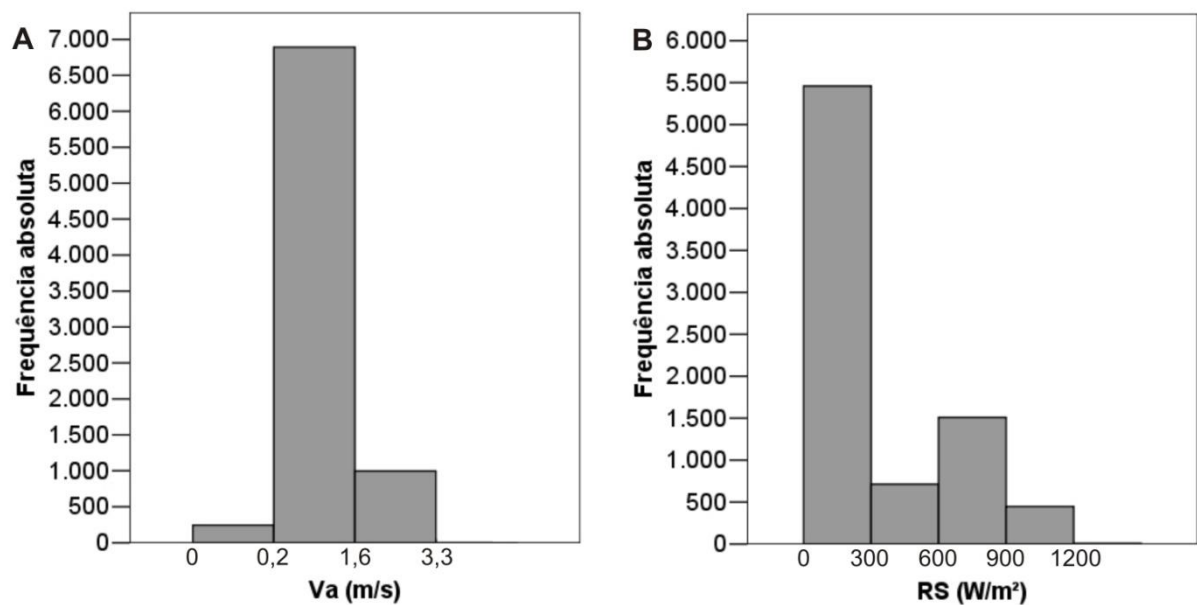


Gráfico 5 – Distribuição da frequência absoluta da velocidade do ar (A) e da radiação solar (B)

Fonte: Autoria própria

Para definir os horários nos quais os pontos recebiam sol ou estavam na sombra, foram utilizadas as fotos olho de peixe de cada ponto e a carta solar¹⁹ de cada dia de medição, foi delimitado o período de insolação e de sombreamento e quantificada a quantidade de radiação solar recebida em cada um desses períodos.

Como exemplo, tem-se a Figura 9, referente aos pontos 2 e 7 monitorados no dia 09.01.2009. A partir da sobreposição da foto e da carta solar, verifica-se que no ponto 2, no período entre as 6h00 e as 9h15 e entre as 16h00 e as 18h00 o ponto estava na sombra e que no período entre as 9h15 e 16h00 o ponto recebeu sol. O ponto 7, recebeu insolação no período entre 8h00 e 16h00, estando sombreado antes das 8h00 e após as 16h00.

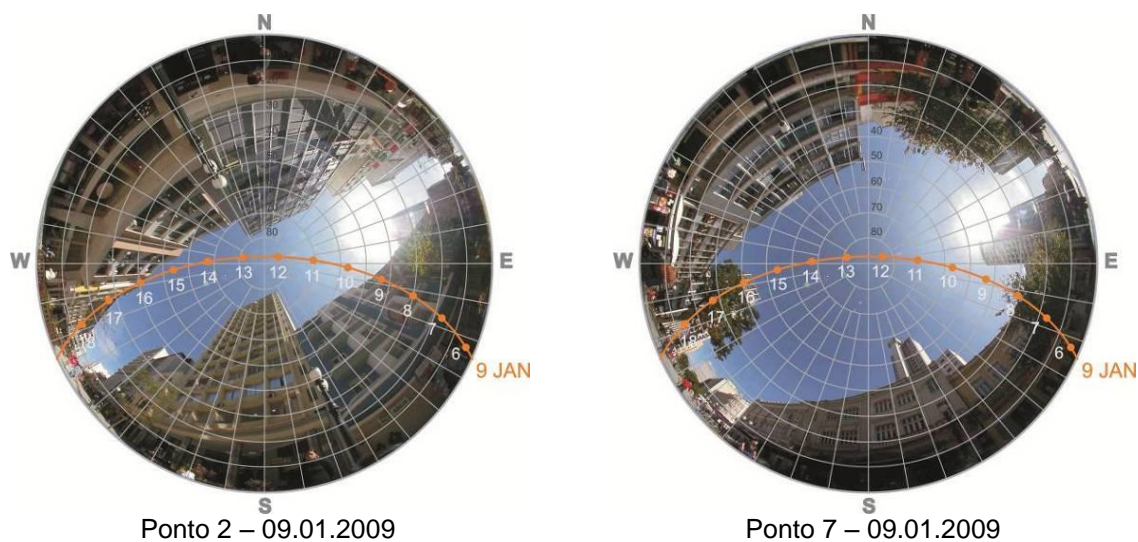


Figura 9 – Fotos olho de peixe e das cartas solares dos pontos 2 e 7
Fonte: Minella (2009)

Este procedimento foi realizado para todos os dias e pontos monitorados, resultando nos dados apresentados no Quadro 14.

Os dados de radiação solar, para cada dia, foram separados em função dos horários de insolação e sombreamento, e foram traçados gráficos de linhas para verificar a intensidade de radiação solar em cada período (Gráfico 6 e Gráfico 7). O Gráfico 6 mostra que a intensidade da radiação solar no período de sombra está concentrada em valores de até 300 W/m². Portanto, todos os minutos com valores acima de 300 W/m² foram considerados no sol, e os minutos com valores abaixo de 300 W/m², na sombra.

¹⁹ A carta solar é a “representação gráfica das trajetórias aparentes do Sol, projetadas no plano do horizonte do observador, para cada latitude específica.” (FROTA; SCHIFFER, 1995)

Dia	Ponto	Sombra	Sol
09.01.2009	Ponto 2		9:15 as 16:00
	Ponto 7		8:00 as 16:00
19.03.2009	Ponto 10	9:30 as 11:30 16:00 as 18:00	7:30 as 9:30 11:30 as 16:30
	Ponto 3		8:30 as 15:30
25.03.2009	Ponto 10	10:15 as 15:0 15:30 as 16:00	8:00 as 10:15 15:00 as 15:30 16:00 as 17:15
	Ponto 3	15:00 as 16:00	9:00 as 15:00
01.04.2009	Ponto 13	7:00 as 9:00 12:00 as 17:00	9:00 as 12:00
	Ponto 2	11:00 as 18:00	8:45 as 11:00
08.04.2009	Ponto 4		8:15 as 14:30
	Ponto 9	10:00 as 11:00 13:15 as 18:00	7:30 as 10:00 11:00 as 13:15
06.05.2009	Ponto 4	8:00 as 10:30 16:30 as 17:00	10:30 as 16:30
	Ponto 14	8:00 as 9:00 14:30 as 17:00	9:00 as 14:30
03.06.2009	Ponto 4	9:00 as 10:00 11:00 as 12:00	8:00 as 9:00 10:00 as 11:00 12:00 as 14:30
	Ponto 14	15:30 as 17:00	9:30 as 15:30
05.06.2009	Ponto 10	7:00 as 17:00	
	Ponto 5	7:00 as 17:00	
09.06.2009	Ponto 17	7:00 as 13:30 14:30 as 17:30	13:30 as 14:30
	Ponto 18	7:00 as 11:00 12:30 as 14:30 15:30 as 17:00	11:00 as 12:30 14:30 as 15:30
17.06.2009	Ponto 6	7:00 as 17:00	
	Ponto 2	7:00 as 17:00	
19.06.2009	Ponto 3	7:00 as 17:00	
	Ponto 7	7:00 as 11:00 12:30 as 17:00	11:00 as 12:30
13.07.2009	Ponto 8	7:00 as 10:00 12:00 as 13:00 13:30 as 17:00	10:00 as 12:00 13:00 as 13:30
	Ponto 16	7:00 as 12:00 16:00 as 17:00	12:00 as 16:00
11.08.2009	Ponto 11	16:00 as 17:00	9:00 as 16:00
	Ponto 14	14:30 as 17:00	7:45 as 14:30
12.08.2009	Ponto 11	16:00 as 17:00	9:00 as 16:00
	Ponto 6	7:00 as 12:00 13:00 as 14:30	12:00 as 13:00 14:30 as 17:00

Quadro 14 – Resumo dos horários de insolação e sombreamento nos locais monitorados
Fonte: Autoria própria

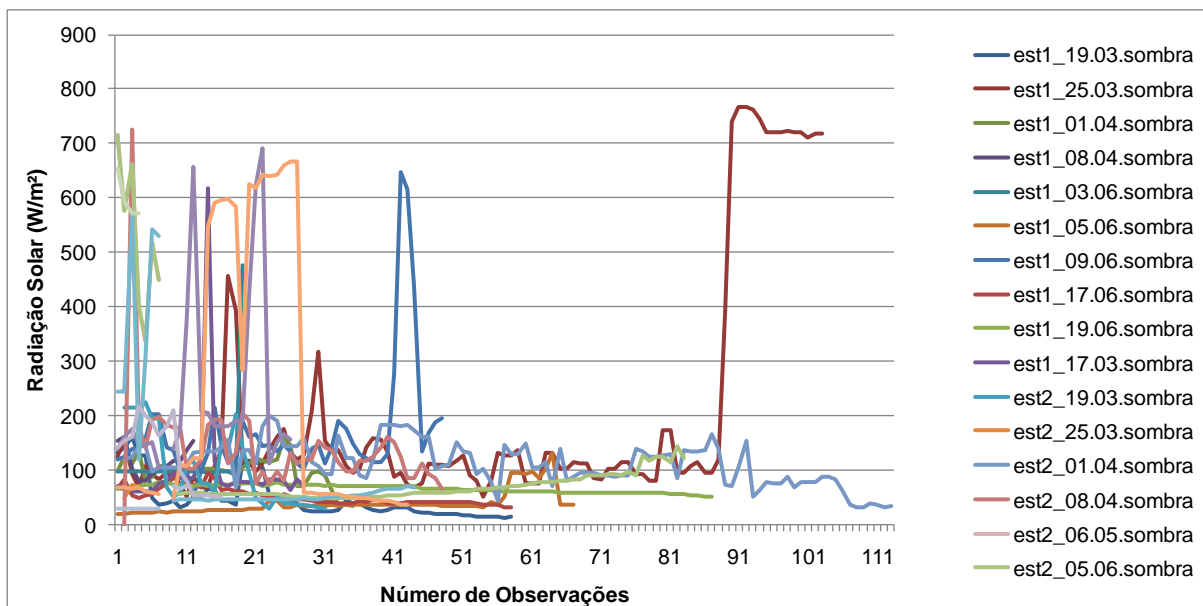


Gráfico 6 – Radiação solar incidente nos pontos monitorados no período de sombreamento
Fonte: Autoria própria

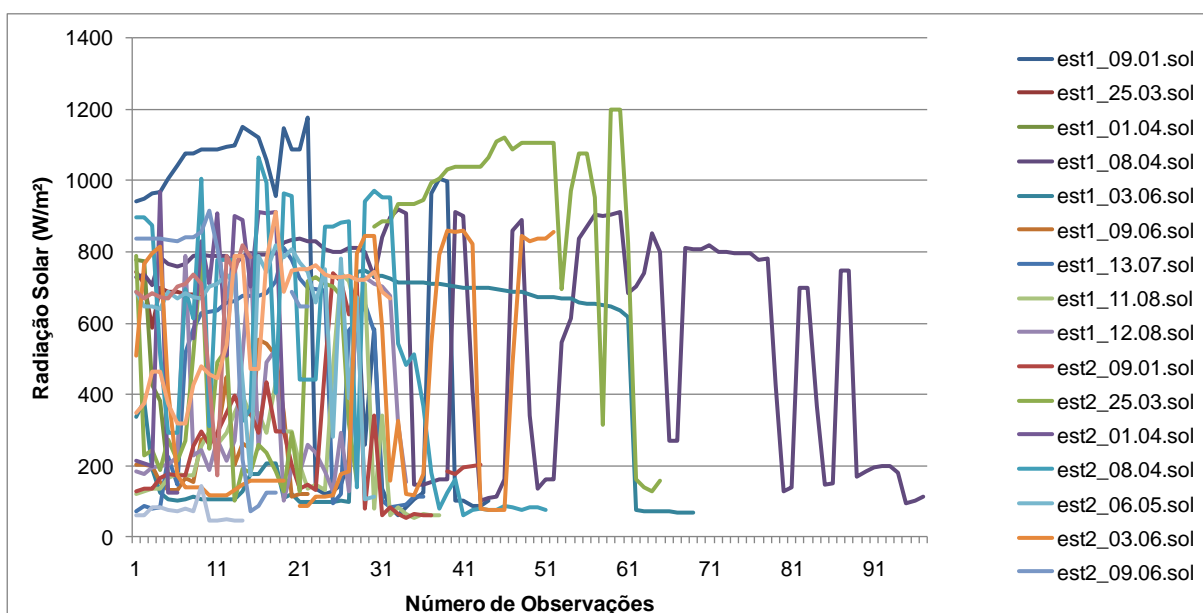


Gráfico 7 – Radiação solar incidente nos pontos monitorados no período de insolação
Fonte: Autoria própria

Descrição das respostas subjetivas reais

Em relação às respostas subjetivas individuais referentes às escalas de sensação, avaliação e preferências térmicas, de aceitação pessoal e de tolerância, obtiveram-se os seguintes dados.

Para a percepção térmica foi utilizada a escala de sete graus de intensidade, variando de -3 a +3 (muito frio a muito calor). Observando o Gráfico 8A, nota-se que a maior parte dos entrevistados (690 pessoas ou 41%) está na faixa de conforto. Há 396 pessoas (23,5%) com algum grau de desconforto para o frio, e 599 pessoas

(35,5%) com algum grau de desconforto para o calor. Ressalta-se que poucas pessoas responderam estar em situações de moderado e extremo estresse térmico para o frio ou para o calor (votos -3, -2, 2 e 3).

Para a preferência térmica (Gráfico 8B) foi utilizada a escala de sete graus de intensidade, variando de -3 a +3 (muito mais frio a muito mais calor). A maior parte dos respondentes (743 pessoas ou 44%) prefere continuar no mesmo ambiente térmico. Enquanto que, 509 pessoas (30%) responderam preferir estar em um ambiente mais frio e 433 pessoas (26%) preferiram estar em um ambiente mais quente.

Ao analisar o Gráfico 8A e o Gráfico 8B percebe-se a relação entre as respostas de sensação térmica e as de preferência térmica. O total de respondentes que estavam confortáveis e os que não mudariam as condições climáticas são próximos, 41% e 44%, respectivamente. Considerando os respondentes que estavam com desconforto para o calor (35,5%), nota-se que há uma relação próxima com a quantidade de pessoas que prefeririam estar sentindo um pouco mais de frio (30%). O mesmo ocorre com as pessoas em desconforto para o frio (23,5%) e as pessoas que gostariam de estar em um ambiente térmico mais quente (26%).

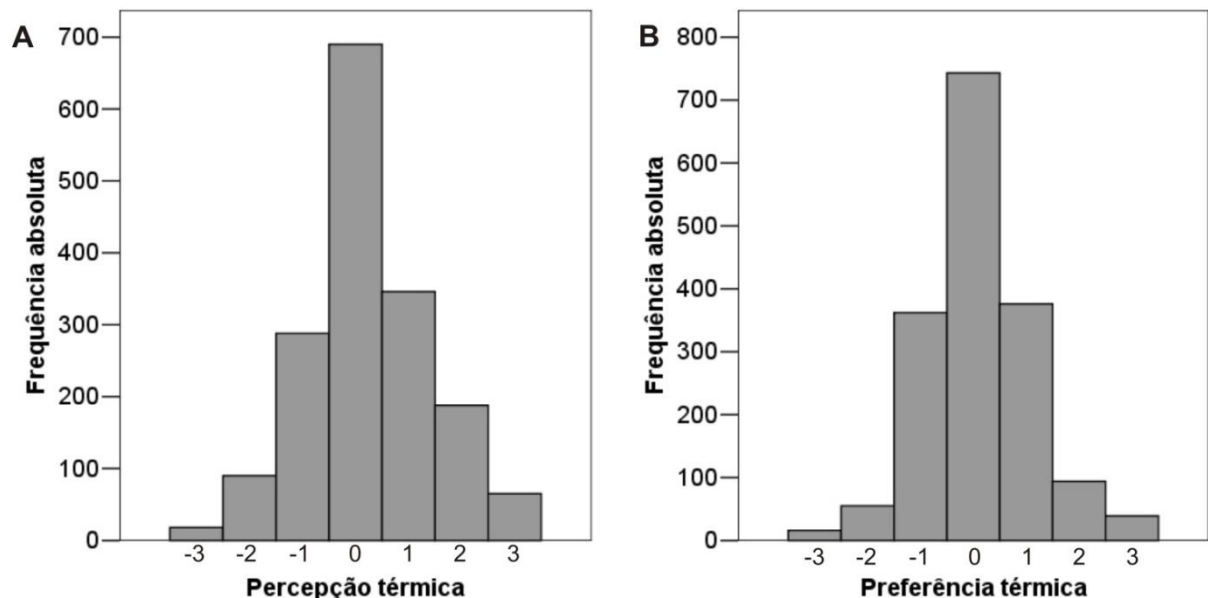


Gráfico 8 – Distribuição da frequência absoluta das respostas de percepção térmica (A) e de preferência térmica (B)

Fonte: Autoria própria

Para a avaliação térmica foi utilizada a escala de quatro graus de intensidade, variando de 0 a 3 (confortável a muito desconfortável). A maioria (1117 pessoas ou 66%) respondeu estar confortável, e 568 pessoas (34%) avaliaram o

ambiente como desconfortável (Gráfico 9A). A aceitação pessoal foi avaliada por uma escala binária. A maior parte (1237 pessoas ou 73%) respondeu que aceitava o ambiente térmico no qual estava, e 448 pessoas (27%) o rejeitaram (Gráfico 9B).

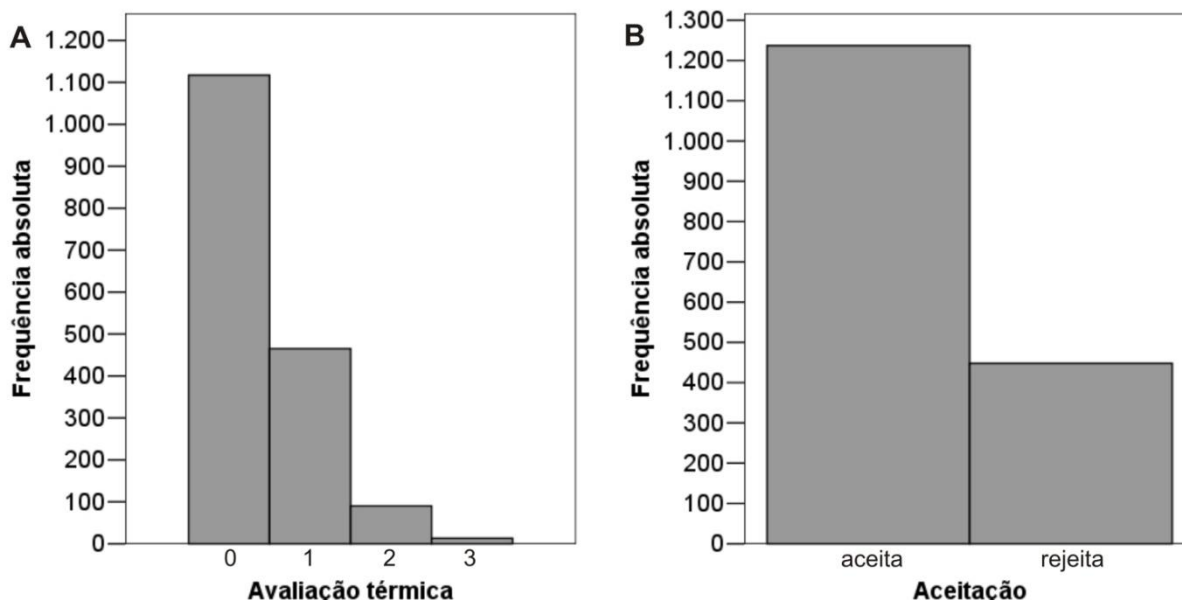


Gráfico 9 – Distribuição da frequência absoluta relativa das respostas de avaliação térmica (A) e de aceitação térmica (B)

Fonte: Autoria própria

A análise do Gráfico 9A e do Gráfico 9B mostra consistência nas respostas obtidas. Do total de entrevistados, 66% estavam confortáveis e 73% responderam que aceitavam as condições climáticas do momento, enquanto, 34% estavam com algum grau de desconforto e 27% rejeitavam o ambiente climático no qual estavam.

A escala de quatro graus de intensidade foi utilizada para a avaliação da tolerância ao ambiente térmico. Esta escala varia de 0 a 4 (perfeitamente tolerável a intolerável). O Gráfico 10 mostra que a maioria dos respondentes avaliou o ambiente como perfeitamente e facilmente tolerável (1561 pessoas ou 93%).

De maneira geral, a pergunta para a avaliação da tolerância do ambiente foi a que apresentou maior dificuldade em ser entendida por parte dos respondentes. Apesar da maior parte das pessoas considerarem o ambiente tolerável, o que corrobora as respostas de avaliação e aceitação, não é possível afirmar com certeza se estas respostas demonstram, de fato, a tolerância da amostra entrevistada.

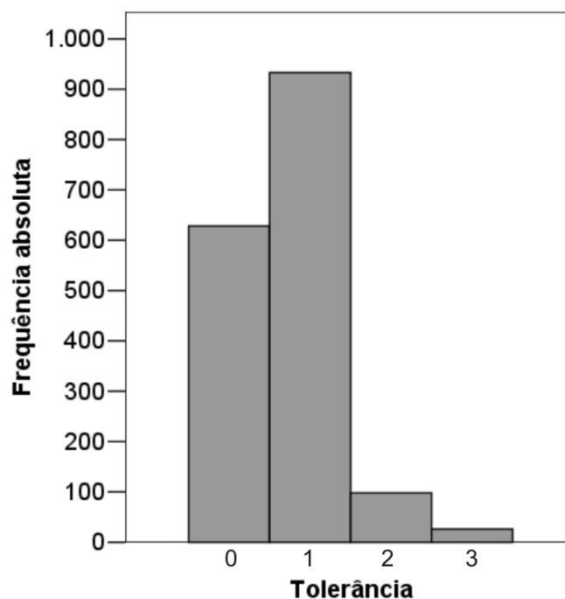


Gráfico 10 – Distribuição da frequência absoluta das respostas de tolerância
Fonte: Autoria própria

Definição das faixas de estresse térmico real

Considerando que a avaliação do conforto térmico está relacionada a fatores fisiológicos e psicológicos e que as condições ambientais requeridas para o conforto térmico não são as mesmas para todos, é possível que uma pessoa que esteja sentindo algum grau de calor ou de frio declare estar confortável e aceite o ambiente térmico em questão. Da mesma forma, é possível que uma pessoa que declare estar em conforto, preferir estar em um ambiente termicamente diferente.

Desta forma, para definir as faixas de estresse térmico com base nas respostas obtidas por questionário, foi considerada a associação dos votos de percepção e preferência. As respostas foram agrupadas em três categorias de estresse térmico: (1) desconforto para o frio; (2) conforto e (3) desconforto para o calor, obtendo-se a seguinte classificação:

- Grupo 1: desconforto para o frio (percepção < 0 associado à preferência > 0);
- Grupo 2: conforto (percepção = 0 e preferência = 0);
- Grupo 3: desconforto para o calor (percepção > 0 associado à preferência < 0).

A Tabela 7 mostra as frequências absolutas e relativas (em itálico) observadas do cruzamento das respostas de percepção e de preferência térmicas. A coluna central (em cinza escuro) mostra o número de pessoas que responderam

estar em conforto. Observa-se que 23,8% declararam não preferir mudanças no ambiente térmico, enquanto aproximadamente 4,5% responderam preferir uma condição mais fria e aproximadamente 12,6%, preferir uma condição mais quente. A linha central (em cinza escuro) mostra a porcentagem de pessoas que mesmo sentindo algum grau de frio (5,9%) ou algum grau de calor (14,4%) preferiam continuar no mesmo tipo de ambiente térmico. A porção superior direita da tabela (em cinza claro) mostra a quantidade de pessoas que estavam sentindo calor e preferiam estar em um ambiente mais frio (21,2%) e a porção inferior esquerda (em cinza claro) mostra a porcentagem de pessoas que gostariam de estar em um ambiente térmico mais quente (17,6%). Ao considerar o cruzamento das respostas de percepção térmica e de preferência térmica, a coluna e a linha central (em cinza escuro) correspondem aos votos de conforto, ao somar as frequências absolutas e relativas, o resultado mostra 1032 indivíduos, ou 61,2%, das pessoas em conforto. A parte inferior esquerda da tabela representa os votos de desconforto para o frio. A soma destas frequências mostra que há 296 indivíduos, ou 17,6% das pessoas, em desconforto para o frio (17,6%), e a parte superior direita da tabela representa o desconforto para o calor. A soma das frequências mostra 357 (21,2%) pessoas em desconforto para o calor.

Tabela 7 – Frequências e porcentagens observadas das respostas reais de percepção e de preferência térmicas

Preferência térmica	Percepção térmica							Frequência Porcentagem
	-3 muito frio	-2 frio	-1 leve frio	0 conforto	1 leve calor	2 calor	3 muito calor	
muito mais frio: -3	0 0,00	0 0,00	0 0,00	3 0,18	6 0,36	4 0,24	3 0,18	16 0,95
mais frio: -2	0 0,00	0 0,00	0 0,00	9 0,53	16 0,95	22 1,31	8 0,47	55 3,26
pouco mais frio: -1	0 0,00	0 0,00	0 0,00	64 3,80	148 8,78	104 6,17	46 2,73	362 21,48
sem mudanças: 0	1 0,06	22 1,31	77 4,57	401 23,80	176 10,45	58 3,44	8 0,47	743 44,09
pouco mais calor: 1	8 0,47	40 2,37	163 9,67	165 9,79	0 0,00	0 0,00	0 0,00	376 22,31
mais calor: 2	4 0,24	22 1,31	34 2,02	34 2,02	0 0,00	0 0,00	0 0,00	94 5,58
muito mais calor: 3	5 0,30	6 0,36	14 0,83	14 0,83	0 0,00	0 0,00	0 0,00	39 2,31
Total	18 1,07	90 5,34	288 17,09	690 40,95	346 20,53	188 11,16	65 3,86	1.685 100,00

Fonte: Autoria própria

A Tabela 8 mostra o resumo da quantidade de pessoas por categoria de estresse térmico para a sensação térmica real.

Tabela 8 – Frequência e porcentagem de pessoas por categorias de estresse térmico

Sensação Térmica	Frequência
Desconforto para o frio (1)	296 (17,6%)
Conforto (2)	1032 (61,2%)
Desconforto para o calor (3)	357 (21,2%)
Total	1685

Fonte: Autoria própria

A partir da classificação de sensação térmica definida nesta seção, realizaram-se análises referentes à relação entre os parâmetros urbanos e a sensação térmica, compararam-se os dados de sensação térmica real com os dados preditos pelos índices PMV, PET e UTCI, e foi desenvolvido um modelo de predição da sensação térmica para Curitiba. Na próxima seção são apresentados os procedimentos para análise entre parâmetros urbanos e sensação térmica.

3.4 PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A ANÁLISE DE PARÂMETROS URBANOS E SUA RELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E A SENSACÃO TÉRMICA LOCAL

A análise dos parâmetros urbanos e sua relação com a sensação térmica local teve como objetivo verificar a influência do desenho urbano na sensação térmica local. Analisaram-se os pares de pontos monitorados a cada dia, com o objetivo de identificar as diferenças climáticas e sua relação com o desenho urbano.

Foram utilizados os dados climáticos correspondentes a todo o período de monitoramento em cada levantamento de campo. Para cada medição tem-se cinco horas (300 minutos) de dados climáticos.

A análise estatística utilizada para a comparação dos dados climáticos foi o teste estatístico t de Student, para o nível de significância 5% ($\alpha=0,05$, ou valor $p=0,05$). Após a identificação das diferenças entre as variáveis climáticas e da sensação térmica nos pontos, foi realizada a análise da trajetória solar de cada dia monitorado por meio da carta solar e de fotos olho de peixe de cada um dos pontos analisados. As fotos olho de peixe com a carta solar foram desenvolvidas por Minella (2009). Ao analisar a trajetória solar do dia monitorado sobreposta à foto olho de

peixe é possível relacionar as características da geometria urbana que influenciam a radiação solar incidente, e em consequência, a temperatura radiante média.

Analisaram-se 13 dias de monitoramento: 09.01.2009, 19.03.2009, 25.03.2009, 01.04.2009, 08.04.2009, 03.06.2009, 05.06.2009, 09.06.2009, 17.06.2009, 19.06.2009, 13.07.2009, 11.08.2009 e 12.08.2009. O dia 06.05.2009, não foi analisado devido à falta de registros relativos à velocidade do ar em um dos pontos (ponto 4), o que impediu a comparação entre os pontos monitorados neste dia.

As variáveis climáticas: temperatura do ar (T_a), velocidade do ar (V_a), umidade relativa (UR), radiação solar (RS) e temperatura radiante média (T_{rm}) e as respostas de sensação térmica foram comparadas com o objetivo de identificar diferenças significativas entre os pontos analisados. Para cada dia foram levantadas as características urbanas (se os pontos monitorados estavam em cânions largos ou estreitos, em praças ou em cruzamentos) e, em função delas, as diferenças microclimáticas esperadas (as hipóteses sobre a influência do desenho urbano no conforto térmico utilizadas nesta análise estão descritas na seção 2.2). Utilizou-se a carta solar do dia de monitoramento para verificar a influência da geometria urbana em cada ponto analisado. As trajetórias solares, para cada dia de monitoramento, foram traçadas individualmente com o auxílio do programa *RayMan* 2.0 (disponível em: <http://www.mif.unifreiburg.de/RayMan>).

Para a caracterização dos parâmetros urbanos foram utilizadas informações sobre o fator de visão do céu (FVC) e da relação H/W obtidas por Minella (2009). Foram considerados cânions largos os pontos com razão H/W < 1,5. No Quadro 15 são apresentados os pontos monitorados em cada dia e suas características urbanas. Nota-se que os monitoramentos foram realizados nas seguintes situações: cânion estreito/cânion largo, cânion largo/cânion largo, cânion estreito/cânion estreito, cruzamento/prança, prança/prança e cruzamento/cânion largo.

A partir dos dados coletados em campo, foram organizadas planilhas com o mesmo número de minutos para cada ponto monitorado. No total, há 300 minutos de dados climáticos para cada ponto. Levando em conta as características urbanas dos pontos (Quadro 15), e segundo as hipóteses apontadas na seção 2.2, espera-se que, em pares com a mesma classificação (cânion largo/cânion largo, cânion estreito/cânion estreito, cruzamento/prança, prança/prança), não fossem observadas diferenças significativas para as variáveis climáticas. E que, em pares com

classificação diferente (cânion estreito/cânion largo e cruzamento/cânion largo), fossem observadas diferenças significativas. As frequências relativas das respostas de sensação térmica foram comparadas a fim de verificar em qual situação urbana houve maior número de respostas de conforto. A seguir estão os resultados das análises dos atributos urbanos e a sensação térmica.

Monitoramento	Ponto	Características urbanas		
		H/W	FVC	Classificação
09.01.2009	2	1,7	0,2	cânion estreito
	7	0,8	0,39	cânion largo
19.03.2009	3	1,1	0,32	cânion largo
	10	1,1	0,3	cânion largo
25.03.2009	3	1,1	0,32	cânion largo
	10	1,1	0,3	cânion largo
01.04.2009	2	1,7	0,2	cânion estreito
	13	2,3	0,21	cânion estreito
08.04.2009	4	-	0,34	cruzamento
	9	1,1	0,29	cânion largo
06.05.2009(*)	4	-	0,34	cruzamento
	14	-	0,55	praça
03.06.2009	4	-	0,34	cruzamento
	14	-	0,55	praça
05.06.2009	5	1,6	0,22	cânion estreito
	10	1,1	0,3	cânion largo
09.06.2009	17	1,6	0,21	cânion estreito
	18	1,1	0,3	cânion largo
17.06.2009	2	1,7	0,2	cânion estreito
	6	1,3	0,26	cânion largo
19.06.2009	3	1,1	0,32	cânion largo
	7	0,8	0,39	cânion largo
13.07.2009	8	-	0,37	cruzamento
	16	-	0,38	praça
11.08.2009	11	-	0,2	praça
	14	-	0,55	praça
12.08.2009	6	1,3	0,27	cânion largo
	11	-	0,2	praça

Quadro 15 – Pontos monitoramentos no mesmo dia e suas características urbanas

Fonte: Autoria própria

(*): no dia 06.05.2009 a estação 1, localizada no ponto 4, não registrou os dados de direção e velocidade do ar. Desta forma, os dados deste ponto não foram utilizados para a análise dos parâmetros urbanos e sua relação com a sensação térmica.

3.4.1 Análise dos Atributos Urbanos e sua Relação com as Variáveis Climáticas e a Sensação Térmica

Na Tabela 9 estão os dados médios, o valor p e as características urbanas para cada variável climática dos pares de pontos que apresentam geometria urbana semelhante. Para os pontos monitorados nos dias 19.03.2009, 25.03.2009,

01.04.2009, 19.06.2009 e 11.08.2009 não se espera encontrar diferenças significativas entre as variáveis climáticas. Entretanto, apesar da similaridade da geometria urbana dos pares de pontos 3 e 10, 2 e 13, 3 e 7, 11 e 14, foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para a maioria das variáveis analisadas.

Tabela 9 – Valores médios e valor p das variáveis climáticas dos pares de pontos com características urbanas semelhantes

Dia	Pontos	Características urbanas	Ta (°C)	UR (%)	Va (m/s)	RS (W/m ²)	Trm (°C)
19.03.2009	3	cânion largo	20,1	81,7	1,0	74	23,6
	10	cânion largo	20,0	86,8	1,3	53	23,6
	valor p		0,04	0,00	0,00	0,00	0,92
25.03.2009	3	cânion largo	24,2	54,4	1,0	539,7	46,5
	10	cânion largo	24,0	55,9	1,4	190,7	30,4
	valor p		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
01.04.2009	2	cânion estreito	25,4	57,3	0,8	140,5	38,6
	13	cânion estreito	27,7	52,8	0,9	213,1	29,1
	valor p		0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
19.06.2009	3	cânion largo	17,1	63,9	0,6	64,8	19,1
	7	cânion largo	17,0	63,8	0,6	193,8	23,0
	valor p		0,29	0,75	0,92	0,00	0,00
11.08.2009	11	praça	13,7	69,5	0,9	249,7	23,1
	14	praça	15,1	63,9	0,9	550,5	33,0
	valor p		0,00	0,00	0,53	0,00	0,00

Fonte: Autoria própria

Onde: Ta = temperatura do ar, UR = umidade relativa, Va = velocidade do ar, RS = radiação solar e Trm = temperatura radiante média

A Figura 10 mostra a carta solar sobre a foto olho de peixe dos pontos 3 e 10, monitorados no dia 25.03.2009. Em relação à radiação solar, o ponto 3 recebe mais horas de sol (das 9h00 às 15h00), enquanto o ponto 10, devido às altas edificações localizadas na orientação Norte, é sombreado das 11h00 às 15h00. Apesar da razão H/W ser igual para os dois pontos e o FVC apresentar pequena diferença, a obstrução existente na face norte do cânion no ponto 10 contribui para a diferença de radiação recebida nos pontos, e em consequência, para a diferença da temperatura radiante média. No ponto 3 registraram-se temperaturas do ar mais altas e valores de umidade relativa mais baixos que no ponto 10, o que pode ser explicado pelo sombreamento no ponto 10.

Em relação às respostas de sensação térmica, no dia 25.03.2009, nos pontos 3 e 10, 63,8% das pessoas estão em conforto e 36,2% das pessoas em desconforto para o calor no ponto 3, enquanto no ponto 10, 80,6% das pessoas estavam em conforto, 16,7% em desconforto para o calor e 2,8% em desconforto para o frio. No ponto 10 foram registrados valores mais baixos de temperatura do ar,

radiação solar e temperatura radiante média (Tabela 9) e maior quantidade de pessoas em conforto. A pequena percentagem de pessoas em desconforto para o frio no ponto 10 pode ser explicada pela maior velocidade do vento associada a menores valores de temperatura do ar registrados neste ponto.

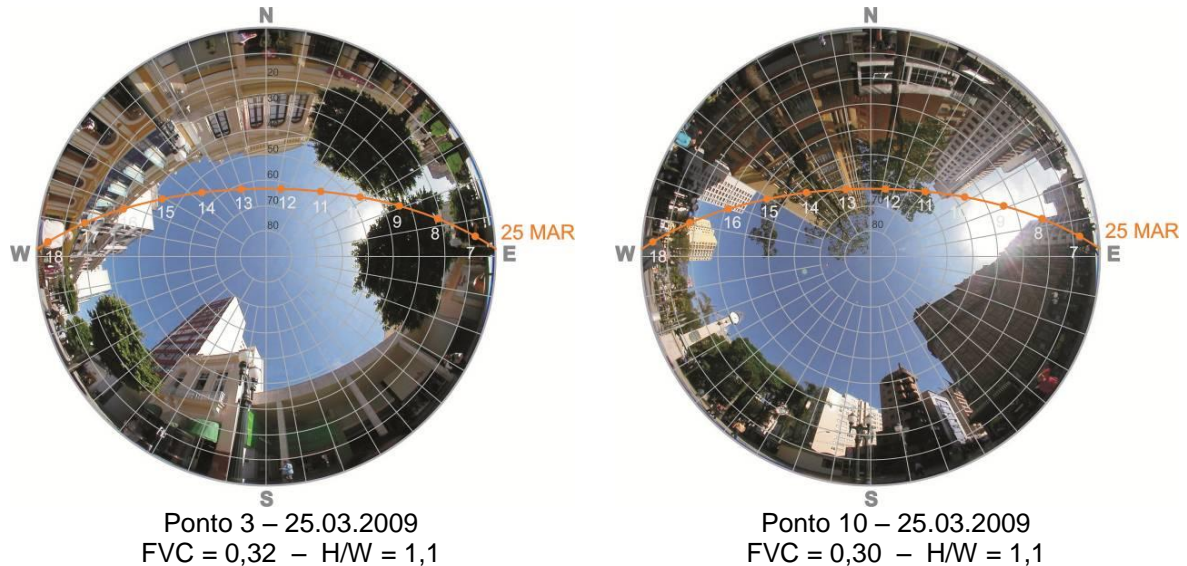


Figura 10 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 3 e 10
Fonte: Minella (2009)

Na Figura 11 estão as fotos olho de peixe com a carta solar dos pontos 2 e 13 monitorados no dia 01.04.2009. O ponto 13 recebe aproximadamente uma hora (das 11h00 às 12h00) a mais de incidência de radiação solar que o ponto 2, explicando assim a diferença observada em relação a esta variável. Apesar da razão H/W ser maior no ponto 13, a altura das edificações na face norte do ponto 2 é responsável pelo maior sombreamento neste ponto, o que pode ter influenciado a temperatura do ar e na umidade relativa verificadas. Foram registrados valores mais baixos de velocidade do ar no ponto 2, sugerindo que o perfil mais alto das edificações no ponto 2 pode auxiliar na redução da velocidade do ar.

Comparando as respostas de sensação térmica entre os pontos 2 e 13 verifica-se que há mais pessoas em conforto (72,5%) no ponto 13 do que no ponto 2 (57,3%). Apesar de no ponto 13 terem sido registrados valores mais altos de radiação solar e temperatura do ar, o desconforto para o calor (27,5%) pode ter sido minimizado pela maior velocidade do ar. O maior desconforto para o calor observado no ponto 2 (42%) pode estar relacionado com os valores de temperatura radiante média registrados neste ponto.

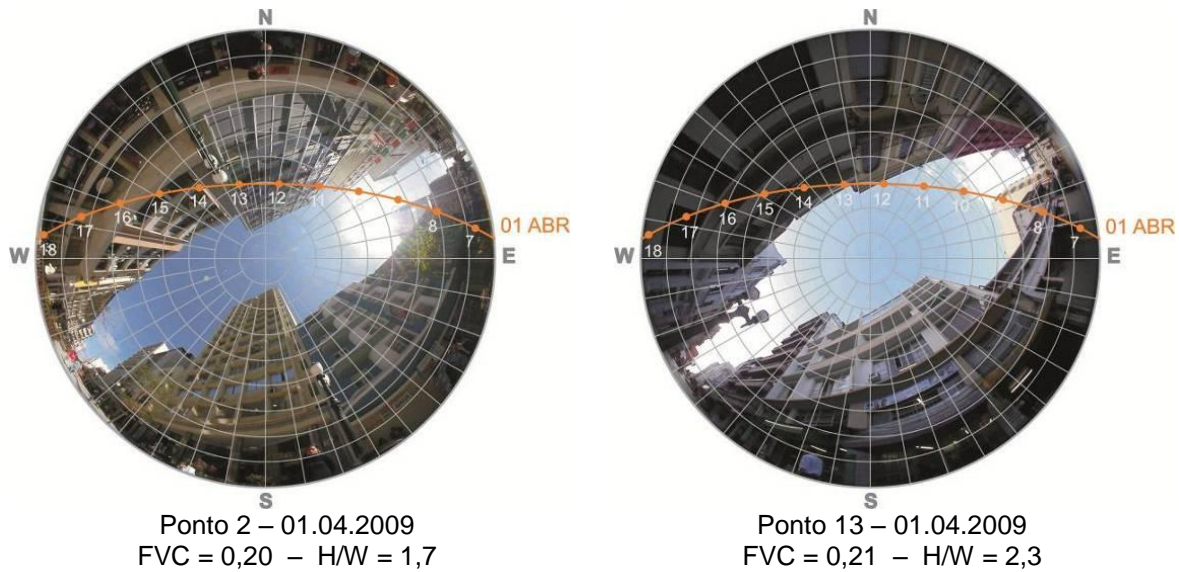


Figura 11 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 2 e 13
Fonte: Minella (2009)

Nos pontos 3 e 7 foram observadas diferenças significativas somente na radiação solar e na temperatura radiante média. Novamente a quantidade de horas de incidência solar pode ajudar a explicar as diferenças encontradas. A Figura 12 apresenta a foto olho de peixe e a trajetória solar do dia 19.06.2009 nos pontos 3 e 7. Observa-se que o ponto 3 é sombreado pelas obstruções do entorno, e que o ponto 7 recebe aproximadamente 1 hora e meia (entre 11h00 e 12h30) a mais de insolação. Nota-se que, apesar dos dois pontos serem classificados como cânions largos ($H/W < 1,5$), a obstrução (vegetação) existente na face norte do cânion do ponto 3 contribui para a diferença de radiação recebida nos pontos.

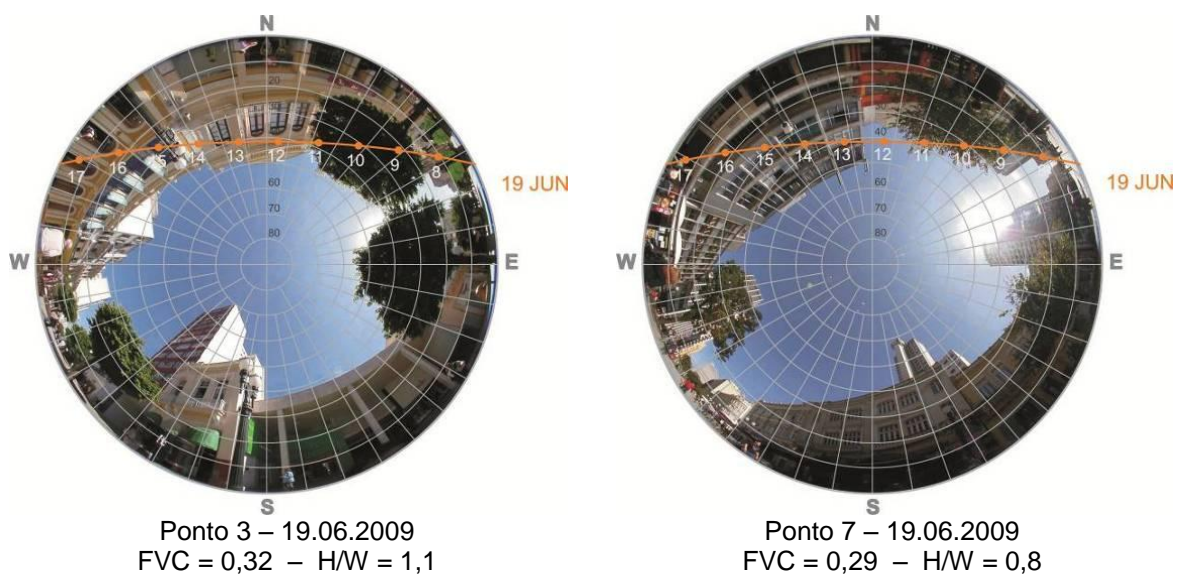


Figura 12 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 3 e 7
Fonte: Minella (2009)

A maior quantidade de pessoas em desconforto para o calor no ponto 7 (16,3%) em comparação com o ponto 3 (9,2%) pode estar relacionada com a maior quantidade de radiação solar e temperatura radiante média registradas neste ponto. Não há grande diferença entre a quantidade de pessoas em conforto nos pontos 3 (75,9%) e 7 (72,1%), nem em relação a quantidade de pessoas em desconforto para o frio, 14,9% no ponto 3 e 11,6% no ponto 7.

Para os pontos 11 e 14 foram observadas diferenças significativas para todas as variáveis climáticas, com exceção da velocidade do ar. Observa-se na Figura 13 que o ponto 14 é livre de obstruções, enquanto o ponto 11 é sombreado pelas árvores existentes na praça, recebendo menos radiação solar. Quanto à umidade relativa, no ponto 11 foram registrados valores mais altos de que no ponto 14, o que pode ser explicado pela presença de vegetação e da fonte d'água.

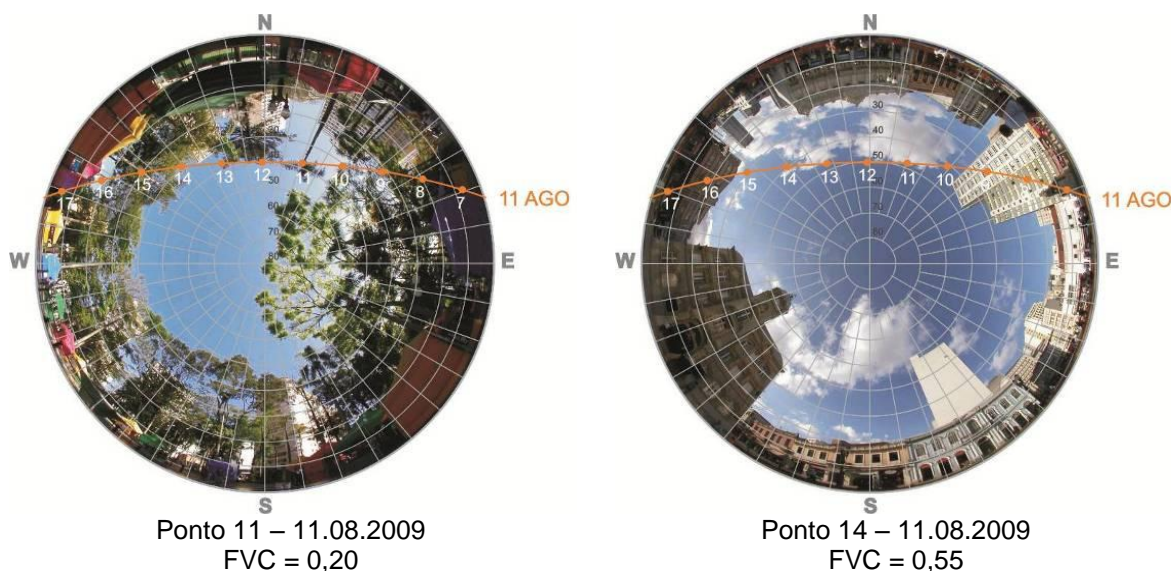


Figura 13 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 11 e 14
Fonte: Minella (2009)

No ponto 11, 31,6% de pessoas responderam estar em desconforto para o frio, versus 11,4% de pessoas no ponto 14. Esta diferença pode ser explicada pelos valores mais baixos de radiação solar e temperatura do ar e pelos valores mais altos de velocidade do vento e umidade relativa, observados no ponto 11. Apesar do ponto 14 ter recebido quase o dobro da quantidade de radiação solar que o ponto 11, há mais pessoas em conforto (77,1%) naquele ponto do que neste (63,2%). O fato de o monitoramento ter sido realizado no inverno pode explicar a maior quantidade de pessoas em conforto no ponto com maior incidência solar.

As diferenças observadas em relação à radiação solar têm forte relação com a latitude, com a hora do dia (posição do sol) e com o dia do ano (altura solar). É

possível observar nas cartas solares apresentadas que, se o monitoramento dos pontos 2 e 13 (Figura 11) tivesse ocorrido no inverno, o comportamento da radiação solar teria sido diferente, e que as diferenças observadas nestes pontos possivelmente não teriam sido significativas. O mesmo é verdade para os pontos 3 e 7 (Figura 12) ao considerar uma medição no verão. Para os pontos 11 e 14 (Figura 13), fica claro que a presença de vegetação tem um papel importante no sombreamento e na redução da temperatura do ar e, como consequência, na sensação térmica.

Nos pontos analisados observou-se que as obstruções existentes na face norte dos cânions contribuíram para as diferenças de incidência de radiação solar registradas, indicando que somente a análise do FVC ou da razão H/W não é suficiente para entender as diferenças microclimáticas entre os pontos, sendo necessária uma análise complementar da orientação das vias e edificações e do perfil vertical dos cânions.

Na Tabela 10 estão os dados médios, o valor p e as características urbanas para cada variável climática dos pares de pontos que apresentam diferentes geometrias urbanas, considerando FVC e a razão H/W. Para estes pares de pontos esperava-se encontrar diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as médias das variáveis climáticas. Com exceção dos pares de pontos monitorados nos dias 03.06.2009 e 05.06.2009, para pelo menos uma das variáveis climáticas analisadas, os valores observados não apresentam diferenças significativas, como por exemplo a radiação solar ($p=0,23$) e a temperatura radiante média ($p=0,11$) entre os pontos 2 e 7, a velocidade do ar entre os pontos 4 e 9 ($p=0,63$) e 8 e 16 ($p=0,31$) e a umidade relativa entre os pontos 8 e 16 ($p=0,07$) e 6 e 11 ($p=0,57$).

Tabela 10 – Valores médios e valor p das variáveis climáticas dos pares de pontos com características urbanas diferentes

(continua)

Dia	Pontos	Características urbanas	Ta	UR	Va	RS	Trm
09.01.2009	2	cânion estreito	28,0	47	0,9	693	48,5
	7	cânion largo	28,7	45	0,8	733	49,8
	valor p		0,00	0,00	0,01	0,23	0,11
08.04.2009	4	cruzamento	25,9	55	1,0	530	48,8
	9	cânion largo	25,0	58	1,0	311	38,0
	valor p		0,00	0,00	0,63	0,00	0,00
03.06.2009	4	cruzamento	12,0	38	0,7	368	29,2
	14	praça	13,2	36	0,7	648	34,8
	valor p		0,00	0,01	0,01	0,00	0,00

Tabela 10 – Valores médios e valor p das variáveis climáticas dos pares de pontos com características urbanas diferentes

(conclusão)

Dia	Pontos	Características urbanas	Ta	UR	Va	RS	Trm
05.06.2009	5	cânion estreito	19,7	39	1,2	75	21,4
	10	cânion largo	19,0	41	0,9	41	18,2
	valor p		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09.06.2009	17	cânion estreito	21	50	0,7	198	27,8
	18	cânion largo	20,7	50	1,0	313	28,8
	valor p		0,04	0,89	0,00	0,00	0,04
17.06.2009	2	cânion estreito	13,4	61	1,0	54	15,4
	6	cânion largo	13,2	62	1,3	45	14,4
	valor p		0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
13.07.2009	8	cruzamento	15,4	61	0,8	299	29,4
	16	praça	15,9	60	0,8	494	27,5
	valor p		0,01	0,07	0,31	0,00	0,06
12.08.2009	6	cânion largo	15,2	68	1,4	101	19,4
	11	praça	15,9	67	0,9	324	28,7
	valor p		0,00	0,57	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autoria própria

Onde: Ta = temperatura do ar, UR = umidade relativa, Va = velocidade do ar, RS = radiação solar e Trm = temperatura radiante média.

Para os pontos 2 e 7, monitorados no dia 09.01.2009, a trajetória solar (Figura 14) mostra que os dois pontos receberam a mesma quantidade de horas de radiação solar, explicando os resultados observados em relação à radiação solar e à temperatura radiante média. As fotos olho de peixe mostram a diferença em relação à porção de céu visível entre os dois pontos, indicando que somente a análise dos indicadores FVC e H/W não é suficiente para verificar a relação entre a geometria urbana e o comportamento das variáveis climáticas. Ressalta-se que uma medição nestes mesmos pontos em outros períodos do ano poderia ter resultados diferentes, uma vez que as edificações na face norte do cânion sombreariam o ponto 2.

As respostas de sensação térmica obtidas no dia 09.01.2009 mostram que 61,4% das pessoas estão em desconforto para o calor no ponto 2 e 83,7%, no ponto 7. Apesar de não haver diferença significativa entre as médias da radiação solar e a temperatura radiante média nestes pontos, o desconforto para o calor pode estar associado aos valores mais altos de temperatura do ar e valores mais baixos de velocidade do ar e umidade relativa registrados no ponto 7.

A Figura 15 apresenta as fotos olho de peixe com a trajetória solar do dia 08.04.2009 nos pontos 4 e 9. Esperava-se observar valores mais altos de velocidade do ar no ponto 4, por ser um cruzamento e estar sob a influência de duas vias; entretanto, isso não ocorreu. O ponto 9 está localizado na porção mais larga da via

($H/W=0,8$), entre uma praça e um cruzamento, o que pode ter influenciado no comportamento do vento.

Foi observado maior desconforto para o calor no ponto 4 (56,9%), o qual apresentou valores mais altos de radiação solar, temperatura radiante média e temperatura do ar, se comparado com o ponto 9 (42,4% de pessoas em desconforto para o calor). Já no ponto 9, mais pessoas estavam em conforto (55,6%) que no ponto 4 (43,1%), indicando que a condição com baixa incidência solar e alta temperatura do ar, na época do ano monitorada, é considerada confortável.

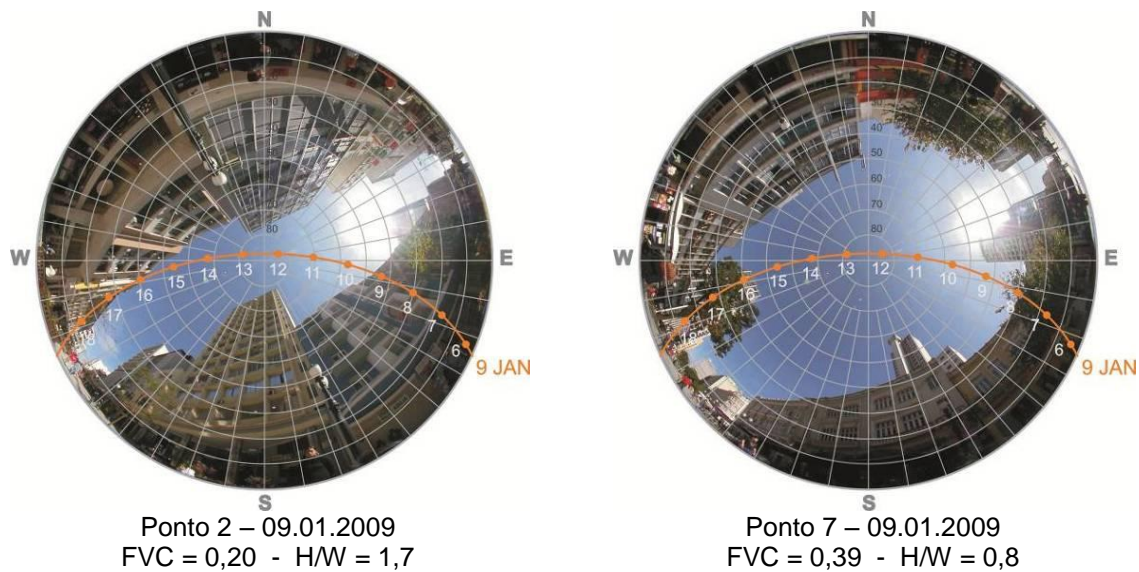


Figura 14 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 2 e 7
Fonte: Minella (2009)

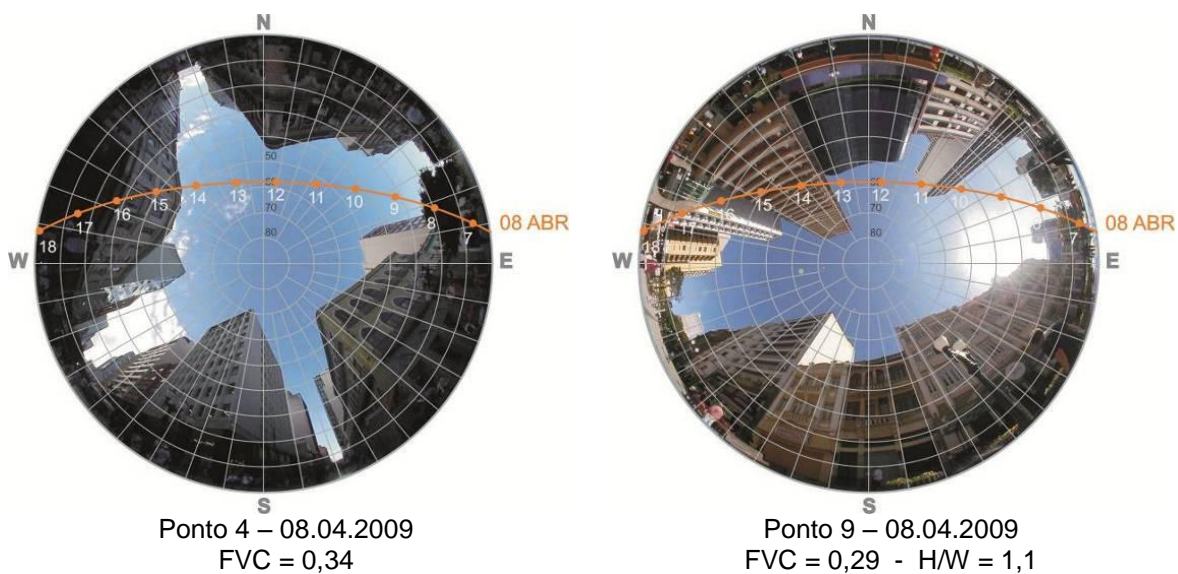


Figura 15 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 4 e 9
Fonte: Minella (2009)

Foram observadas diferenças significativas entre as médias das variáveis climáticas monitoradas nos dias 03.06.2009 (pontos 4 e 14) e 05.06.2009 (pontos 5

e 10). Em relação à sensação térmica, há mais pessoas em desconforto para o frio no ponto 4 (52%) do que no ponto 14 (42,3%). Naquele ponto foram registrados valores mais baixos de temperatura do ar associados à alta umidade relativa e à velocidade do ar. No ponto 14, apesar da média de temperatura do ar ser baixa, a quantidade de incidência solar recebida (Figura 16) pode ter ajudado a melhorar o nível de conforto, tendo sido registrados 57,7% de pessoas em conforto no ponto 14 versus 47%, no ponto 4.

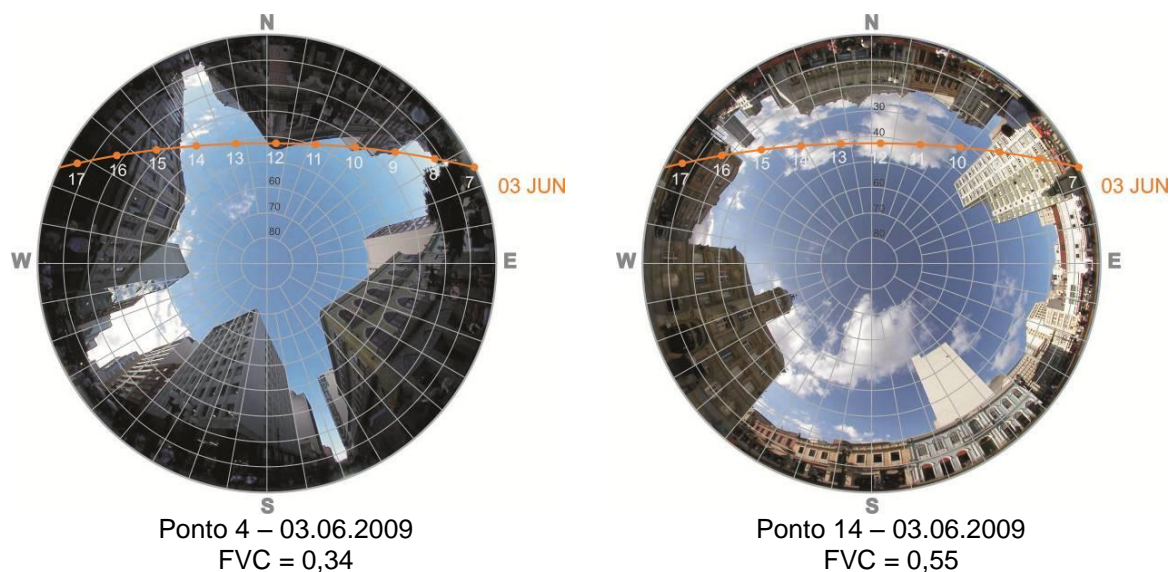


Figura 16 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 4 e 14
Fonte: Minella (2009)

O mesmo ocorre nos pontos 5 e 10 (Figura 17). Há maior desconforto para o frio no ponto 10 (19,4%), onde foram registrados valores mais baixos de temperatura do ar, de radiação solar e de temperatura radiante média do que no ponto 5 (9,9% de pessoas em conforto). 82,7% de pessoas responderam estar em situação de conforto no ponto 5, enquanto 71,6% estavam em conforto no ponto 10, fato que pode estar relacionado com a maior quantidade de radiação solar recebida pelo ponto 5.

No monitoramento do dia 13.07.2009 (Figura 18) não foram observadas diferenças significativas entre a velocidade do ar, a umidade relativa e a temperatura radiante média. O ponto 8 está localizado em um cruzamento, tendo sido registrados valores de velocidade do ar mais altos que no ponto 16. Foram registrados valores de temperatura do ar mais altos no ponto 16 e, em consequência, valores mais baixos de umidade relativa. Em relação à sensação térmica, há mais pessoas em conforto no ponto 16 (76,9%), local com maior incidência solar e valores mais altos de temperatura do ar, do que no ponto 8 (62,5%). No ponto 8 foram registrados

valores mais altos de umidade relativa e mais baixos de radiação solar, o que pode ter contribuído para aumentar o desconforto para o frio neste ponto (34,4%) em comparação com o ponto 16 (9,2%).

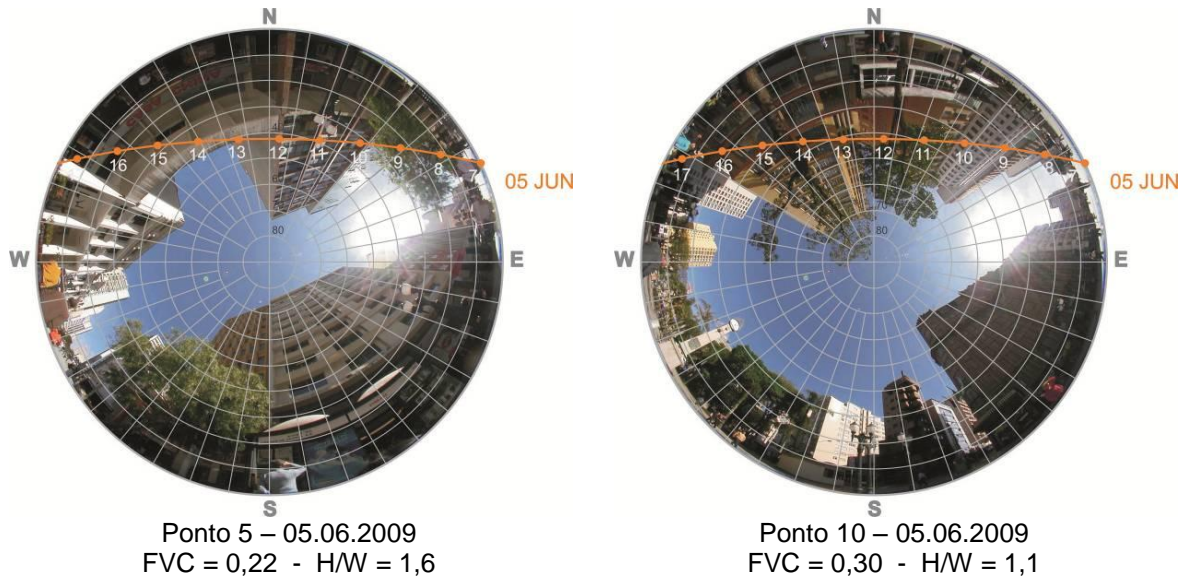


Figura 17 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 5 e 10
Fonte: Minella (2009)

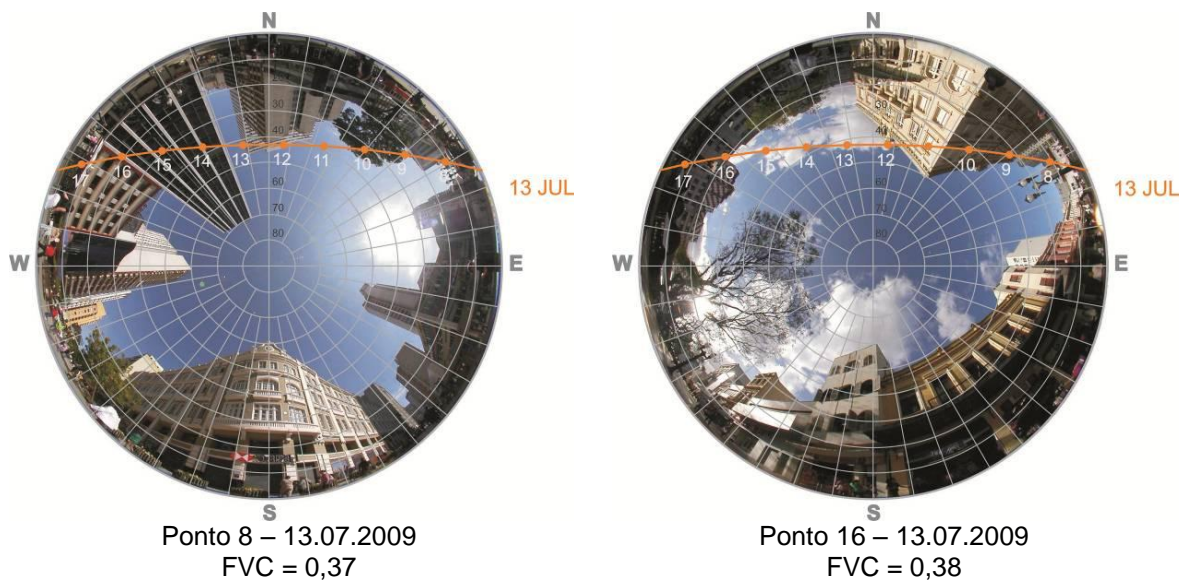


Figura 18 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 8 e 16
Fonte: Minella (2009)

Os pontos 6 e 11 (dia 12.08.2009 - Figura 19) estão localizados próximos a fontes de água (chafariz) o que explica os valores médios de umidade relativa serem significativamente semelhantes. 64,7% das pessoas responderam estar em conforto no ponto 11, enquanto 40% estavam em conforto no ponto 6, isso pode ser explicado pela maior quantidade de radiação solar incidente e pelos valores mais baixos de velocidade do ar no ponto 11.

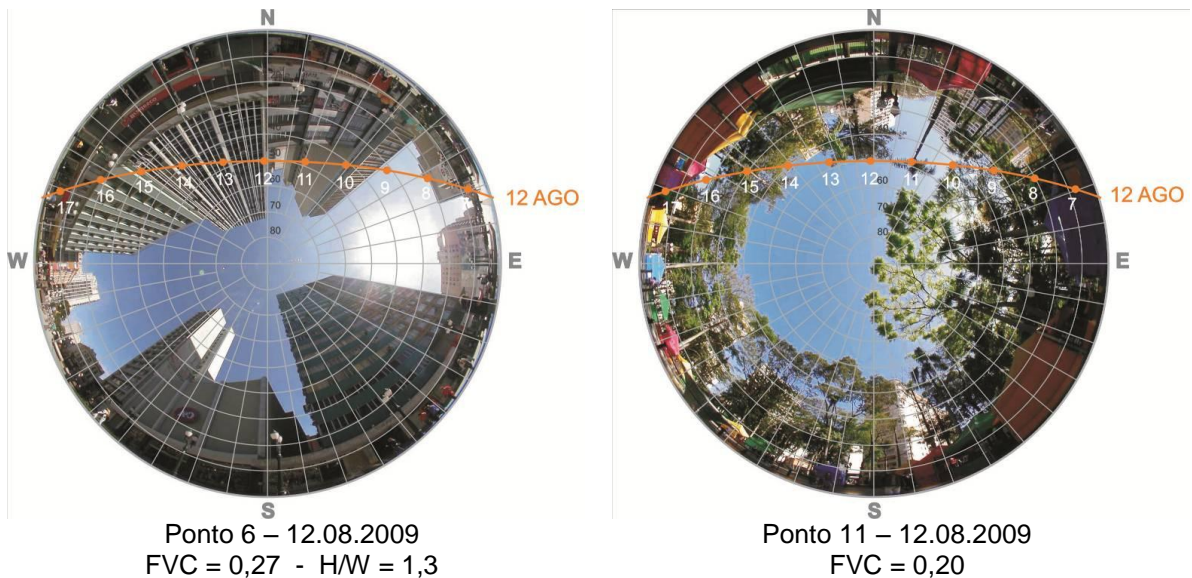


Figura 19 – Fotos olho de peixe e carta solar dos pares de pontos 6 e 11
Fonte: Minella (2009)

De modo geral, observou-se que as diferenças de radiação solar estão ligadas a questões relacionadas à orientação da via, localização e altura das obstruções e à época do ano. A velocidade do ar em áreas urbanas está relacionada à rugosidade e densidade da malha urbana, à altura, ao tamanho e à orientação das edificações, assim como à relação entre altura das edificações e largura da via (H/W). A área monitorada em Curitiba (Rua XV de Novembro) apresenta a mesma orientação em todas as quadras monitoradas, assim, todos os pontos nesta via estavam sujeitos à mesma influência do vento regional dominante nos dias do monitoramento. Entretanto, devido à complexa estrutura do vento na camada intraurbana, não foi possível chegar a conclusões definitivas quanto às diferenças entre os pontos monitorados. A umidade relativa do ar está diretamente relacionada à temperatura do ar e à presença de vegetação ou corpos de d'água.

A Tabela 11 apresenta as frequências relativas por categoria de sensação térmica para os pares de pontos monitorados. Comparando as análises apresentadas com base nos dados da Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11, observa-se que para o período mais quente (entre janeiro e maio de 2009) há maior desconforto para o calor em pontos com menor obstrução e maior incidência solar, como por exemplo, os pontos 7 e 4. No período mais frio (de junho a agosto) há desconforto para o frio em locais com menor incidência solar e valores mais altos de velocidade do ar e umidade relativa (pontos 6, 10 e 11). Alguns pontos foram monitorados em diferentes épocas ano, como por exemplo, os pontos 2 (09.01.2009 e 17.06.2009), 3 (25.03.2009 e 19.06.2009), 7 (09.01.2009 e 19.06.2009) e 10 (25.03.2009 e

05.06.2009). Ao comparar os dias mais quentes e mais frios observa-se que nos pontos 2, 3 e 7 há mais pessoas em conforto no dia mais frio, sugerindo a necessidade de redução da incidência solar e da temperatura do ar no período mais quente. No ponto 10 ocorreu o inverso: há maior quantidade de pessoas em conforto no dia mais quente.

Tabela 11 – Características urbanas e frequências relativas por categoria de conforto para os pares de pontos monitorados

Dia	Pontos	Características urbanas	FVC	desconforto frio (%)	conforto (%)	desconforto calor (%)
09.01.2009	2	cânion estreito	0,20	0,0	38,6	61,4
	7	cânion largo	0,39	0,0	16,3	83,7
19.03.2009	3	cânion largo	0,32	21,4	71,4	7,1
	10	cânion largo	0,30	26,8	67,9	5,4
25.03.2009	3	cânion largo	0,32	0,0	63,8	36,2
	10	cânion largo	0,30	2,8	80,6	16,7
01.04.2009	2	cânion estreito	0,20	0,8	57,3	42,0
	13	cânion estreito	0,21	0,0	72,5	27,5
08.04.2009	4	cruzamento	0,34	0,0	43,1	56,9
	9	cânion largo	0,29	2,0	55,6	42,4
03.06.2009	4	cruzamento	0,34	52,0	47,0	1,0
	14	praça	0,55	42,3	57,7	0,0
05.06.2009	5	cânion estreito	0,22	9,9	82,7	7,4
	10	cânion largo	0,30	19,4	71,6	9,0
09.06.2009	17	cânion estreito	0,21	10,0	57,1	32,9
	18	cânion largo	0,30	4,2	83,3	12,5
17.06.2009	2	cânion estreito	0,20	50,0	50,0	0,0
	6	cânion largo	0,26	55,2	44,8	0,0
19.06.2009	3	cânion largo	0,32	14,9	75,9	9,2
	7	cânion largo	0,39	11,6	72,1	16,3
13.07.2009	8	cruzamento	0,37	34,4	62,5	3,1
	16	praça	0,38	19,2	76,9	3,8
11.08.2009	11	praça	0,20	31,6	63,2	5,3
	14	praça	0,55	11,4	77,1	11,4
12.08.2009	6	cânion largo	0,27	60,0	40,0	0,0
	11	praça	0,20	32,4	64,7	2,9

Fonte: Autoria própria

Após a verificação das diferenças observadas em relação à sensação térmica nos diferentes pontos monitorados foram calculadas as respostas de sensação térmica pelos índices de conforto PMV, PET e UTCI, com o objetivo de verificar a aplicabilidade destes índices para a população de Curitiba. Na próxima seção estão apresentados os procedimentos para a obtenção dos índices de conforto PMV, PET e UTCI.

3.5 OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO PMV, PET E UTCI

O índice PMV foi calculado pelo programa *WinComf* (*Thermal Comfort Program*), versão *Batch 1.01*, desenvolvido por Fountain e Huizenga (1996). O *WinComf* calcula o PMV a partir de dados de temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, pressão atmosférica (considerou-se a altitude média de 917 metros), taxa metabólica e isolamento térmico da roupa (clo). O programa lê os dados de entrada e os salva em arquivos em formato “.csv”.

A norma ISO 7730 (2005), que dispõe sobre o cálculo e interpretação do índice PMV, apresenta o método de predição da sensação térmica para pessoas em ambientes internos. Este índice deve ser utilizado quando os seis principais parâmetros estiverem dentro das seguintes faixas: (1) T_a entre 10°C e 30°C; (2) T_{rm} entre 10°C e 40°C; (3) V_a entre 0 m/s e 1 m/s; (4) P_a entre 0 e 2700 Pa; (5) taxa metabólica entre 46 W/m² e 232 W/m² (0,8 met a 4 met) e (6) isolamento térmico da vestimenta entre 0 a 2 clo. Do total de 1685 questionários válidos, 711 satisfazem as condições estabelecidas pela norma. Assim, o PMV foi calculado para estes dois grupos de dados, 1685 questionários e 711 questionários.

O índice PET foi calculado no programa *RayMan* 2.0, desenvolvido por Andreas Matzarakis e de domínio público (<http://www.mif.unifreiburg.de/RayMan>). Este programa permite a inserção de dados iniciais (input) das variáveis climáticas: temperatura e umidade relativa do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar, e dados pessoais: gênero, idade, altura, peso, vestimenta (clo) e metabolismo. Estes dados podem ser inseridos manualmente um por um ou por meio de arquivos de texto separados por tabulação (“.txt”). Esta foi a opção escolhida devido ao grande número de dados obtidos. Os dados de saída (output) do programa são as variáveis climáticas e os valores calculados do índice.

Para o cálculo dos índices PMV e PET foi considerada taxa metabólica de 165 W/m² ou 2,8 Met, correspondente à caminhada em superfície plana sem carga a 4 km/h (Tabela 1). Para calcular o PET foram utilizados os dados pessoais (altura, peso e idade) referentes ao homem médio e à mulher média estabelecidos pela norma ISO 8996 (2004), conforme descrito na seção 2.3.1.

O índice UTCI foi calculado utilizando o programa *Bioklima* 2.6, desenvolvido por Michal Blazejczyk, sob a supervisão de Krzysztof Blazejczyk. O programa é de domínio público (<http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/home.htm>). Os dados de entrada devem ser salvos em arquivos texto separado por tabulação (".txt") ou arquivos de texto separado por vírgula (".csv") e devem estar identificados com as abreviaturas aceitas pelo programa. Os dados de entrada utilizados para cálculo do UTCI foram: velocidade do ar a 110 cm, velocidade do ar a 10 metros, radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante média, vapor de pressão, clo, gênero e metabolismo.

Na próxima seção estão descritos os procedimentos utilizados para a comparação das respostas reais de sensação térmica com as respostas previstas pelos índices PMV, PET e UTCI.

3.6 PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS DE SENSACÃO TÉRMICA VERSUS ÍNDICES DE CONFORTO E DOS DADOS REAIS VERSUS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

O objetivo da comparação entre os votos de sensação térmica real e os dados previstos pelos índices é verificar se os índices PMV, PET e UTCI são adequados para a realidade climática de Curitiba e para prever a sensação térmica de sua população.

As respostas reais, obtidas por questionário, foram agrupadas em três categorias de sensação térmica: (1) desconforto para o frio; (2) conforto e (3) desconforto para o calor, de acordo com a classificação apresentada na seção 3.3. As respostas previstas pelos índices foram agrupadas conforme as faixas de conforto definidas pelos índices (Quadros 9 e 10). O PMV foi classificado da seguinte forma: (1) desconforto para o frio ($PMV < -0,5$); (2) conforto ($-0,5 \geq PMV \geq 0,5$) e desconforto para o calor ($PMV > 0,5$). Classificação do PET: (1) desconforto para o frio ($PET < 18^{\circ}C$); (2) conforto ($18^{\circ}C \geq PET \geq 23^{\circ}C$) e (3) desconforto para o calor ($PET > 23^{\circ}C$). E o UTCI foi classificado em: (1) desconforto para o frio ($UTCI < 18^{\circ}C$); (2) conforto ($18^{\circ}C \geq UTCI \geq 26^{\circ}C$) e desconforto para o calor ($UTCI > 26^{\circ}C$).

Foram comparadas as frequências relativas dos votos de sensação térmica, reais e previstos pelos índices, em cada uma das três categorias. Também se

analisou a relação entre os votos reais e as faixas de estresse térmico definidas pelos índices PMV, PET e UTCI, por meio de gráficos de bolha.

Os gráficos de bolha foram traçados considerando a sensação térmica real no eixo y e as respostas previstas para cada um dos índices, no eixo x. Os tamanhos das bolhas representam uma terceira dimensão, correspondente ao número de pessoas. Quanto maior a bolha, maior a quantidade de pessoas e vice-versa. Analisou-se a quantidade de pessoas para cada categoria de estresse térmico definida pelos índices, verificando a faixa na qual está concentrada a maior parte das respostas das categorias de sensação térmica real (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor).

Para analisar as respostas de sensação térmica real e sua relação com as variáveis climáticas utilizaram-se gráficos de dispersão. Para cada uma das categorias de estresse térmico real (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor) foram traçados gráficos de dispersão das variáveis climáticas: temperatura do ar, efeito da radiação solar (diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar), umidade relativa e velocidade do ar. Foram analisadas as nuvens de pontos das três categorias de estresse térmico, e definidas as faixas de cada variável climática na qual está concentrada a maior parte das respostas reais de sensação térmica. A seguir estão apresentados os resultados da análise comparativa entre as respostas reais de sensação térmica e as previstas pelos índices.

3.6.1 Análise da Sensação Térmica Real Versus Índices de Conforto Calculados (PMV, PET E UTCI)

A Tabela 12 apresenta as frequências absolutas e relativas das três categorias de sensação térmica para os dados reais e previstos pelos índices. Considerando a sensação térmica real, tem-se um maior número de pessoas em conforto (61%) e uma distribuição equilibrada entre pessoas com desconforto para o frio (18%) e para o calor (21%). Os três índices subestimam a quantidade de pessoas em conforto. Os resultados do PMV, considerando os dados que satisfazem as condições da norma (711 questionários) e os dados totais (1685 questionários)

são semelhantes, porém, para a situação mais restrita (de acordo com a norma) há mais pessoas em conforto. Para as duas situações, o índice superestima a quantidade de pessoas em desconforto para o calor.

Os índices PET e UTCI distribuem de forma mais homogênea as pessoas em cada categoria de estresse térmico, porém, subestimam a quantidade de pessoas em conforto. Dos três índices, o UTCI é o que apresenta melhores resultados, sendo o índice com menores diferenças entre as respostas reais e as previstas para as três categorias. Entretanto, nenhum dos índices analisados apresentou respostas semelhantes às respostas reais. Uma explicação pode ser o fato dos índices considerarem somente aspectos fisiológicos e climáticos, enquanto as respostas reais podem ser influenciadas por aspectos emocionais, psicológicos, socioculturais e adaptativos, o que sugere que os índices de conforto térmico não devem ser utilizados em diferentes zonas culturais e climáticas sem considerar os aspectos psicológicos envolvidos na avaliação ambiental (KNEZ, THORSSON, 2006).

Tabela 12 – Frequência relativa por categoria de sensação térmica

	Sensação térmica	PMV 711	PMV	PET	UTCI
	%	%	%	%	%
Desconforto para o frio (1)	17,6	1,5	2,2	40,7	27,3
Conforto (2)	61,2	19,4	18,9	22,2	42,6
Desconforto para o calor (3)	21,2	79,0	78,9	37,2	30,1
Total	100	100	100	100	100

Fonte: Autoria própria

Onde: N = número de respondentes

O Gráfico 11 apresenta a distribuição das três categorias de sensação térmica real e das respostas previstas pelo índice PMV. Analisado cada uma das faixas de estresse térmico definidas pelo índice, nota-se que há sobreposição das respostas reais nas três faixas. As respostas reais de desconforto para o frio estão entre os valores PMV de -1,5 a 3, os votos de conforto entre -2 a 3,5, e as respostas de desconforto para o calor entre -1 e 3,5. A maioria das respostas de desconforto para o frio (84%) está entre valores PMV de -0,5 a 1,5. Para o conforto, 93% dos votos estão em valores acima de 0,5 e, para o desconforto para calor, a maior parte das respostas (82%) está acima de 2. As três categorias se sobrepõem entre os valores PMV de -1 a 3, com 99% do total de pessoas em desconforto para o frio, 89% do total de pessoas em conforto e 65% do total de pessoas em desconforto

para o calor. Devido à sobreposição dos dados, não é possível definir as faixas de PMV em função das respostas de sensação térmica real.

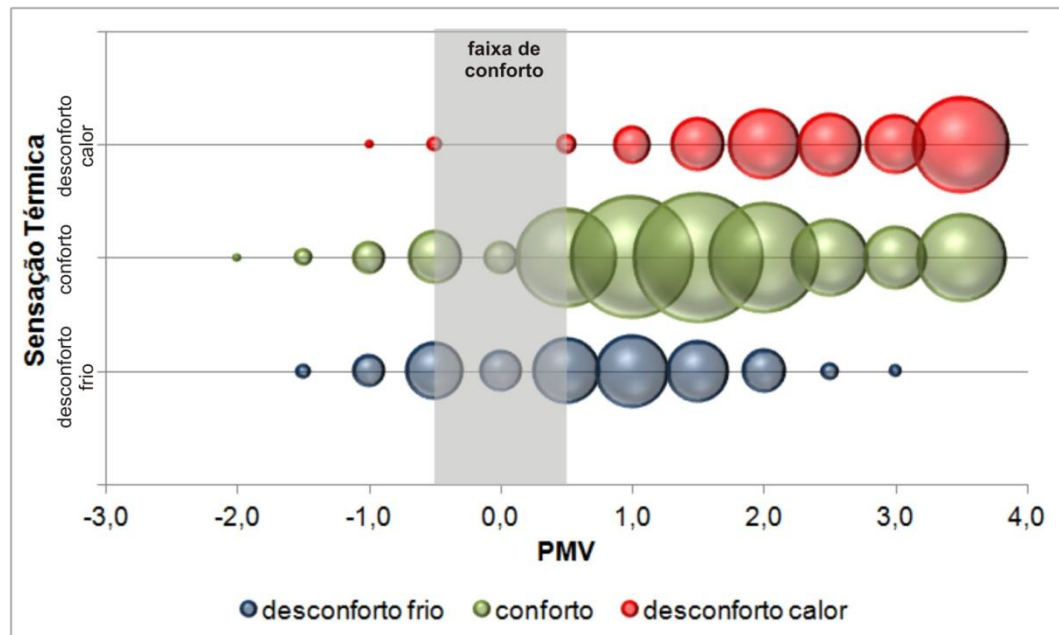


Gráfico 11 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PMV, para toda a amostra
 Fonte: Autoria própria

A distribuição das três categorias de sensação térmica real e das respostas previstas pelo índice PMV, considerando os 711 questionários que satisfazem os parâmetros climáticos determinados pela ISO 7730 (2005), está apresentada no Gráfico 12. As três categorias de sensação térmica se sobrepõem, sendo que as respostas de desconforto para o frio estão distribuídas entre os valores PMV de -1 a 2, os votos de conforto estão entre -1,5 e 3 e as respostas de desconforto para o calor, entre -0,5 e 3,5. A maioria dos votos de desconforto para o frio (77%) estão entre os valores PMV de 0,5 e 1,5, 85% das respostas de conforto estão entre 0,5 e 2, e a maior parte dos votos de desconforto para o calor (87%) estão entre 1,5 e 3. As três categorias de estresse térmico se sobrepõem em valores PMV de -0,5 a 2, com 96% dos votos de desconforto para o frio, 89% dos votos de conforto e 61% dos votos de desconforto para o calor.

No Gráfico 13 está a distribuição das três categorias de sensação térmica real e das respostas previstas pelo índice PET. Assim como ocorreu com o índice PMV, há sobreposição das três categorias de sensação térmica, não sendo possível definir as faixas de temperatura PET para cada categoria. As respostas reais de desconforto para o frio estão entre os valores PET de 3°C a 30°C, os votos de conforto entre 3°C e 45°C e as respostas de desconforto para o calor, entre 9°C e

45°C. A maioria das respostas de desconforto para o frio (85%) está em valores PET abaixo de 18°C. Para o conforto, 74% dos votos estão entre 12°C e 27°C, e para o desconforto para calor, a maior parte das respostas (87%) está acima de 21°C. As três categorias se sobrepõem entre os valores PET de 9°C a 30°C, com 73% do total de pessoas em desconforto para o frio, 83% do total de pessoas em conforto e 63% do total de pessoas em desconforto para o calor.

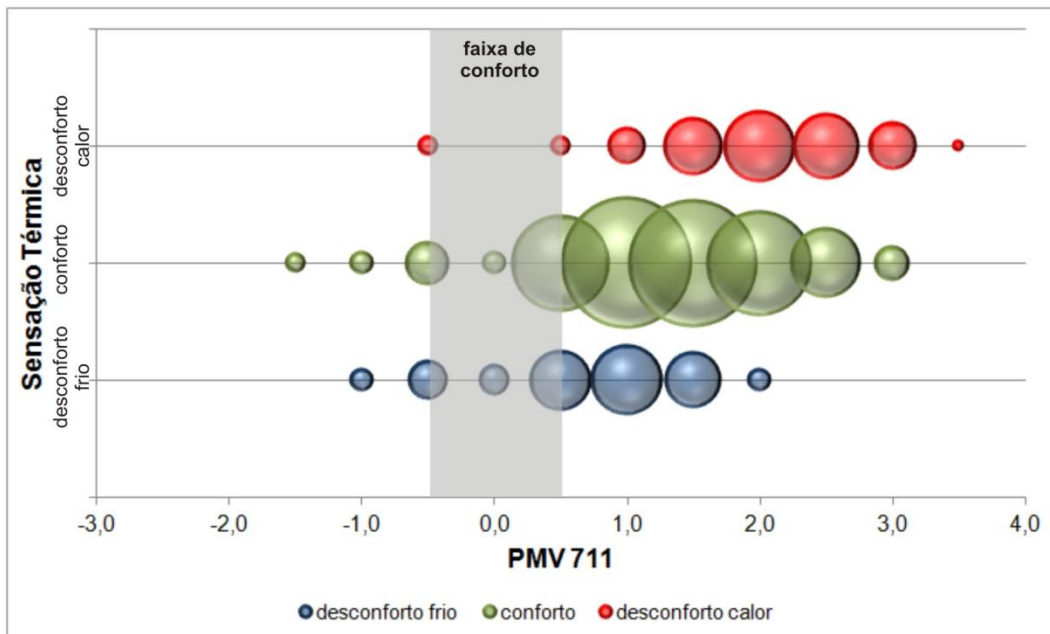


Gráfico 12 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PMV, para 711 questionários
 Fonte: Autoria própria

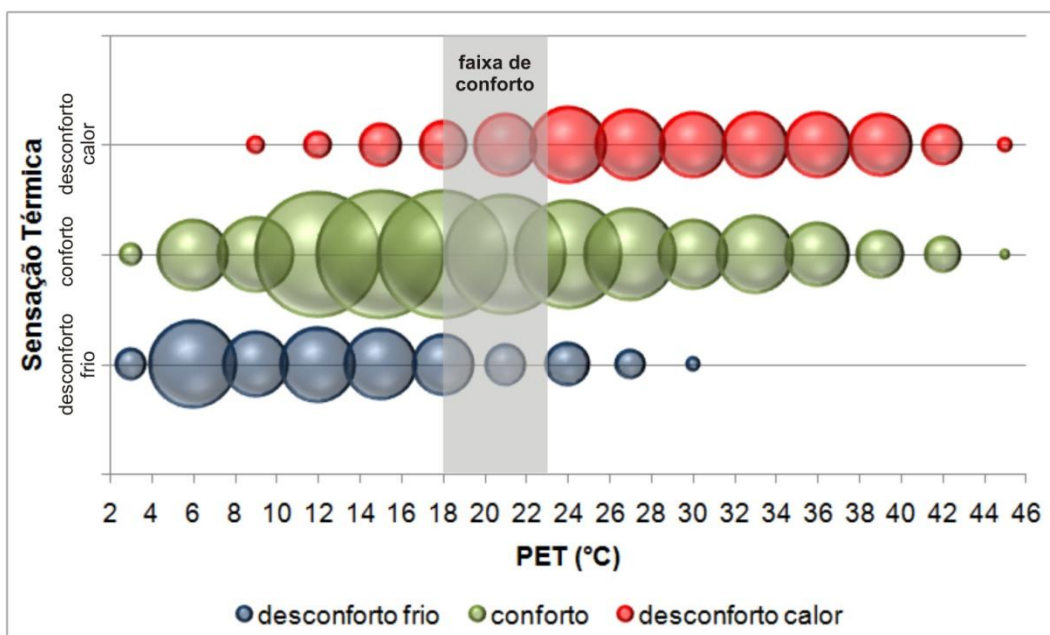


Gráfico 13 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice PET
 Fonte: Autoria própria

A distribuição das três categorias de sensação térmica real e das respostas previstas pelo índice UTCI está apresentada no Gráfico 14. As três categorias de sensação térmica se sobrepõem, não sendo possível definir três as faixas de UTCI em função das respostas reais.

As respostas reais de desconforto para o frio se distribuem entre os valores UTCI de 3°C a 24°C, os votos de conforto, entre 6°C e 36°C, e as respostas de desconforto para o calor, entre 12°C e 36°C. A maioria das respostas de desconforto para o frio (98%) está em valores UTCI entre 9°C e 24°C. Para o conforto, 84% dos votos estão entre 15°C e 30°C, e para o desconforto para calor, a maior parte das respostas (79%) está em valores entre 24°C e 33°C. As três categorias se sobrepõem entre os valores de 12°C a 36°C, com 79% do total de pessoas em desconforto para o frio, 96% do total de pessoas em conforto e 100% do total de pessoas em desconforto para o calor.

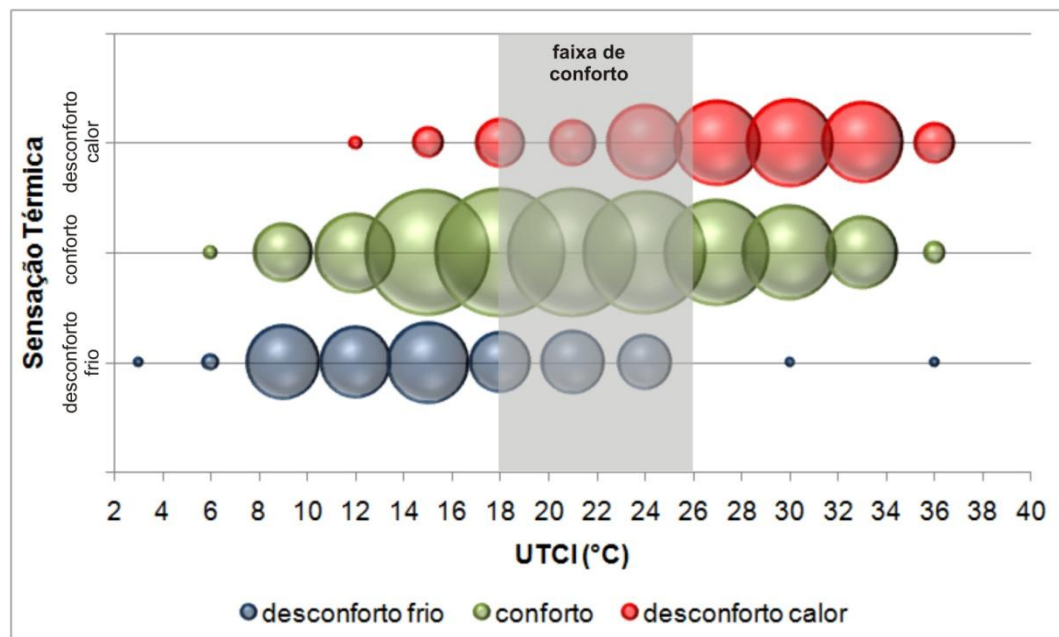


Gráfico 14 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelo índice UTCI
Fonte: Autoria própria

A Tabela 13 apresenta as faixas de sensação térmica definidas por cada índice e as faixas de sobreposição das respostas reais em função dos índices de conforto PMV, PMV 711, PET e UTCI. Considerando a grande sobreposição das respostas reais nas três categorias de sensação térmica, é difícil prever a sensação térmica da população estudada por meio dos índices PMV, PET e UTCI, sugerindo a necessidade de calibração dos índices. A sobreposição das três

categorias de sensação térmica torna difícil a separação de cada categoria em grupos bem definidos.

A comparação entre as respostas reais de sensação térmica e as respostas levantadas por meio dos índices PMV, PET e UTCI mostra que estes índices não são adequados para prever a sensação térmica da população de Curitiba, sugerindo a necessidade de calibração ou do desenvolvimento de um modelo de predição específico para a cidade de Curitiba.

Tabela 13 – Faixas de sensação térmica definidas pelos índices e faixas de sobreposição das respostas reais

		faixas definidas pelos índices	faixas definidas pela sensação térmica real	SOBREPOSIÇÃO
PMV	desconforto para o frio (1)	$PMV < -0,5$	$-0,5 \leq PMV \leq 1,5$	
	conforto (2)	$-0,5 \leq PMV \leq 0,5$	$PMV \geq 0,5$	$-1 \leq PMV \leq 3$
	desconforto para o calor (3)	$PMV > 0,5$	$PMV \geq 2$	
PMV 711	desconforto para o frio (1)	$PMV < -0,5$	$0,5 \leq PMV \leq 1,5$	
	conforto (2)	$-0,5 \leq PMV \leq 0,5$	$0,5 \leq PMV \leq 2$	$-0,5 \leq PMV \leq 2$
	desconforto para o calor (3)	$PMV > 0,5$	$1,5 \leq PMV \leq 3$	
PET	desconforto para o frio (1)	$PET < 18^{\circ}\text{C}$	$PET \leq 18^{\circ}\text{C}$	
	conforto (2)	$18^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 23^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 27^{\circ}\text{C}$	$9^{\circ}\text{C} \leq PET \leq 30^{\circ}\text{C}$
	desconforto para o calor (3)	$PET > 23^{\circ}\text{C}$	$PET \geq 21^{\circ}\text{C}$	
UTCI	desconforto para o frio (1)	$UTCI < 18^{\circ}\text{C}$	$3^{\circ}\text{C} \leq UTCI \leq 24^{\circ}\text{C}$	
	conforto (2)	$18^{\circ}\text{C} \leq UTCI \leq 26^{\circ}\text{C}$	$6^{\circ}\text{C} \leq UTCI \leq 36^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} \leq UTCI \leq 36^{\circ}\text{C}$
	desconforto para o calor (3)	$UTCI > 26^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} \leq UTCI \leq 36^{\circ}\text{C}$	

Fonte: Autoria própria

Foram traçados gráficos de dispersão entre as respostas previstas pelos índices para analisar o comportamento das três categorias de sensação térmica. O Gráfico 15 apresenta a correlação entre as respostas dos índices PMV e PET, considerando toda a amostra. A correlação entre os dois índices é alta, sendo que a correlação entre as respostas de desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor é de, respectivamente, 0,89; 0,96 e 0,96. O melhor coeficiente de determinação ($R^2=0,93$) é para maior o desconforto para o calor e o menor ($R^2=0,80$), para o desconforto para o frio.

O Gráfico 16 apresenta a correlação entre as respostas dos índices PMV e UTCI para toda a amostra. A correlação entre as respostas de sensação térmica é alta. Entretanto, a correlação do PMV com o UTCI é mais baixa que a do PMV com o PET. Para o desconforto para o frio, o coeficiente de correlação é de $R=0,84$, para o conforto, de $R=0,93$ e para o desconforto para o calor, de $R=0,97$.

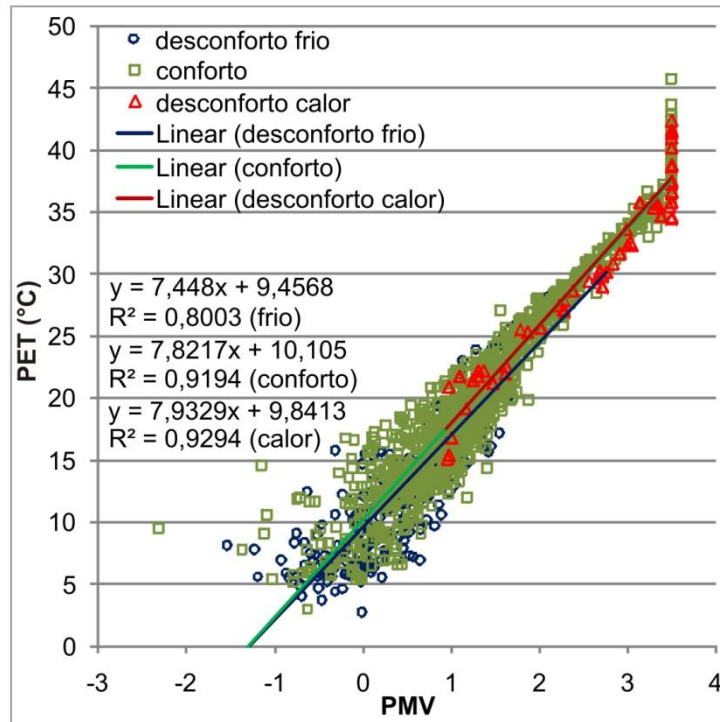


Gráfico 15 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do PET e do PMV, para toda a amostra

Fonte: Autoria própria

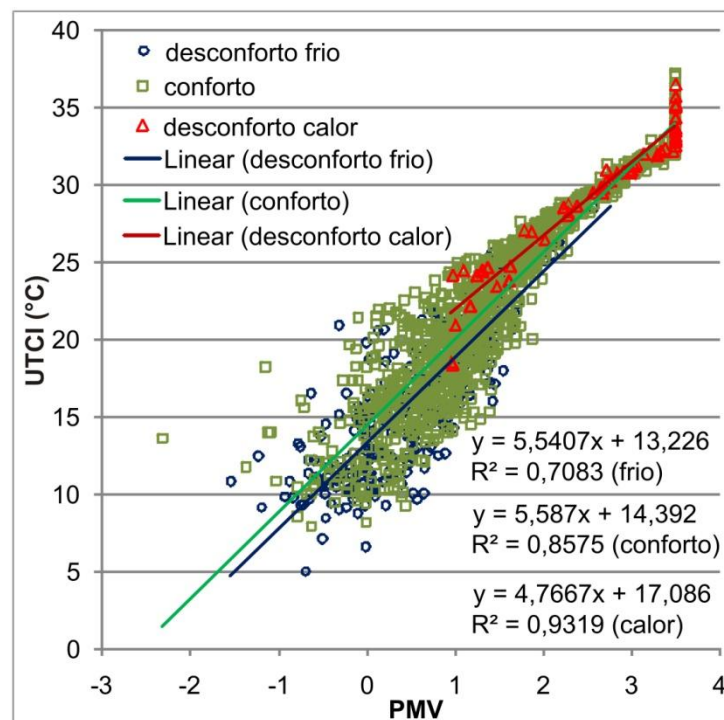


Gráfico 16 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do UTCI e do PMV, para toda a amostra

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 17 apresenta a correlação entre as respostas dos índices PET e UTCI. A correlação entre os dois índices é alta, com coeficiente de determinação

$R^2=0,96$ e coeficiente de correlação $R=0,98$ para as três categorias. Os índices PET e UTCI foram os que apresentaram melhor correlação entre si.

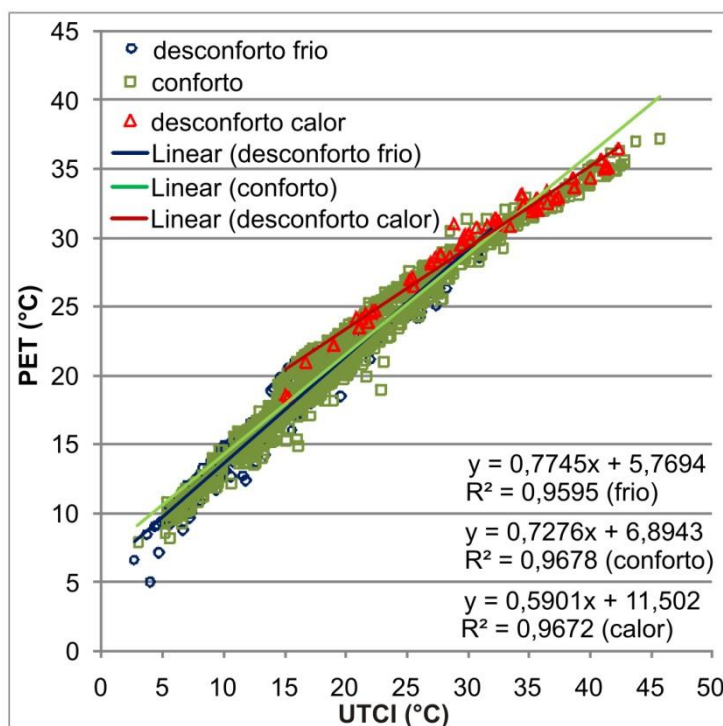


Gráfico 17 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função do PET e do UTCI
 Fonte: Autoria própria

A seguir estão apresentados os resultados da análise das repostas de sensação térmica real versus variáveis climáticas.

3.6.2 Análise da Sensação Térmica Real Versus Variáveis Climáticas

As repostas de sensação térmica agrupadas nas três categorias – (1) desconforto para o frio, (2) conforto e (3) desconforto para o calor – foram analisadas em função das variáveis climáticas monitoradas. Foram traçados gráficos de dispersão em função da T_a e da RS , da diferença entre T_{rm} e T_a ($T_{rm} - T_a$), da UR e da V_a . O Gráfico 18 mostra as três categorias de sensação térmica em função da T_a e da RS . Novamente, há sobreposição das repostas das três categorias. A categoria de desconforto para o frio está concentrada em temperaturas de $6,5^\circ\text{C}$ a 24°C , os votos de conforto estão entre os valores de $6,4^\circ\text{C}$ a $30,5^\circ\text{C}$ e as pessoas em desconforto para o calor, em valores de T_a acima de $11,7^\circ\text{C}$.

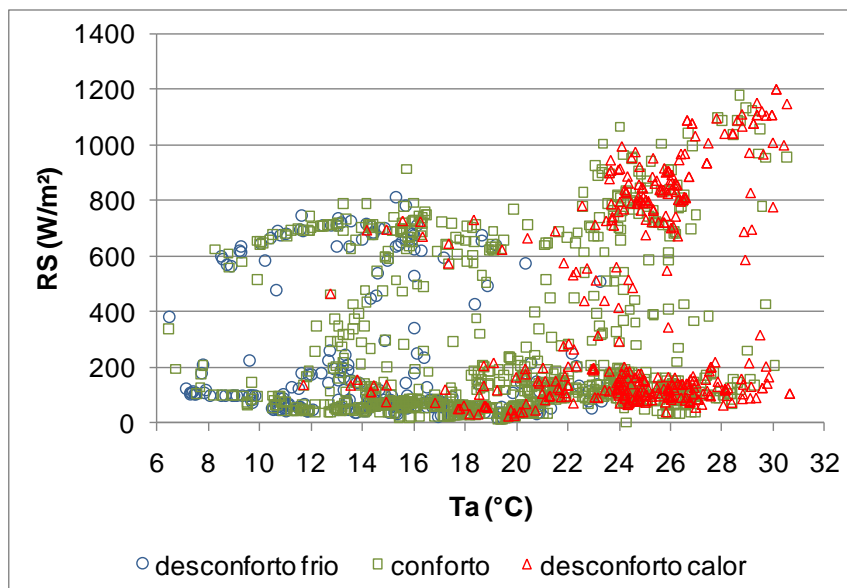


Gráfico 18 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da RS

Fonte: Autoria própria

Entretanto, é possível visualizar no Gráfico 19 que a maior parte dos respondentes (82%) está em desconforto para o calor em Ta do ar acima de 22°C, com ou sem o efeito da radiação solar. Grande parte dos votos de conforto (73%) e de desconforto para o frio (78%) ocorre em situações sombreadas (radiação solar menor que 300 W/m²).

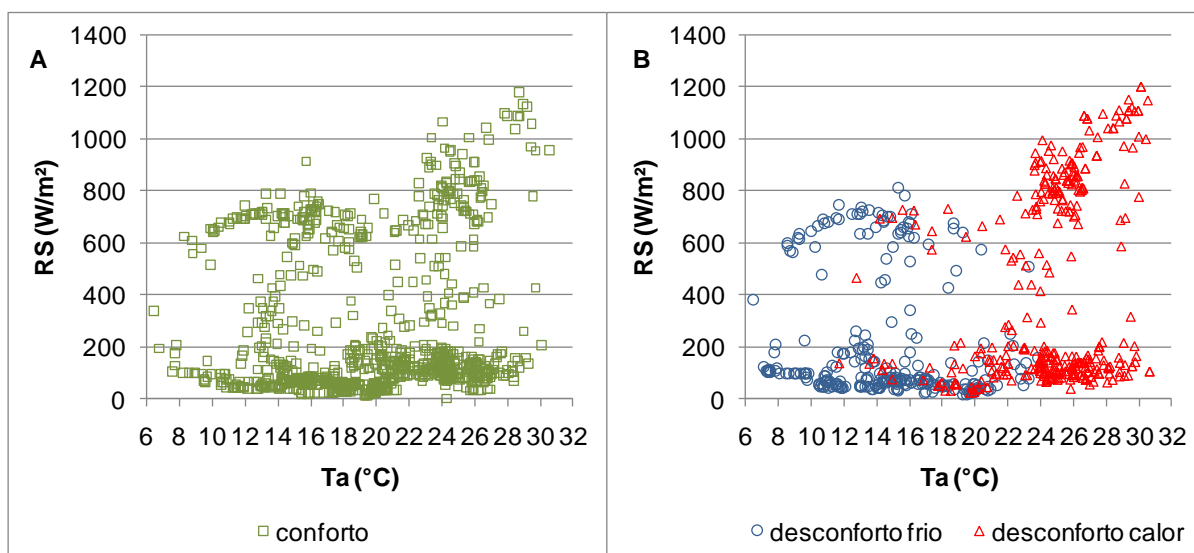


Gráfico 19 – Distribuição das respostas reais de conforto (A) e desconforto (B) em função da Ta e da RS

Fonte: Autoria própria

Ao considerar o efeito da radiação solar como sendo a diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar (Gráfico 20), os votos de sensação térmica apresentam agrupamento semelhante ao agrupamento pela

radiação solar, sendo que 77% dos votos de desconforto para o frio e 65% dos votos de conforto estão concentrados em condições de T_{rm} até 10°C mais alta que a T_a . A maior parte das respostas de desconforto para o calor (82%) está agrupada em T_a acima de 22°C . Considerando os dados de desconforto para o frio e para o calor (Gráfico 21) tem-se uma clara separação entre os grupos em função da T_a . Há desconforto para o calor em T_a acima de 22°C e desconforto para o frio em T_a abaixo de 18°C .

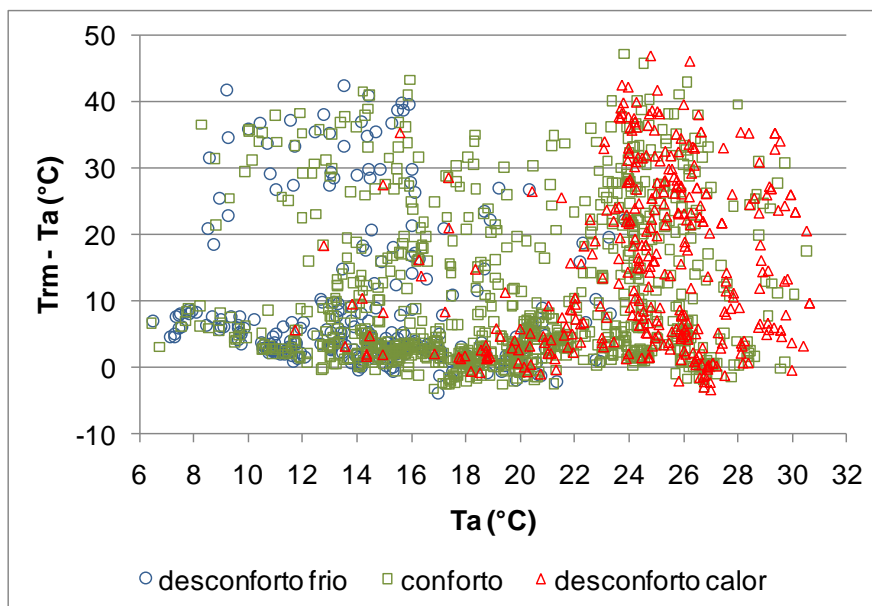


Gráfico 20 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da T_a e da diferença entre T_{rm} e T_a
 Fonte: Autoria própria

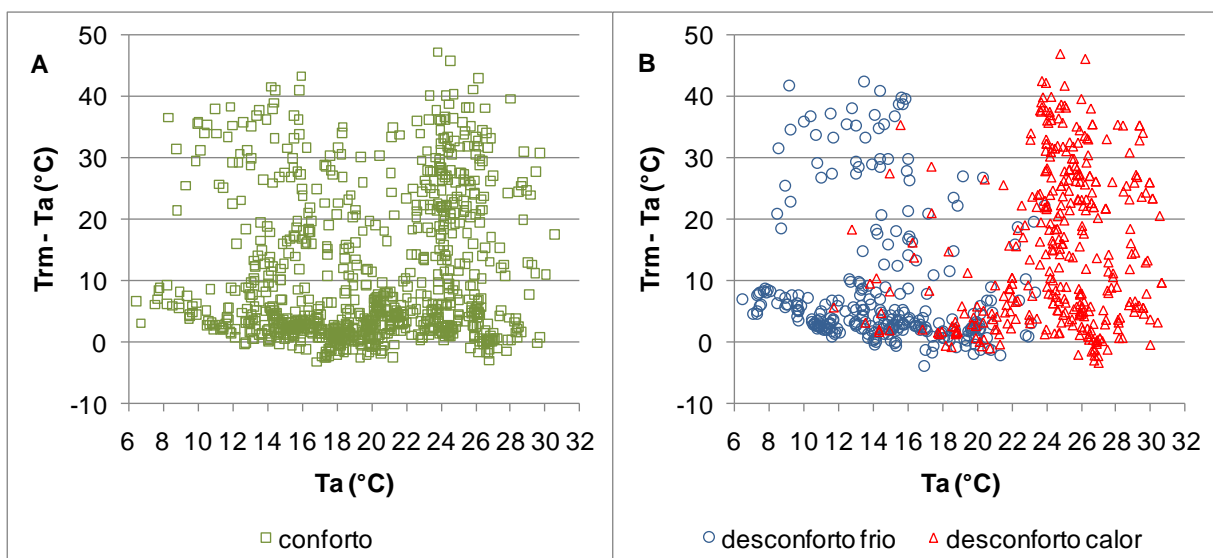


Gráfico 21 – Distribuição das respostas de conforto (A) e desconforto (B) em função da T_a e da diferença entre T_{rm} e T_a
 Fonte: Autoria própria

O Gráfico 22 apresenta o efeito da velocidade do ar na sensação térmica. As três categorias estão sobrepostas não sendo possível identificar o efeito da velocidade do ar na sensação térmica.

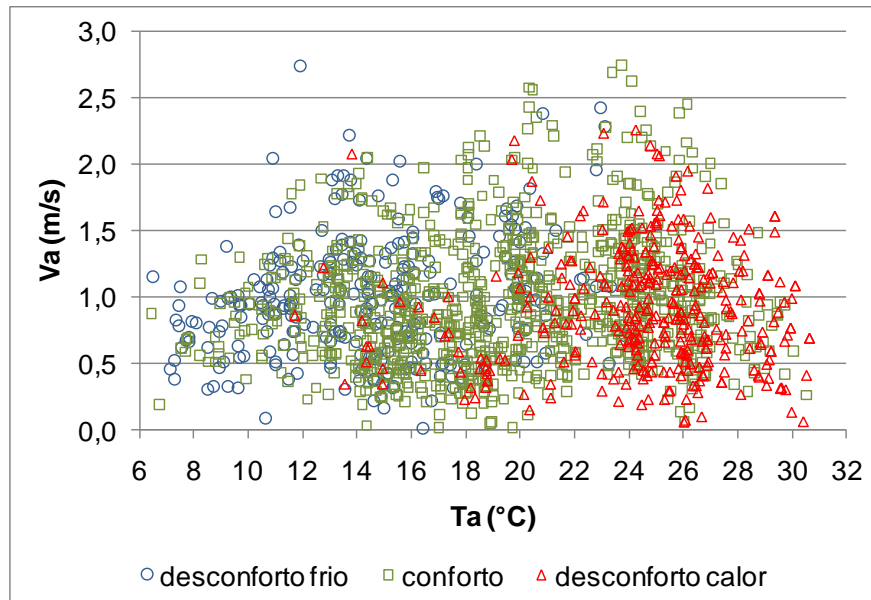


Gráfico 22 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da Va
Fonte: Autoria própria

O Gráfico 23 e o Gráfico 24 apresentam o efeito da umidade relativa na sensação térmica. Os votos de conforto estão agrupados em valores de UR de 23% a 93%, os votos de desconforto para o frio então entre os valores de UR de 25% a 93% e os votos de desconforto para o calor, em valores de 29% a 88%. Há sobreposição das três categorias em valores de UR de 29% a 88%, com 97% do total de pessoas em conforto e 93% do total de pessoas em desconforto para o frio.

A análise do efeito das variáveis climáticas nas três categorias de sensação térmica mostra que, em relação à velocidade do ar (Gráfico 22) e a umidade relativa (Gráfico 23 e Gráfico 24), os votos estão misturados, não sendo possível definir com clareza as faixas de conforto e desconforto para estas duas variáveis, sugerindo que a influência destas variáveis na sensação térmica é baixa. Em relação à radiação solar e a temperatura do ar, é possível identificar as duas categorias de desconforto como grupos independentes (Gráfico 18 e Gráfico 19). Há desconforto para o frio em temperaturas do ar inferiores a 18°C e com pouca incidência solar, isto é, valores de RS inferiores a 300 W/m² ou diferença entre Trm e Ta de até 10°C. O desconforto para o calor ocorre em temperaturas superiores a 22°C, independentemente do

efeito da radiação solar. A Tabela 14 mostra as faixas de cada variável climática para cada categoria de sensação térmica e a sobreposição das três categorias.

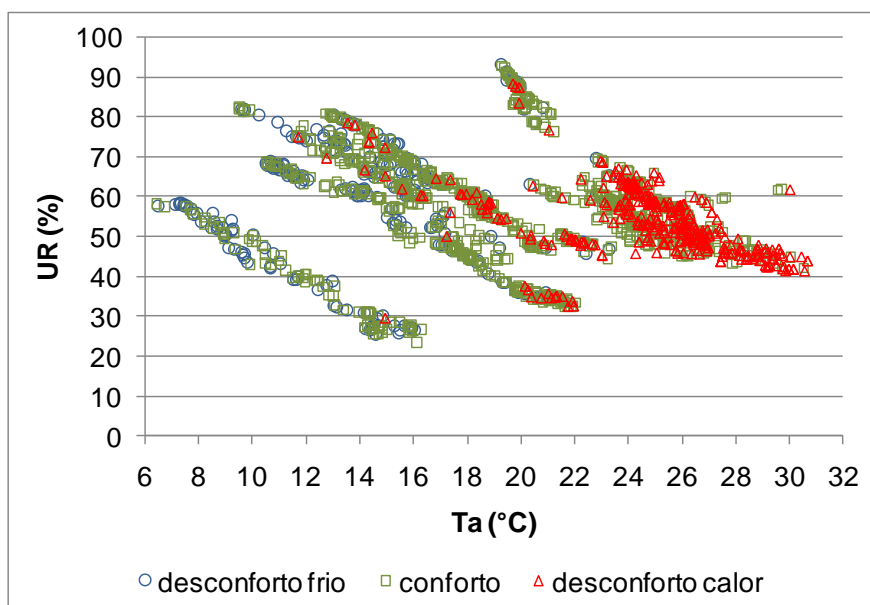


Gráfico 23 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da UR

Fonte: Autoria própria

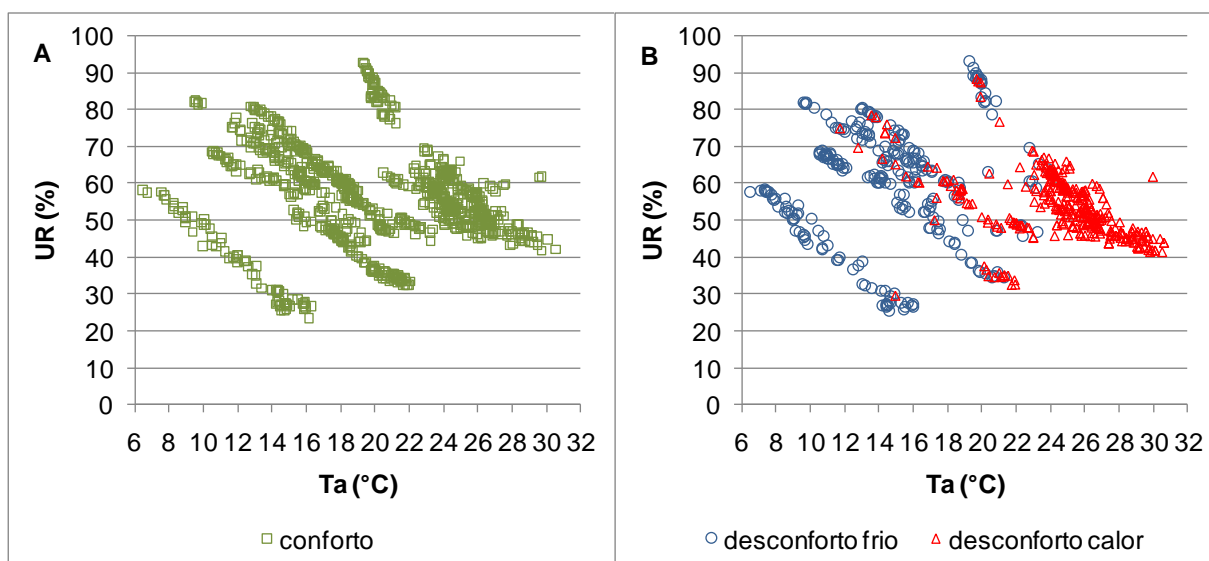


Gráfico 24 – Distribuição das respostas reais conforto (A) e desconforto (B) em função da Ta e da UR

Fonte: Autoria própria

As análises do efeito das variáveis climáticas na sensação térmica mostram que a temperatura do ar tem maior influência na sensação térmica que o efeito da radiação solar, da velocidade do ar e da umidade relativa. Este resultado é reforçado pela análise da correlação entre as variáveis climáticas e a sensação térmica (Tabela 15). Dentre as variáveis apresentadas, a que tem maior correlação com a sensação térmica é a temperatura do ar ($R=0,57$). A correlação entre a sensação

térmica e a velocidade do ar é negativa, indicando que, à medida que a velocidade do ar aumenta, a sensação térmica diminui, o mesmo ocorre com a umidade relativa. A correlação entre a sensação térmica e as demais variáveis climáticas é positiva, indicando que quanto maior a temperatura, a radiação solar e a temperatura radiante média, mais alto será o desconforto para o calor.

Tabela 14 – Faixas climáticas por categoria de sensação térmica e sobreposição das três categorias

	Sensação Térmica	faixas	sobreposição
Ta	desconforto para o frio (1)	$7^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 21^{\circ}\text{C}$	
	conforto (2)	$6^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 31^{\circ}\text{C}$	$12^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 24^{\circ}\text{C}$
	desconforto para o calor (3)	$12^{\circ}\text{C} \leq \text{Ta} \leq 31^{\circ}\text{C}$	
RS	desconforto para o frio (1)	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$	
	conforto (2)	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$
	desconforto para o calor (3)	$\text{RS} \leq 300 \text{ W/m}^2$	
Trm-Ta	desconforto para o frio (1)	$-2 \leq \text{Trm-Ta} \leq 10^{\circ}\text{C}$	
	conforto (2)	$-3 \leq \text{Trm-Ta} \leq 31^{\circ}\text{C}$	$-1 \leq \text{Trm-Ta} \leq 10^{\circ}\text{C}$
	desconforto para o calor (3)	$-1 \leq \text{Trm-Ta} \leq 35^{\circ}\text{C}$	
Va	desconforto para o frio (1)	$0,3 \leq \text{Va} \leq 1,4$	
	conforto (2)	$0,3 \leq \text{Va} \leq 1,6$	$0,3 \leq \text{Va} \leq 1,4$
	desconforto para o calor (3)	$0,3 \leq \text{Va} \leq 1,6$	
UR	desconforto para o frio (1)	$25 \leq \text{UR} \leq 95$	
	conforto (2)	$23 \leq \text{UR} \leq 93$	$29 \leq \text{UR} \leq 88$
	desconforto para o calor (3)	$29 \leq \text{UR} \leq 88$	

Fonte: Autoria própria

A baixa correlação entre a sensação térmica e as variáveis climáticas pode ser explicada pela grande mistura das três categorias de sensação térmica (Gráficos 18 a 24), indicando a dificuldade para classificar cada indivíduo em uma das três categorias.

Tabela 15 – Correlações entre a sensação térmica e as variáveis: Ta, RS, Trm-Ta, Va e UR

		Ta	RS	Trm-Ta	Va	UR
Sensação térmica	Correlação Pearson	0,572**	0,228**	0,176**	0,375**	-0,152**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	1685	1685	1685	1685	1685

** Correlação é significativa ao nível de 0,01

Fonte: Autoria própria

Na próxima seção estão apresentados os procedimentos utilizados para a geração de um modelo preditivo de sensação térmica em espaços abertos para Curitiba.

3.7 PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA GERAÇÃO DE UM MODELO PREDITIVO DE SENSACÃO TÉRMICA EM ESPAÇOS EXTERNOS PARA CURITIBA

Modelos de regressão linear são amplamente utilizados como método estatístico para a geração de um modelo preditivo de sensação térmica por serem um método que investiga e modela a relação entre as diversas variáveis de um processo (WERKEMA, AGUIAR, 1996). Entretanto, estes modelos são adequados para a análise de dados contínuos, isto é, para a predição de variáveis respostas contínuas (HAIR et al., 2005, FÁVERO et al., 2009). Para a análise de dados, cuja variável resposta é categórica (ANDRUSKI GUIMARÃES, 2000), o modelo de regressão linear, também chamado modelo linear geral, não é o mais adequado, pois neste modelo assume-se que a relação entre as variáveis independentes e a variável resposta é dada por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1i} + \varepsilon_i = X\beta + \varepsilon \quad (18)$$

Onde: X é a matriz de ordem $n \times p$ do modelo, $\underline{\beta}$ é o vetor dos parâmetros de dimensão p e $\underline{\varepsilon}$ é o vetor de dimensão n dos erros aleatórios.

Uma suposição fundamental para a adoção do modelo linear é a de que ε_i possui distribuição normal com média 0 (zero) e variância constante. A distribuição da variável dependente é normal, com média $E(Y|X)$ e variância constante. Entretanto, isto não ocorre quando a variável dependente é dicotômica, isto é, assume apenas um de dois valores:

- se $Y = 1$, então $\varepsilon = 1 - P(X)$, com probabilidade $P(X)$;
- se $Y = 0$, então $\varepsilon = -P(X)$, com probabilidade $1 - P(X)$.

Neste caso, ε segue uma distribuição de Bernoulli. Desta forma, a variável resposta não é constante, o que invalida os testes de significância usuais, como o Modelo Linear Geral e resposta contínua. Uma dificuldade adicional reside no fato de que o Modelo Linear Geral fornece para Y valores que não pertencem ao intervalo $[0,1]$.

As respostas de sensação térmica analisadas nesta pesquisa são variáveis categóricas, ordenadas em três categorias: desconforto para o frio, conforto e

desconforto para o calor, de acordo com a classificação explicada na seção 3.3. Para a análise estatística dos dados foram testados dois métodos, a Função Discriminante Linear (FDL) e o Modelo de Regressão Logística (MRL).

A função discriminante linear e o modelo de regressão logística são técnicas apropriadas para situações envolvendo variável dependente categórica. Em geral, opta-se pela função discriminante linear quando as variáveis independentes são contínuas e utiliza-se a regressão logística quando as variáveis independentes são tanto contínuas como categóricas.

Função Discriminante Linear – FDL

A função discriminante linear é uma das técnicas da análise discriminante linear, e é adequada quando a única variável dependente é categórica, sendo que cada valor representa um grupo de observações. É aplicada em casos nos quais a amostra pode ser dividida em grupos baseados na variável dependente categórica, permitindo a elaboração de uma função matemática. Pressupõe-se que as variáveis independentes são contínuas e, além disto, para problemas envolvendo mais de dois grupos, abre mão da suposição de que as matrizes de covariâncias dos grupos são iguais. Os objetivos da análise discriminante são: entender diferenças de grupos e prever a probabilidade de que um indivíduo ou objeto pertença a um dos grupos, com base nas variáveis independentes. A partir dos dados de cada elemento e de cada grupo é derivada uma função, que é uma combinação linear das variáveis independentes, e que tem por objetivo discriminar os grupos entre si. Como resultado tem-se um conjunto de coeficientes para cada variável independente que classifica, com máxima precisão, cada elemento observado em um dos grupos pré-definidos (ANDRUSKI GUIMARÃES, 2000; MINGOTI, 2007).

A função discriminante linear, para dois grupos, tem a forma:

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i + \dots + \beta_{p-1} X_{p-1} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p-1} \beta_i X_i \quad (19)$$

onde:

Z = escore discriminante (variável dependente);

β_0 = intercepto;

$\beta_1, \dots, \beta_{p-1}$ = pesos discriminantes;

X_1, \dots, X_{p-1} = variáveis discriminantes.

Modelo de Regressão Logística – MRL

A regressão logística, também chamada de análise *logit* (*logarithmic unit*), é uma combinação de regressão múltipla e análise discriminante. Utiliza-se esta técnica para relacionar, por meio de um modelo, uma única variável dependente categórica com os fatores (variáveis independentes contínuas e/ou categóricas) que influenciam a ocorrência de um evento. Assim como a função discriminante linear, a regressão logística é utilizada para identificar o grupo ao qual um indivíduo ou objeto pertence (HAIR et al., 2005).

O modelo de regressão logístico politômico é utilizado quando se deseja estabelecer a relação entre a variável resposta e diversas variáveis independentes. Este modelo é construído conforme o raciocínio exposto a seguir.

Seja Y_s , $s = 1, 2, \dots, k$, a variável resposta, na forma $\mathbf{Y}^T = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, que indica o grupo ao qual pertence cada observação. O Modelo de Regressão Logística assume que a probabilidade de uma observação pertencer ao grupo s é dada por:

$$P(G_s | \underline{X}) = [exp(\mu_s)] / \left[\sum_{j=1}^k exp(\mu_j) \right] \quad (20)$$

onde: $s = 1, 2, \dots, k$.

$$\mu_s = \beta_{s0} + \beta_{s1}x_1 + \beta_{s2}x_2 + \dots + \beta_{sp}x_p = \beta_{s0} + \sum_{i=1}^p \beta_{si}x_i = \underline{\mathbf{B}}_s^T \underline{\mathbf{X}} \quad (21)$$

$$(s = 1, \dots, k - 1)$$

e

$$\underline{\mathbf{B}}_k = \underline{\mathbf{0}} \Rightarrow \mu_k = 0 \quad (22)$$

O número de equações resultantes depende do número de categorias da variável resposta. Nesta pesquisa, foram definidas três categorias de sensação térmica: (1) desconforto para o frio, (2) conforto e (3) desconforto para o calor, e em consequência, resultarão três equações. As equações deverão ser utilizadas para classificar o indivíduo em uma das categorias de sensação térmica.

Na FDL, as equações calculam a distância entre o indivíduo e o centro dos grupos que representam as categorias. O indivíduo será classificado no grupo ao qual ele estiver mais próximo. Desta forma, o indivíduo será classificado pela equação que resultar o menor valor. No MRL, as equações calculam a probabilidade

de um determinado indivíduo pertencer a uma das categorias. Assim, o indivíduo será classificado pela equação que resultar o maior valor, isto é, maior probabilidade de pertencer àquela categoria.

Para o desenvolvimento do modelo de predição foi considerada como variável dependente a sensação térmica, agrupada em três categorias, conforme explicado na seção 3.3, e como variáveis independentes as variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade do ar, a velocidade do ar e o efeito da radiação solar.

Considerando a umidade do ar, foram testados os valores de umidade relativa e umidade absoluta na sensação térmica. A umidade do ar é usualmente medida em termos de umidade relativa. Entretanto, ao considerar os aspectos fisiológicos, em comparação com a umidade relativa, a umidade absoluta²⁰ (UA) é determinante na manutenção da temperatura interna do corpo, influenciando o controle da temperatura interna pela respiração e pela transpiração, sendo a variável mais apropriada para avaliar o efeito fisiológico da umidade. A partir dos valores de temperatura do ar e umidade relativa registrados nos levantamentos de campo, calculou-se a umidade absoluta, considerando a pressão atmosférica a 917 metros (altitude média de Curitiba), utilizando as equações da tabela D.1 do Anexo D da ISO 7726 (ISO 7726, 1998, p.39).

Em relação ao efeito da radiação solar, foram testados os valores monitorados de radiação solar e os calculados de temperatura radiante média. Optou-se por testar os valores de radiação solar por esta ser uma das variáveis monitoradas em estações meteorológicas oficiais, sendo de fácil obtenção para a utilização no modelo. Entretanto, a temperatura radiante média é utilizada nos índices de conforto, pois considera o efeito da radiação difusa e da radiação solar no ambiente urbano. Para calcular a temperatura radiante média, porém, são necessários dados de temperatura de globo, que normalmente não é monitorada em estações meteorológicas.

Para testar a significância estatística das variáveis climáticas na sensação térmica foi utilizada a análise de variância (ANOVA). A ANOVA é o método estatístico empregado para avaliar as diferenças médias entre três ou mais grupos definidos por duas ou mais variáveis independentes e determinar a probabilidade de que as diferenças em médias ao longo de diversos grupos ocorram apenas devido

²⁰ Umidade absoluta é a quantidade de vapor d'água presente em determinado volume de ar a dada temperatura, sendo expressa em g/kg.

ao desvio amostral. Este método trata a variação total de um conjunto de dados de duas formas: (1) estimando a variância dentro dos grupos, isto é, o desvio dos escores brutos em relação à média do grupo e (2) estimando a variância entre os grupos, isto é, o desvio das médias de cada grupo em relação às médias dos outros grupos. Na ANOVA, a hipótese nula testada é a igualdade de médias da variável dependente ao longo dos grupos. A análise de variância resulta em uma razão F (variância entre os grupos dividida pela variância dentro dos grupos): quanto maior o valor de F, maior a probabilidade de rejeição da hipótese nula (LEVIN, FOX, 2004; HAIR, et al., 2005).

A ANOVA foi realizada para cada uma das variáveis independentes (Ta, Va, RS, Trm, UR e UA) em função da variável resposta (sensação térmica). A partir dos resultados da ANOVA, selecionaram-se as variáveis com importância significativa para fazer parte do modelo de predição da sensação térmica. Os resultados obtidos pelos modelos FDL e MRL foram comparados em relação ao acerto total e ao acerto de cada grupo para que pudesse ser definido qual dos dois modelos é o mais adequado para prever a sensação térmica da população de Curitiba. A seguir apresentam-se os resultados obtidos pela FDL e MRL para o modelo de predição para Curitiba.

3.7.1 Apresentação do Modelo Preditivo de Sensação Térmica em Espaços Abertos para Curitiba

Para formular o modelo preditivo de sensação térmica foram testados dois métodos estatísticos multivariados: a Função Discriminante Linear (FDL) e o Modelo de Regressão Logística (MRL). A eficácia dos referidos métodos no reconhecimento e na classificação de padrões pode ser atestada pelo grande número de aplicações relatadas na literatura disponível, sendo amplamente utilizados para diagnóstico médico, classificação de riscos em operações financeiras e previsão de falências, para citar apenas algumas situações. Os dois métodos trabalham com a classificação ou a predição de um elemento em determinado grupo, com base nas variáveis independentes. Nas equações dos índices de conforto são levados em

consideração os efeitos da temperatura do ar, umidade do ar, radiação e velocidade do ar.

A Tabela 16 apresenta as correlações entre as variáveis climáticas e a sensação térmica. As correlações são fracas, conforme indicado pelos gráficos de dispersão apresentados na seção 3.6.2, indicando que somente uma variável não é suficiente para explicar a sensação térmica. Dentre as variáveis apresentadas, as que têm maior correlação com a sensação térmica são a temperatura do ar ($R=0,57$) e a temperatura radiante média ($R=0,37$). A correlação entre a sensação térmica e a velocidade do ar é negativa, indicando que, à medida que a velocidade do ar aumenta, a sensação térmica diminui. O mesmo ocorre com a umidade relativa. A correlação entre a sensação térmica e as demais variáveis climáticas é positiva, indicando que quanto maior a temperatura, a radiação solar e a temperatura radiante média, mais alto será o desconforto para o calor.

A comparação entre as correlações da umidade relativa (UR) e da umidade absoluta (UA) com a sensação térmica mostra que as duas variáveis apresentam correlação fraca, porém, a umidade absoluta apresenta melhor correlação. Em relação ao efeito da radiação, a temperatura radiante média (Trm) apresenta melhor correlação com a sensação térmica que a radiação solar (RS). O nível de significância mostra que as variáveis com maior importância na sensação térmica são a temperatura do ar, a radiação solar, a temperatura radiante média e a umidade relativa.

Tabela 16 – Correlações entre as variáveis climáticas e a sensação térmica

		Ta	Va	RS	Trm	UR	UA
Sensação térmica	Correlação Pearson	0,572**	-0,055*	0,228**	0,375**	-0,152**	0,449**
	Sig. (bi-caudal)	0,000	0,0251	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	1685	1685	1685	1685	1685	1685

** Correlação é significativa ao nível de 0,01

* Correlação é significativa ao nível de 0,05

Fonte: Autoria própria

Considerando-se os baixos valores de coeficiente de correlação encontrados foi testada a significância das variáveis em conjunto na resposta de sensação térmica, utilizando a análise de variância (ANOVA). A variável dependente é a sensação térmica, agrupada em três categorias, e as variáveis independentes: Ta, Va, RS, Trm, UR e UA. Na Tabela 17 estão apresentados os dados da ANOVA. Todas as variáveis são significativamente importantes, ao nível de 99% de

confiança, com exceção da velocidade do ar, que é significativa ao nível de 95% de confiança.

Os valores de F da radiação solar e da temperatura radiante média mostram que a temperatura radiante média ($F=140,45$) tem maior relação com a sensação térmica que a radiação solar ($F=52,9$). Analogamente, a umidade absoluta ($F=212,98$) apresenta maior relação com a sensação térmica que a umidade relativa ($F=19,91$).

Tabela 17 – ANOVA entre as variáveis climáticas e a sensação térmica

		Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado médio	F	Valor-p
Ta	Entre grupos	16.607,710	2	8.303,855	410,310	0,000
	Dentro do grupo	34.040,329	1.682	20,238		
	Total	50.648,040	1.684			
Va	Entre grupos	1,327	2	0,664	3,085	0,046
	Dentro do grupo	361,841	1.682	0,215		
	Total	363,168	1.684			
RS	Entre grupos	9.108.977,164	2	4.554.488,582	52,900	0,000
	Dentro do grupo	144.814.842,200	1.682	86.096,815		
	Total	153.923.819,364	1.684			
Trm	Entre grupos	46.456,291	2	23.228,145	140,449	0,000
	Dentro do grupo	278.178,215	1.682	165,385		
	Total	324.634,505	1.684			
UR	Entre grupos	6.502,503	2	3.251,251	19,911	0,000
	Dentro do grupo	274.655,071	1.682	163,291		
	Total	281.157,574	1.684			
UA	Entre grupos	3.352,258	2	1.676,129	212,978	0,000
	Dentro do grupo	13.237,263	1.682	7,870		
	Total	16.589,522	1.684			

Fonte: Autoria própria

As quatro variáveis climáticas foram testadas no modelo preditivo nas seguintes combinações:

- Ta, Va, RS, UR;
- Ta, Va, Trm, UR;
- Ta, Va, RS, UA;
- Ta, Va, Trm, UA;
- Ta, RS, UR;
- Ta, Trm, UR;
- Ta, RS, UA;
- Ta, Trm, UA.

A seguir estão apresentados os resultados considerando as seguintes combinações de variáveis: (1) Ta, Va, RS, UR e (2) Ta, Va, Trm, UR. As demais combinações testadas estão apresentadas no Apêndice D, pois os resultados obtidos para os dois métodos (FDL e MRL) não apresentaram diferenças significativas tanto no acerto total (razão entre o número de observações

classificadas corretamente e o número total de observações) quanto nos acertos por categoria (razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número de observações na categoria).

O Quadro 16 apresenta a matriz de classificação da FDL e do MRL para a seguinte combinação de variáveis; Ta, Va, RS e UR. A FDL classifica corretamente 53% do total de indivíduos, enquanto que a MRL classifica 65%. Apesar do MRL ter maior taxa de acerto total, ao analisar os acertos por categoria verifica-se que o MRL classifica a maior parte dos indivíduos na categoria 2 (conforto), colocando 68% dos indivíduos da categoria 1 (desconforto para o frio) na categoria 2 (conforto) e 67% das pessoas da categoria 3 (desconforto para o calor) na categoria 2. Com a FDL ocorre o inverso. O modelo retira pessoas da categoria de conforto e os classifica em desconforto para o frio (32%) e em desconforto para o calor (30%), acertando somente 38% das pessoas corretamente. Entretanto, a FDL tem grande taxa de acerto na classificação das pessoas na categoria 1 (76%) e na categoria 3 (75%).

Modelo	Acerto total (%)	Categoria observada	Categoria predita		
			1	2	3
FDL	52,9	1	76	23	1
		2	32	38	30
		3	4	21	75

Modelo	Acerto total (%)	Categoria observada	Categoria predita		
			1	2	3
MRL	65,4	1	31	68	1
		2	6	87	7
		3	1	67	32

Quadro 16 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, RS e UR
Fonte: Autoria própria

No Quadro 17 está a matriz de classificação da FDL e do MRL tendo como variáveis independentes a Ta, Va, Trm e UR. Neste caso, testou-se a Trm como variável independente ao invés da RS. Não há diferença significativa entre os dois modelos, a comparação dos quadros 16 e 17 mostra que o acerto total dos dois modelos é praticamente o mesmo, tendo variação na terceira casa decimal, com a FDL acertando 53% e o MRL 65%. Em relação aos acertos por categoria, a diferença também é pequena, na FDL há 76% de classificação correta da categoria 1, 37% da categoria 2 e 78% da categoria 3. O MRL classifica corretamente 30% dos indivíduos da categoria 1, 86% da categoria 2 e 33% da categoria 3. Novamente a FDL parece apresentar o melhor método de predição, pois classifica corretamente a maior porcentagem de pessoas nas categorias 1 (desconforto para o frio) e 3

(desconforto para o calor), enquanto que o MRL classifica incorretamente a maior parte dos indivíduos na categoria 2 (conforto).

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita		
			1	2	3
FDL	52,6	1	76	23	2
		2	32	37	31
		3	4	17	78

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita		
			1	2	3
MRL	65,0	1	30	69	1
		2	6	86	8
		3	1	66	33

Quadro 17 - Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando T_a , V_a , T_{rm} e UR
Fonte: Autoria própria

É possível perceber o problema de classificação de indivíduos na categoria de conforto ao analisar novamente os gráficos de dispersão 18 a 24 apresentados na seção 3.6.2. Nestes gráficos, as respostas de conforto se misturam com as respostas dos demais grupos, ocorrendo sobreposição de votos. Considerando que a FDL faz a classificação com base na distância entre o indivíduo e o centro dos grupos que representam as categorias, observa-se no exemplo representado no **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que há duas observações de cada grupo que são classificadas incorretamente. O mesmo ocorre com os dados de sensação térmica, o Gráfico 26 mostra que os votos de conforto que estão sobrepostos aos de desconforto para o calor ($T_a > 22^\circ\text{C}$) podem ser classificados como pertencentes à categoria 3, e os votos de conforto que estão sobrepostos aos de desconforto para o frio ($T_a < 16^\circ$) podem ser classificados erroneamente como pertencentes à categoria 1. Isto explica a classificação incorreta de mais de 30% de indivíduos nas categorias 1 e 3 pela FDL (Quadro 16 e 17).

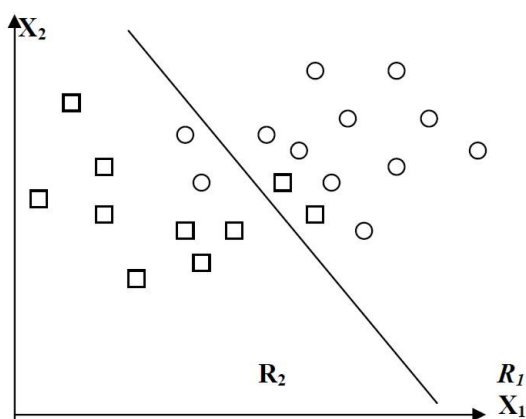


Gráfico 25 – Exemplo da classificação da Função Discriminante Linear
Fonte: Chaves Neto, 2008, p.51

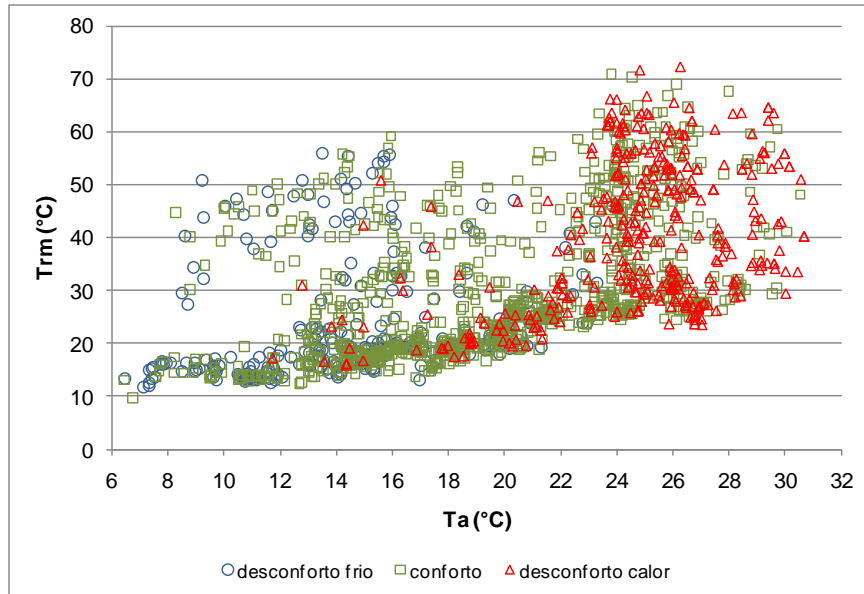


Gráfico 26 – Distribuição das respostas reais de sensação térmica em função da Ta e da diferença entre Trm e Ta
Fonte: Autoria própria

A mistura dos votos de conforto com os demais votos também leva à incorreta classificação por meio do MRL. O MRL classifica um indivíduo pela probabilidade dele pertencer a uma determinada categoria. O gráfico 25 mostra que os votos de conforto estão espalhados em uma faixa mais abrangente de temperatura do ar, fazendo com que mais de 60% dos votos de desconforto para o frio e para o calor sejam classificados como pertencentes à categoria de conforto (Quadro 16 e Quadro 17).

Considerando que os modelos se comportam similarmente em função da radiação ou da temperatura radiante média, a escolha das equações pode ser feita com base nas variáveis disponíveis para a classificação. Ao testar as variáveis umidade relativa e umidade absoluta também não houve diferenças significativas entre elas. Os resultados das combinações das variáveis climáticas realizadas estão no Apêndice D. A seguir será apresentada a forma de classificação utilizando a FDL para a combinação de variáveis: Ta, Va, RS e UR.

O problema da discriminação linear entre $k > 2$ grupos não exige a suposição de que as populações sejam normais multivariadas e assume inicialmente a igualdade das matrizes de covariâncias. A estimação dos parâmetros do modelo fornece k combinações lineares da forma:

$$Y_i = \underline{\beta}_i^T \underline{X} \quad (23)$$

Para cada combinação linear, chamada função discriminante amostral, há uma espécie de medida algébrica, chamada autovalor associado (Apêndice E). Se o autovalor tende a zero, o poder discriminante é insignificante, e a função correspondente é descartada. Cada função discriminante amostral fornece a melhor separação entre os k grupos, no sentido de maximizar a variabilidade entre os grupos, em relação à variabilidade dentro dos grupos. Para a classificação de novas observações são consideradas as $(k - 1)$ combinações com maior poder discriminante, medido pelo autovalor associado. Uma apresentação bastante detalhada pode ser encontrada em Johnson e Wichern (1988).

A regra de classificação baseada nas funções discriminantes amostrais consiste em classificar uma observação \underline{x} no grupo, ou população, G_k se, para $i \neq k$,

$$\sum_{j=1}^m [\beta_j (\underline{x} - \bar{x}_k)]^2 \leq \sum_{j=1}^m [\beta_j (\underline{x} - \bar{x}_i)]^2 \quad (24)$$

onde: $j = 1, 2, \dots, m$, $m \leq \min(p, k - 1)$, e $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \dots, \beta_{jp})$, lembrando que p é o número de variáveis e k o número de grupos.

É importante ressaltar que o número de funções discriminantes resultantes da estimação dos parâmetros dos modelos é igual ao número de grupos, sendo descartadas as funções com menor poder discriminante.

Nesta pesquisa há $k = 3$ grupos e $m = 4$ variáveis independentes, o que resulta em três funções discriminantes, cada uma com quatro variáveis, dadas por:

$$Y_1 = 0,2144 \times Ta - 0,4173 \times Va + 0,0007 \times RS + 0,0022 \times UR \quad (25)$$

$$Y_2 = -0,0636 \times Ta - 0,4852 \times Va + 0,0033 \times RS + 0,0185 \times UR \quad (26)$$

$$Y_3 = 0,0466 \times Ta + 0,6919 \times Va + 0,0002 \times RS + 0,0735 \times UR \quad (27)$$

onde:

Y = é a distância do indivíduo ao centro dos grupos

$$Ta = [\beta_1 (\underline{x}_1 - \overline{Ta}_1)]^2 + [\beta_2 (\underline{x}_1 - \overline{Ta}_2)]^2 + [\beta_3 (\underline{x}_1 - Ta_3)]^2$$

$$Va = [\beta_1 (\underline{x}_2 - \overline{Va}_1)]^2 + [\beta_2 (\underline{x}_2 - \overline{Va}_2)]^2 + [\beta_3 (\underline{x}_2 - Va_3)]^2$$

$$RS = [\beta_1 (\underline{x}_3 - \overline{RS}_1)]^2 + [\beta_2 (\underline{x}_3 - \overline{RS}_2)]^2 + [\beta_3 (\underline{x}_3 - RS_3)]^2$$

$$UR = [\beta_1 (\underline{x}_4 - \overline{UR}_1)]^2 + [\beta_2 (\underline{x}_4 - \overline{UR}_2)]^2 + [\beta_3 (\underline{x}_4 - UR_3)]^2$$

Entretanto, somente são utilizadas as funções que apresentam os maiores autovalores. Neste caso, respectivamente 0,5306, 0,011 e 0,0000. Assim, a terceira função discriminante é descartada:

A fim de facilitar a compreensão sobre o uso das funções discriminantes obtidas, é apresentado um exemplo na sequência.

Sejam, por exemplo, os dados registrados no dia 09.06.2009 às 11h20 (Quadro 18).

Variável	Rótulo	Valor observado
Temperatura do ar (°C)	\underline{x}_1	20,0
Velocidade do ar (m/s)	\underline{x}_2	0,9
Radiação Solar (W/m ²)	\underline{x}_3	736
Umidade relativa (%)	\underline{x}_4	52

Quadro 18 – Valores observados de Ta, Va, Trm e UR às 11h20 no dia 09.06.2009

Fonte: Autoria própria

Considerando que a FDL classifica o indivíduo com base na distância entre ele e o centro dos grupos ou categorias, é necessário calcular a distância das novas observações a serem classificadas em relação aos centros dos grupos ou categorias. Para tal, calculam-se as médias das variáveis independentes em cada um dos grupos. No caso desta pesquisa, calculam-se as médias das variáveis climáticas em cada um dos três grupos de estresse térmico.

No Quadro 19 estão apresentadas as médias, total e por categoria ou grupo, para cada uma das variáveis independentes. A média total corresponde à média de todos os dados da amostra (1685 indivíduos) e as médias por grupos equivalem às médias das variáveis em cada uma das categorias de estresse térmico, ou seja, grupo 1 = desconforto para o frio; grupo 2 = conforto e grupo 3 = desconforto para o calor.

Variável	Rótulo (x_k)	Média total	Média no grupo 1 (k=1)	Média no grupo 2 (k=2)	Média no grupo 3 (k=3)
Temperatura do ar (°C)	\bar{x}_k	19,9	14,5	19,9	24,6
Velocidade do ar (m/s)	\bar{x}_k	1,0	1,0	1,0	0,9
Radiação Solar (W/m ²)	\bar{x}_k	280	202	256	417
Umidade relativa (%)	\bar{x}_k	56	60	56	54

Quadro 19 – Médias total e por grupo das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR

Fonte: Autoria própria

A distância entre as novas observações e os centros dos grupos é representada pela diferença entre o valor observado (x_1, x_2, x_3 e x_4) e as médias por grupos (\bar{x}_1, \bar{x}_2 e \bar{x}_3). A diferença é calculada utilizando os valores apresentados nos quadros 18 e 19, conforme apresentado a seguir:

- diferença entre Ta:

$$x_1 - \overline{Ta}_1 = 20,0 - 14,5 = 5,5$$

$$x_1 - \overline{Ta}_2 = 20,0 - 19,9 = 0,1$$

$$x_1 - \overline{Ta}_3 = 20,0 - 24,6 = -4,6$$

- diferença entre RS:

$$x_3 - \overline{RS}_1 = 736 - 202 = 534$$

$$x_3 - \overline{RS}_2 = 736 - 256 = 480$$

$$x_3 - \overline{RS}_3 = 736 - 417 = 319$$

- diferença entre Va:

$$x_2 - \overline{Va}_1 = 0,9 - 1,0 = -0,1$$

$$x_2 - \overline{Va}_2 = 0,9 - 1,0 = -0,1$$

$$x_2 - \overline{Va}_3 = 0,9 - 0,9 = 0,0$$

- diferença entre UR:

$$x_4 - \overline{UR}_1 = 52 - 60 = -8$$

$$x_4 - \overline{UR}_2 = 52 - 56 = -4$$

$$x_4 - \overline{UR}_3 = 52 - 54 = -2$$

O Quadro 20 apresenta as diferenças entre os valores observados no dia 09.06.2009, às 11h20, e as médias por grupos.

Variável	$(x - \bar{x}_1)$	$(x - \bar{x}_2)$	$(x - \bar{x}_3)$
Temperatura do ar (°C)	5,5	0,1	-4,6
Velocidade do ar (m/s)	-0,1	-0,1	0,0
Radiação Solar (W/m ²)	534	480	319
Umidade relativa (%)	-8	-4	-2

Quadro 20 – Diferenças entre os valores da observação a ser classificada e as médias para cada um dos três grupos

Fonte: Autoria própria

A substituição dos valores apresentados no Quadro 20 na expressão 23 resulta nos dados mostrados a seguir. Os coeficientes β_j correspondem aos coeficientes das variáveis climáticas nas três funções discriminantes (equações 25, 26 e 27).

- para a Ta:

$$\left(\beta_j (x - \bar{x}_1)\right)^2 = (0,2144 \times 5,5)^2 = 1,39$$

$$\left(\beta_j (x - \bar{x}_2)\right)^2 = (-0,0636 \times 0,1)^2 = 0,00$$

$$\left(\beta_j (x - \bar{x}_3)\right)^2 = (0,0466 \times -4,6)^2 = 0,40$$

- para a Va:

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_1)\right)^2 = (-0,4173 \times -0,1)^2 = 0,00$$

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_2)\right)^2 = (-0,4852 \times -0,1)^2 = 0,00$$

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_3)\right)^2 = (0,6919 \times 0,0)^2 = 0,00$$

- para a RS:

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_1)\right)^2 = (0,0007 \times 534)^2 = 0,14$$

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_2)\right)^2 = (0,0033 \times 480)^2 = 2,51$$

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_3)\right)^2 = (0,0002 \times 319)^2 = 0,00$$

- para a UR:

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_1)\right)^2 = (0,0022 \times -8)^2 = 0,00$$

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_2)\right)^2 = (0,0185 \times -4)^2 = 0,01$$

$$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_3)\right)^2 = (0,0735 \times -2)^2 = 0,02$$

No Quadro 21 estão apresentados os escores obtidos para cada variável e o somatório para cada uma das funções discriminantes.

Variável	$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_1)\right)^2$	$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_2)\right)^2$	$\left(\underline{\beta}_j (\underline{x} - \bar{x}_3)\right)^2$
Temperatura do ar (°C)	1,3905	0,0000	0,0460
Velocidade do ar (m/s)	0,0017	0,0024	0,0000
Radiação Solar (W/m ²)	0,1397	2,5091	0,0041
Umidade relativa (%)	0,0003	0,0055	0,0216
Soma	1,5323	2,5169	0,0716

Quadro 21 – Escores obtidos para cada uma das funções discriminantes

Fonte: Autoria própria

Estes escores representam as distâncias entre a nova observação e os três grupos de estresse térmico. Ao comparar o somatório das funções discriminantes

tem-se que a observação do exemplo está mais próxima do grupo 3 (menor distância = 0,07) e mais distante do grupo 2 (maior distância = 2,52), como pode ser visto a seguir:

$$\sum_{j=1}^m [\beta_j (X - \bar{x}_3)]^2 < \sum_{j=1}^m [\beta_j (X - \bar{x}_1)]^2 < \sum_{j=1}^m [\beta_j (X - \bar{x}_2)]^2$$

$$= 0,07 < 1,53 < 2,52$$

Lembrando que a FDL classifica a observação com base na distância, a observação será classificada no grupo ao qual ela estiver mais próxima. No caso do exemplo apresentado, a observação é classificada no grupo 3.

Este é o procedimento que deve ser aplicado para cada nova observação ou indivíduo que se deseja classificar. No exemplo apresentado, a expressão 24 foi desmembrada para facilitar a compreensão de sua utilização.

3.8 MODELO PREDITIVO DE CURITBA

O modelo preditivo proposto para Curitiba avalia a sensação térmica em função das variáveis: temperatura do ar (Ta), velocidade de ar (Va), radiação solar (RS) e umidade relativa (UR). As funções discriminantes são:

$$Y_1 = 0,2144 \times Ta - 0,4173 \times Va + 0,0007 \times RS + 0,0022 \times UR \quad (28)$$

$$Y_2 = -0,0636 \times Ta - 0,4852 \times Va + 0,0033 \times RS + 0,0185 \times UR \quad (29)$$

Para classificar uma nova observação (indivíduo) em uma das três categorias de sensação térmica é necessário realizar os seguintes passos:

1. Calcular a diferença entre a nova observação e a média da variável em cada uma das três categorias (conforme dados do Quadro 22);
2. Multiplicar a diferença pelo coeficiente discriminante (β), das variáveis climáticas (conforme dados do Quadro 23) para as três categorias;
3. Elevar o resultado dessa multiplicação ao quadrado;
4. Somar o resultado obtido para o item 3 acima, para cada uma das categorias;
5. Adotar a categoria de menor valor para o item 4 acima.

As médias das variáveis climáticas para cada uma das categorias estão apresentadas no Quadro 22.

Variável	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
Temperatura do ar (°C)	14,5	19,9	24,6
Velocidade do ar (m/s)	1,0	1,0	0,9
Radiação Solar (W/m ²)	202	256	417
Umidade relativa (%)	60	56	54

Quadro 22 – Médias das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR por categoria de sensação térmica

Fonte: A autoria própria

O Quadro 23 apresenta os coeficientes discriminantes para cada uma das categorias de sensação térmica e para cada variável.

Variável	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3
Temperatura do ar (°C)	$\beta_1 = 0,2144$	$\beta_2 = -0,0636$	$\beta_3 = 0,0466$
Velocidade do ar (m/s)	$\beta_1 = -0,4173$	$\beta_2 = -0,4852$	$\beta_3 = 0,6919$
Radiação Solar (W/m ²)	$\beta_1 = 0,0007$	$\beta_2 = 0,0033$	$\beta_3 = 0,0002$
Umidade relativa (%)	$\beta_1 = 0,0022$	$\beta_2 = 0,0185$	$\beta_3 = 0,0735$

Quadro 23 – Coeficientes discriminantes das variáveis independentes Ta, Va, RS e UR para cada categoria de sensação térmica

Fonte: A autoria própria

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção estão apresentados os principais resultados obtidos nas análises da relação das características urbanas e as variáveis climáticas, da comparação entre as respostas reais e os índices PMV, PET e UTCI e do modelo preditivo de sensação térmica desenvolvido para Curitiba.

O questionário de sensação térmica foi feito com base na norma ISO 10551 (1995). Das cinco questões de sensação térmica, as duas referentes às escalas de aceitação pessoal e de tolerância, esta última em especial, geraram dificuldades de entendimento por parte dos respondentes. Utilizou-se a escala de sete pontos para as questões de percepção e de preferência, porém a maior parte das respostas se concentraram nos votos -1, 0 e 1, enquanto para os demais votos (-3, -2, 2 e 3) a quantidade de respostas obtidas foi pequena, não sendo possível considerar esses votos como categorias separadas para análise. Desta forma, optou-se por classificar a sensação térmica em três categorias, ou seja, desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor.

Com base nestas observações conclui-se que, das cinco questões propostas pela ISO 10551 (1995), as que têm maior importância para a definição da sensação térmica são as perguntas sobre a percepção térmica, a avaliação térmica e a preferência térmica. Quanto à escala proposta pela norma, considerando a pouca quantidade de votos obtidos nos pontos extremos da escala, sugere-se uma análise crítica do uso da escala de sete pontos para a realidade climática de Curitiba.

Para definir as categorias de sensação térmica, utilizou-se o cruzamento das respostas de percepção e de preferência para definir as categorias, pois somente a percepção térmica não é suficiente para classificar um indivíduo em uma das categorias propostas. Considerando que cada pessoa avalia o ambiente térmico de forma diferente e que fatores psicológicos e fisiológicos influenciam esta avaliação, concluiu-se que o cruzamento dos votos de percepção e preferência é a forma mais adequada de classificar as pessoas em cada uma das categorias de sensação térmica.

A análise dos atributos urbanos, utilizando o FVC e a razão H/W, mostra que somente o uso destes indicadores para analisar a configuração urbana não é suficiente para entender a relação da geometria urbana e o comportamento das

variáveis climáticas. De modo geral observou-se, com o auxílio da foto olho de peixe e da carta solar, que a orientação do cânion e o perfil vertical das suas fachadas têm grande influência nas condições climáticas locais no período analisado.

A Rua XV de Novembro tem orientação Leste/Oeste com azimute do eixo da via de 67°. Devido a sua orientação, as fachadas recebem diferentes quantidades de insolação, sendo que a fachada Norte é a que recebe menos insolação. Nos pontos em que as edificações da fachada Norte são mais altas, como por exemplo os pontos 2, 5, 6 e 13, ocorre o sombreamento de parte da via no período de inverno. Nas praças e cruzamentos (pontos 4, 8, 11, 14 e 16) praticamente não há sombreamento em função da presença de edificações, porém, as árvores existentes na Praça Osório (ponto 11) forneceram sombra no período monitorado. Em geral, na Rua XV de Novembro, há incidência direta da radiação solar durante o verão, e em alguns pontos há sombreamento no período de inverno.

A análise da sensação térmica mostra que, nos dias mais quentes (entre janeiro e maio), houve maior quantidade de pessoas em conforto nos pontos onde foram registrados valores mais baixos de radiação solar, temperatura do ar e temperatura radiante média. Em situações com altos valores de radiação solar, temperatura do ar e temperatura radiante média associados a baixos valores de velocidade do vento e umidade relativa houve maior desconforto para o calor. No período frio (entre junho e agosto), a combinação de baixa temperatura do ar e radiação solar, associada à alta velocidade do ar e umidade relativa, foi considerada desconfortável, com maior quantidade de pessoas em desconforto para o frio. Nos pontos com maior incidência solar ou com valores mais altos de temperatura do ar e baixa velocidade do ar houve mais pessoas em situação de conforto térmico.

Os resultados da análise da configuração urbana e sua relação com a sensação térmica sugerem que no período de verão a população prefere situações sombreadas com baixa incidência de radiação solar e valores mais altos de umidade relativa e velocidade do ar. Já no período de inverno, verificou-se a preferência por situações com insolação direta, temperatura do ar alta e baixa umidade relativa e velocidade do ar.

Os resultados desta pesquisa mostram que a configuração urbana influencia na sensação térmica. Entretanto, é necessário analisar os aspectos urbanos que mais afetam a sensação térmica para que se possa propor equipamentos urbanos que ajudem a melhorar o ambiente térmico de espaços abertos.

No capítulo 2 foi apresentada a revisão das pesquisas sobre conforto térmico em espaços abertos realizadas nos últimos 20 anos no Brasil. A revisão mostra que a maioria das pesquisas sobre conforto térmico em espaços abertos analisa a aplicação de índices existentes para a avaliação do conforto térmico e que a partir de 2009 houve maior número de trabalhos nesta área. Os índices mais utilizados são o PMV, PET e o SET*, sendo que pelo menos uma deles foi analisado nas pesquisas desenvolvidas por Katzschner et al. (1999), Andrade et al. (2001), Lois e Labaki (2001), Takenaka e Faria (2003), Ananian, Fontes e Silva (2005), Araújo et al. (2007), Monteiro e Alucci (2007a, 2007b), Pareja Júnior et al. (2007), Abreu e Labaki (2009), Brusantin e Fontes (2009), Dacanal et al. (2009), Minella, Rossi e Krüger (2009), Rossi et al. (2009), Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009), Barlati e Bueno-Bartholomei (2011), Fontes e Brusantin (2011), França e Barbirato (2011) e Shinyashiki e Bueno-Bartholomei (2011). Somente uma pesquisa teve como objetivo propor um índice específico para as condições climáticas da cidade de São Paulo/SP (MONTEIRO, 2008).

A comparação da frequência relativa das respostas reais de sensação térmica e das respostas previstas pelos índices PMV, PET e UTCI para Curitiba mostra que os três índices subestimam a quantidade de pessoas em conforto e superestimam a quantidade de pessoas em desconforto tanto para o calor quanto para o frio. Ao analisar as respostas previstas pelos três índices em função das variáveis climáticas, observou-se que há sobreposição das três categorias de sensação térmica.

Para o índice PMV, calculado para toda a amostra, há sobreposição das três categorias entre os valores PMV de -1 a 3, com desconforto para o calor ocorrendo para valores acima de 2, e desconforto para o frio entre -0,5 e 1,5. Para o PMV calculado para os 711 questionários, a sobreposição ocorre para os valores PMV entre -0,5 e 2, havendo desconforto para o frio em valores entre 0,5 e 1,5, e desconforto para calor entre 1,5 e 3.

Em relação ao PET, há sobreposição entre os valores PET de 9°C e 30°C, sendo que o desconforto para o frio se concentra em valores PET abaixo de 18°C e o desconforto para o calor, em valores PET acima de 24°C. Considerando o índice UTCI, tem-se a sobreposição das três categorias entre os valores UTCI de 12°C a 36°C, com o desconforto para o frio ocorrendo com mais frequência em valores inferiores a 24°C, e o desconforto para o calor, em valores superiores a 12°C.

As respostas previstas pelos índices PET e UTCI são similares. A correlação entre as três categorias de sensação térmica é de $R=0,98$, enquanto o coeficiente de determinação é $R^2=0,96$. É possível, por meio de uma equação de regressão linear simples, calcular as respostas PET em função dos valores UTCI e vice-versa. Há similaridade entre as respostas previstas pelos índices PMV e PET e PMV e UTCI. Entretanto, a correlação entre estes índices é menor que a correlação entre o PET e UTCI. As correlações entre o PMV e o PET são de 0,89 para desconforto para o frio e de 0,96 para conforto e desconforto para o calor. Entre o PMV e o UTCI, as correlações são de 0,84 para desconforto para o frio, 0,93 para conforto e 0,97 para desconforto para o calor.

Em relação à análise das respostas reais de sensação térmica em função das variáveis climáticas monitoradas, verificou-se a sobreposição das três categorias de sensação (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor). A partir das análises dos gráficos de dispersão é possível definir dois grupos distintos: desconforto para o frio e desconforto para o calor. As respostas de conforto se misturam com as de desconforto, não sendo possível definir um grupo separado. Observa-se que há desconforto para o calor em T_a acima de 22°C , independente do efeito da radiação e desconforto para o frio em T_a abaixo de 18°C com pouca incidência solar, isto é, radiação solar inferior a 300 W/m^2 ou diferença entre T_{rm} e T_a de até 10°C . Não é possível distinguir faixas para cada categoria de sensação térmica em função da velocidade do ar e da umidade relativa.

O fato de Curitiba apresentar grande amplitude térmica diária, com média anual de 16°C (DANNI-OLIVEIRA, 1999), pode explicar a grande dispersão das respostas de conforto em função da temperatura do ar.

A comparação entre as respostas reais e previstas pelos índices mostra que os índices não são adequados para prever a sensação térmica da população de Curitiba, indicando a necessidade de calibração dos índices PET e UTCI. O índice PMV foi desenvolvido para ambiente interno, porém, conforme revisão de literatura apresentada no capítulo 2, seu uso para prever o conforto em ambiente aberto é generalizado. Considerando as definições das faixas climáticas dispostas na norma ISO 7730 (2005) para o uso do índice PMC e apresentadas na seção 3.5, nesta pesquisa, foram considerados os dados de PMV para a amostra total (1685 questionários) e os dados que se enquadram nas faixas climáticas sugeridas pela norma, ou seja, 711 questionários (42% do total dos 1685 respondentes). Os

resultados obtidos para os dois conjuntos de dados não apresentaram grandes diferenças. Levando em conta a grande quantidade de dados descartados e os resultados obtidos, é possível afirmar que este índice não é adequado para a predição de conforto térmico em ambientes externos.

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas nos últimos anos com o objetivo de verificar a aplicabilidade de alguns índices de conforto para diferentes realidades climáticas brasileiras. Os resultados destas pesquisas mostram que as respostas reais e as preditas pelos índices não são iguais, sugerindo que os índices analisados precisam ser calibrados para as condições climáticas estudadas. A pesquisa de Costa (2003) mostrou a necessidade de calibração dos índices PMV, PET e SET para Nata/RN. Monteiro (2008) e Hirashima (2010) propuseram a calibração do índice PET para São Paulo/SP e Belo Horizonte/MG, respectivamente. A calibração dos índices PMV e PET foram sugeridas nas pesquisas de Dacanal et al. (2009) para Campinas/SP, de Brusantin e Fontes (2009), Shimakawa e Bueno-Bartholomei (2009), Barlati e Bueno-Bartholomei (2011) e Shinyashiki e Bueno-Bartholomei (2011) para Presidente Prudente/SP e Bauru/SP e a pesquisa de Souza (2010) sugeriu a calibração desses índices para Salvador/BA.

A calibração proposta por Monteiro (2008) para os índices PMV e PET para São Paulo/SP foi realizada para dois conjuntos de dados, um mais restrito (com predominância de situações de calor) e o outro mais amplo, abrangendo situações de frio e de calor. A comparação da calibração para o segundo conjunto de dados calibração (situações térmicas mais abrangentes) para a amostra obtida para Curitiba, observou-se que a calibração realizada para São Paulo, apesar de predizer mais pessoas em conforto, não é adequada para Curitiba, pois a diferença entre as respostas reais e as preditas após a calibração é grande. As faixas calibradas por Monteiro (2008) para o PMV são: (1) desconforto para o frio: $< -0,9$; (2) conforto: entre $-0,9$ a $0,6$ e (3) desconforto para o calor $> 0,6$; e para o PET são: (1) desconforto para o frio: $< 18^{\circ}\text{C}$; (2) conforto: entre 18 e 26°C e (3) desconforto para o calor $> 26^{\circ}\text{C}$.

A Tabela 18 e a Tabela 19 mostram as frequências relativas das respostas de sensação térmica real e das respostas preditas pelo índice PMV, sem calibração e calibrados por Monteiro (2008).

A Tabela 18 mostra os dados para o PMV calculado para as condições estabelecidas pela ISO 7730 (2005), isto é, para os 711 questionários que

satisfazem as condições da norma. Comparando os valores preditos pelo PMV, há um aumento de 5,5% (de 19,4% para 24,9%) de pessoas em conforto ao se utilizar a faixa interpretativa calibrada. Entretanto, a maior parte das pessoas (74,7%) permanece em desconforto para o frio, enquanto as respostas reais mostram que a maioria dos respondentes estava em conforto (61,2%).

Tabela 18 – Frequência relativa da sensação térmica real, do índice PMV sem calibração e calibrado por Monteiro, para 711 indivíduos

	sem calibração		Índice calibrado
	Sensação térmica	PMV 711	PMV 711
	%	%	%
desconforto para o frio (1)	17,6	1,5	0,4
conforto (2)	61,2	19,4	24,9
desconforto para o calor (3)	21,2	79	74,7
Total	100	100	100

Fonte: autoria própria

Onde: N = número de respondentes

Na Tabela 19 estão as frequências relativas do PMV calculado para toda a amostra (1685 indivíduos). O comportamento é semelhante ao observado anteriormente. Houve um aumento de 4,8% na quantidade de pessoas em conforto (de 18,9% para 23,7%), porém, a maior parte das pessoas está desconfortável para o calor. Os resultados obtidos aplicando as faixas calibradas do PMV sugerem que, para Curitiba, o limite entre a faixa de conforto e a de desconforto para o calor poderia ser maior que 0,6, que é o limite sugerido para São Paulo.

Tabela 19 – Frequência relativa da sensação térmica real, do índice PMV sem calibração e calibrado por Monteiro, para 1685 indivíduos

	sem calibração		Índice calibrado
	Sensação térmica	PMV	PMV
	%	%	%
desconforto para o frio (1)	17,6	2,2	0,5
conforto (2)	61,2	18,9	23,7
desconforto para o calor (3)	21,2	78,9	75,8
Total	100	100	100

Fonte: autoria própria

Onde: N = número de respondentes

A Tabela 20 mostra as frequências relativas das respostas de sensação térmica real e das respostas preditas pelo índice PET, sem calibração e calibrados por Monteiro (2008). A faixa interpretativa calibrada para o PET apresentou melhores resultados que a calibração do PMV, aumentando em 11,4% a quantidade

de pessoas em conforto. Entretanto, a calibração para este índice continua superestimando a quantidade de pessoas em desconforto para o frio e para o calor. Os resultados sugerem que, para o PET, a faixa de conforto para Curitiba é maior que a faixa de 18 a 26°C sugerida para São Paulo.

Tabela 20 – Frequência relativa da sensação térmica real, do índice PET sem calibração e calibrado por Monteiro, para 1685 indivíduos

	sem calibração		índice calibrado
	Sensação térmica	PET	PET
	%	%	%
desconforto para o frio (1)	17,6	40,7	38
conforto (2)	61,2	22,2	33,6
desconforto para o calor (3)	21,2	37,2	28,4
Total	100	100	100

Fonte: autoria própria

Onde: N = número de respondentes

A revisão de literatura mostra a necessidade de utilizar índices específicos ou calibrados para condições climáticas locais. Porém, para o Brasil, somente uma pesquisa foi realizada com o objetivo de propor um modelo preditivo. Monteiro (2008) propõe um modelo preditivo de sensação térmica para ambientes externos para a cidade de São Paulo, utilizando regressão linear múltipla. O método utilizado por Monteiro (2008) difere significativamente do método apresentado nesta pesquisa, sendo difícil a comparação dos resultados obtidos. Entretanto, os dados levantados para Curitiba foram aplicados no modelo proposto para São Paulo e comparados com as respostas reais.

A temperatura equivalente percebida (TEP) foi calculada a partir da regressão linear (equação 38) proposta por Monteiro (2008). Para a população analisada pelo autor, a neutralidade ocorre entre as temperaturas equivalentes de 21,5°C e 25,3°C, sendo que, acima de 25,3°C ocorre algum grau de desconforto para o calor e, abaixo de 21,5°C, ocorre algum grau de desconforto para o frio.

$$TEP = -3,777 + 0,4828 \times Ta + 0,5172 \times Trm + 0,0802 \times UR - 2,322 \times Va \quad (30)$$

onde:

TEP = temperatura equivalente percebida

Para a amostra obtida em Curitiba, o cálculo da temperatura equivalente percebida mostra que 17,7% da amostra está na faixa de neutralidade, 41,8% está

em desconforto para o frio e 40,5%, em desconforto para o calor. Os resultados são consideravelmente diferentes se comparados com as respostas reais, as quais mostram que 61,2% dos respondentes estão em conforto, 17,6%, em desconforto para o frio e 21,2%, em desconforto para o calor (Tabela 21). Já as respostas calculadas pelo modelo preditivo proposto, mostram que há 25,4% de pessoas em conforto, 28,8% em desconforto para o frio e 45,8 em desconforto para o calor.

Tabela 21 – Frequência relativa da sensação térmica real e da temperatura equivalente percebida (TEP)

	Sensação térmica	TEP	Modelo de Curitiba
	%	%	%
desconforto para o frio (1)	17,6	41,8	28,8
conforto (2)	61,2	17,7	25,4
desconforto para o calor (3)	21,2	40,5	45,8
Total	100	100	100

Fonte: autoria própria

Onde: N = número de respondentes

As diferenças observadas em relação às respostas reais e as previstas pelo modelo de Curitiba ocorre devido a grande dispersão das respostas reais de sensação térmica. Devido à essa dispersão, a taxa de acerto total do modelo é de 53%, enquanto que a taxa de acerto para a categoria de desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor é de, respectivamente, 76%, 38% e 75% (Quadro 16).

A grande diferença dos resultados das comparações entre os dados de sensação térmica real para Curitiba, os índices PMV e PET calibrados para São Paulo e o modelo preditivo desenvolvido para São Paulo sugere que a calibração destes índices e a TEP desenvolvida para São Paulo não são adequados para a predição da sensação térmica da população de Curitiba.

As diferenças observadas, nesta pesquisa, entre as respostas previstas e as reais podem ser explicadas pelo fato de os índices analisados considerarem somente aspectos fisiológicos e climáticos, enquanto as respostas reais podem ser influenciadas por aspectos emocionais, psicológicos, socioculturais e adaptativos, sugerindo que os índices de conforto térmico não devem ser utilizados em diferentes zonas culturais e climáticas sem considerar os aspectos psicológicos envolvidos na avaliação ambiental (KNEZ, THORSSON, 2006). Considerando que os índices analisados nesta pesquisa não predisseram adequadamente a sensação de

conforto, foi proposto um modelo de predição com base nas respostas reais de sensação térmica para a população de Curitiba.

Nesta pesquisa não foram abordados aspectos relativos à adaptação psicológica. Entretanto, optou-se por utilizar o cruzamento das respostas de percepção e de preferência térmica para definir as categorias de sensação térmica, por considerar que nas respostas de preferência sejam avaliados inconscientemente alguns aspectos psicológicos definidos por Nikolopoulou e Steemers (2003).

As pesquisas de conforto térmico em espaços abertos, em geral, usam modelos de regressão linear múltipla para a predição das respostas de sensação térmica. Entretanto, a sensação térmica é uma variável não-métrica, isto é, os números designados às categorias ou grupos não têm significado quantitativo (HAIR et al., 2005).

Desta forma, optou-se por utilizar os métodos estatísticos Função Discriminante Linear (FDL) e o Modelo de Regressão Logístico (MRL) para o desenvolvimento do modelo preditivo. Estes dois métodos são denominados de métodos de discriminação ou classificação, pois classificam indivíduos de uma amostra em categorias ou grupos pré-definidos. Tanto a FDL quanto o MRL são técnicas multivariadas adequadas quando a variável dependente é categórica. Para estas duas técnicas é necessário ter pelo menos o mesmo número de variáveis independentes quanto o número de categorias da variável resposta. No caso desta pesquisa, a sensação térmica (variável resposta) tem três categorias (desconforto para o frio, conforto e desconforto para o calor), assim, são necessárias no mínimo três variáveis independentes para elaboração das funções matemáticas. Foram testadas as variáveis T_a , V_a , RS , T_{rm} , UR e UA e, após comparação das porcentagens de acerto total e por categoria, concluiu-se que os resultados obtidos nos dois métodos são semelhantes, independentemente da combinação das variáveis.

O MRL obteve maior porcentagem (em torno de 65%) de acerto total – razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número total de observações - porém, a taxa de acerto por categorias (razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número de observações na categoria) foi baixa. Em geral, o MRL classifica a maioria dos indivíduos na categoria 2 (conforto), classificando corretamente aproximadamente 30% de indivíduos nas categorias 1 e 3. A FDL tem taxa de classificação total mais baixa que o MRL, em

torno de 52%. Entretanto, tem maior porcentagem de acertos por categorias, principalmente nas categorias 1 e 3.

As baixas taxas de acerto obtidas pelos dois métodos podem ser explicadas pela grande mistura que há entre as três categorias de sensação térmica. Os gráficos de dispersão apresentados na seção 3.6.2 mostram que os votos de conforto estão misturados com as respostas de desconforto, não sendo possível definir um grupo separado a partir daqueles votos. Em relação às respostas de desconforto, é possível delimitar dois grupos distintos, o que aumenta as taxas de classificação para as categorias 1 e 3. Apesar da FDL ter menor taxa de acerto total, concluiu-se que este método é mais adequado para o modelo de predição de sensação térmica para Curitiba por ter maior taxa de acerto nas categorias de desconforto para o frio e desconforto para o calor.

A taxa de acerto de aproximadamente 50% obtida pela FDL é similar ao resultado obtido por Nikolopoulou e Steemers (2003) ao analisar aspectos psicológicos relacionados à sensação térmica. Os autores afirmam que as variáveis climáticas têm forte influência na sensação térmica, mas estas explicam aproximadamente 50% da variação entre a avaliação objetiva e subjetiva de conforto. O restante pode ser explicado por questões de adaptações físicas, fisiológicas e psicológicas. O ambiente é percebido por cada pessoa de maneira diferente, sendo que a resposta humana ao estímulo físico não está diretamente relacionada à magnitude deste estímulo, mas depende da informação²¹ que as pessoas têm de determinada situação. Diferente dos aspectos físicos que podem ser quantificados, não é possível medir o efeito das adaptações psicológicas. Entretanto, o entendimento da relação entre estes fatores psicológicos pode ajudar a verificar se o desenho urbano os influencia, e vice-versa.

²¹ De acordo com Nikolopoulou e Steemers (2003), a informação está relacionada com as características naturais do ambiente, a expectativa, a experiência ou memória de curto e longo prazo do ambiente térmico, o tempo de exposição ao ambiente e o grau de controle do desconforto com os estímulos ambientais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação e a compreensão do conforto térmico em espaços abertos podem ajudar a melhorar a qualidade dos mesmos, influenciando positivamente o seu uso e o comportamento das pessoas. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo analisar a sensação térmica da população de Curitiba e responder a pergunta: existe um método para a avaliação dos graus de sensação térmica da população de Curitiba, que seja adequado à realidade climática da cidade?

A metodologia utilizada compreendeu quatro etapas: (1) análise da relação entre as características urbanas e a sensação térmica; (2) análise da sensação térmica real, a partir dos dados coletados; (3) análise da sensação térmica por meio dos índices PMV, PET e UTCI e (4) proposição de um modelo preditivo de sensação térmica para Curitiba.

Os levantamentos de campo ocorreram em 15 dias, totalizando 29 situações urbanas diferentes. O monitoramento ocorreu no período entre 10h00 e 15h00, tendo sido monitorados dados climáticos e levantados dados pessoais, por meio de questionários.

Em relação aos procedimentos adotados constatou-se que:

- das cinco questões sugeridas pela norma ISO 10551 (1995), as que têm maior importância para a definição da sensação térmica são as perguntas sobre percepção térmica, avaliação térmica e preferência térmica;
- quanto à escala proposta pela referida norma, devido à pequena quantidade de votos nos pontos extremos da escala, é necessário realizar uma análise crítica do uso da escala de sete pontos para a realidade climática de Curitiba;
- a definição das categorias de sensação térmica pelo cruzamento das respostas de percepção e de preferência térmica foi adequada, pois considerou-se que nas respostas de preferência sejam avaliados inconscientemente aspectos psicológicos, que são difíceis de serem medidos e quantificados, mas que influenciam a avaliação térmica do ambiente.

A partir dos resultados obtidos na análise dos atributos urbanos e sua relação com as variáveis climáticas e a sensação térmica, concluiu-se que somente a utilização do fator de visão do céu (FVC) e da relação entre altura e largura das vias (H/W) como indicadores da geometria urbana não é suficiente para entender a relação da geometria urbana e o comportamento das variáveis climáticas. Informações sobre a orientação do cânion e perfil vertical das fachadas são importantes para compreender o comportamento das variáveis climáticas e propor sugestões que melhorem o conforto térmico no ambiente urbano.

A comparação entre as respostas reais de sensação térmica e as respostas previstas pelos índices PMV, PET e UTCI mostrou que os três índices subestimam a quantidade de pessoas em conforto. A análise de cada um dos índices sugere que eles não são adequados para a previsão da sensação térmica da população de Curitiba, sendo necessária sua calibração. As diferenças observadas podem ser explicadas pelo fato de os índices considerarem somente aspectos fisiológicos e climáticos, enquanto as respostas reais podem ser influenciadas por aspectos emocionais, psicológicos, socioculturais e adaptativos.

A análise da sensação térmica real e das variáveis climáticas mostrou que somente uma variável não é suficiente para explicar a sensação térmica, e que as três categorias de sensação térmica se misturam entre si, não havendo clara distinção entre o grupo de conforto e os de desconforto para o frio e para o calor, o que dificultou a definição de faixas climáticas de conforto térmico para Curitiba. Ao analisar a sensação térmica real em função do conjunto das variáveis climáticas observou-se que a temperatura do ar, a radiação solar e a temperatura radiante média são as variáveis de maior influência na sensação térmica.

Para a definição do modelo preditivo para Curitiba optou-se por utilizar métodos estatísticos de análise de dados categóricos. Foram testados o Modelo de Regressão Logístico (MRL) e a Função Discriminante Linear (FDL). A FDL teve 53% de acerto total (razão entre o número de observações classificadas corretamente e o número total de observações), enquanto que o MRL teve 65%. A baixa taxa de acerto dos modelos pode ser explicada pela grande mistura das respostas das três categorias de conforto e, em consequência, da dificuldade de separar as três categorias em grupos bem definidos. Para o conjunto de dados analisados, concluiu-se que a FDL mostrou melhor desempenho que o MRL.

Os resultados obtidos mostram a complexidade da análise da sensação térmica em espaços abertos. Além das variáveis climáticas, passíveis de medição e quantificação, há as variáveis socioculturais, psicológicas e adaptativas que são difíceis de serem quantificadas, mas que influenciam a sensação térmica.

Dentre as limitações desta pesquisa, cita-se:

- a dificuldade de medição e quantificação das variáveis socioculturais e psicológicas;
- a escolha de determinados dias para monitoramento, que dependeu da ocorrência de dias estáveis para a realização do trabalho e da disponibilidade de equipe de apoio para aplicação dos questionários;
- a impossibilidade de escolha da amostra.

Em relação às pesquisas futuras, sugere-se:

- proposição de melhorias urbanas (equipamentos urbanos, estratégias de sombreamento, etc.) para os pares de pontos analisados;
- utilização de programas computacionais para simulações microclimáticas e de sensação e comportamento do pedestre;
- aperfeiçoamento da metodologia utilizada a fim de considerar os aspectos psicológicos e sociológicos da sensação térmica;
- calibração dos índices PMV, PET e UTCI para Curitiba;
- aperfeiçoamento da metodologia para a proposição de faixas climáticas ou interpretativas de sensação térmica para Curitiba;
- verificação do comportamento do modelo desenvolvido para Curitiba para outras situações climáticas.

Para finalizar, conclui-se que a metodologia proposta neste estudo para avaliação da sensação térmica e proposição de modelo preditivo de sensação térmica para a cidade de Curitiba pode contribuir para fundamentar as futuras pesquisas sobre sensação térmica, podendo ser aplicada em outras localidades e ser utilizada como instrumento de planejamento urbano. O modelo preditivo proposto pode ser utilizado para avaliar as condições de conforto térmico de espaços abertos e contribuir para proposição de soluções de planejamento e projeto urbano.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Loyde V.; LABAKI, Lucila C. Avaliação do raio de influência da vegetação no microclima proporcionado por diferentes espécies arbóreas. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.
- ABREU, Loyde V.; LABAKI, Lucila C. Comparação de métodos de conforto térmico em ambientes externos para avaliação do raio de influência de espécie arbórea decídua. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.
- ADRIAZOLA, Marcia K. O. **Avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR, Unidade Curitiba**. 2002. 132f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- ALI-TOUDERT, Fazia; MAYER, Helmut. Effects of street design on outdoor thermal comfort. In: Kiss, A., Mezösi, G., Sümeghy, Z. eds.. Landscape, Environment and Society. Studies in Honour of Professor Ilona Bárány-Kevei on the Occasion of Her Birthday. SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, p.45-55, 2006.
- ALI-TOUDERT, Fazia; MAYER, Helmut. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, v.81, p.742–754, 2007. [doi:10.1016/j.solener.2006.10.007](https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.10.007)
- ALVA, Eduardo N. **Metrópoles (In)Sustentáveis**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- ANANIAN, Priscilla; FONTES, Maria S. G. de C.; SILVA, B. Avaliação quanto ao desempenho térmico de equipamento urbano no calçadão de Bauru. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ENTAC, 2005. 1 CD-ROM.
- ANDRADE, Suely. F. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. 1996. Dissertação Mestrado em Engenharia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em: < http://www.eps.ufsc.br/disserta96/suely/index/ind_sue.htm > Acesso em 21 jan. 2004.
- ANDRADE, Telma C. Q.; MÉNDEZ, Karenina U.; ROCHA, Marcia M. B.; BASTOS, Marcílio de S. Condições de conforto térmico na orla de Salvador abrangida pela lei municipal 5.502/99. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001. 1 CD-ROM.

ANDRUSKI GUIMARÃES, Inácio. **Construção e avaliação de uma regra de reconhecimento e classificação de clientes de uma instituição financeira com base na análise multivariada**. 2000. 142 f. Dissertação Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ARAÚJO, Carla V. de A.; MAIA, Ana Flávia R. de A. B.; BENTES SOBRINHA, Dulce; PEDRINI, Aldomar. Recomendações de sombreamento para espaços de circulação de pedestres no campus da UFRN. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

ARAÚJO, Virginia M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. 1996. Tese Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*. **Standard 55-2004 Thermal environmental conditions for human occupancy**. Aprovada em janeiro de 2004. Atlanta: ASHRAE, 2004.

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*. Thermal comfort. In: **Fundamentals**, Chapter 8. Atlanta: ASHRAE, 2005.

ASSIS, Eleonora S. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana**: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. 1990. 164f. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

ASSIS, Eleonora S. **Impactos na forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. 2000. Tese Doutorado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DO PARANÁ - ACP. Calçadão da XV vai brilhar de novo. 22 de novembro de 2007. Disponível em: http://www.acpr.com.br/index.php?a=novembro_2007.php Acesso em 04 nov. 2009.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003.

BARBETTA, Pedro A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. 5.ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 2006.

BARBIRATO, Gianna, M. **Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico de Maceió-AL**. 1998. 173f. Tese Doutorado em

Engenharia – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BARBIRATO, Gianna M.; MATTOS, Arthur. O uso da modelagem climática no planejamento dos espaços urbanos. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5, 1999, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, CE: ENTAC, 1999. 1 CD-ROM.

BARBOSA, Milton de A. **Influência do paisagismo e tecnologia construtiva no clima e qualidade de espaços residenciais com exemplo na Vila Tecnológica de Curitiba/Pr.** 2008. 157f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BARDET, Gaston. **O urbanismo.** Campinas: Papirus, 1990.

BARLATI, Amanda B.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Calçada de Presidente Prudente – SP: o conforto térmico em espaços públicos abertos. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L.; LABAKI, Lucila C.; VIANNA, Priscila Z. Comportamento de diferentes espécies arbóreas quanto à atenuação da radiação solar. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001. 1 CD-ROM.

BECK, Hernst-Georg. 180 years of atmospheric CO₂ gas analysis. In: **Energy and Environment.** v.18. n.2. 2007.

BENJAMIN, Walter. A obra de arte na era da reprodutibilidade técnica. In: BENJAMIN, Walter. **Magia e técnica, arte e política.** São Paulo: Brasiliense, 1985. p.165-196.

BERNAN, Walter. **History and art of warming and ventilating rooms and buildings.** London: George Bell, 1845. Disponível em: <<http://books.google.com.br/>> Acesso em 16 out. 2009.

BLANCHET, Izabelle V. **Análise bioclimática dos parâmetros de conforto térmico humano e sua relação com os índices termohigrométricos e a forma urbana do bairro Bigorillho em Curitiba.** 2004. 128f. Dissertação Mestrado em Geografia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

BOURBIA, Fatiha.; AWBI, Hazim B. Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 2: Shading simulations. In: **Renewable Energy**, v.29, p.291–301, 2004.

BRANDÃO, Ana M. P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. 1996. 196 f. Tese Doutorado em Geografia – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BRÖDE, Peter; JENDRITZKY, Gerd; FIALA, Dusan; HAVENITH, George. The Universal Thermal Climate Index UTCI in Operational Use. **Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort**. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010.

BRUSANTIN, Giovana N.; FONTES, Maria S. G. C. Conforto térmico em espaços públicos de permanência: uma experiência na cidade de Bauru-SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

BUENO, Carolina L.; LABAKI, Lucila C.; SANTOS, Rozely F. Caracterização das espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, 1997, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: ENTAC, 1997. 1 CD-ROM.

CARVALHO, Homero J. M. de; CAVALCANTI, Andréa K. G.; RIBEIRO, Carlos A.; ROCHA, Juliana P.; SILVA, Maglane P. da; SILVEIRA, Julio G. da; SANTOS, Marconi A. dos. Relação entre o sombreamento provocado pelas edificações e o campo térmico. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

CASTANHEIRA, R. G.; COSTA, C. E. S. Estudo da radiação solar incidente em planos inclinados no Rio de Janeiro parte 1: situação de verão. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001a. 1 CD-ROM.

CASTANHEIRA, R. G.; COSTA, C. E. S. Estudo da radiação solar incidente em planos inclinados no Rio de Janeiro parte 2: situação de inverno. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001b. 1 CD-ROM.

CASTELLS, Manuel. **La cuestión urbana**. 5. ed. México: Siglo Veintiuno Editores, 1978.

CHAVES NETO, Anselmo. Análise Multivariada aplicada à pesquisa. **Notas de Aula**. UFPR, 2008.

CHOAY, Françoise. **O urbanismo**: utopias e realidades, uma antologia. 5. ed. São Paulo: editora Perspectiva S.A., 1998.

CORBELLA, Oscar D.; YANNAS, Simos. Posto 3 Copacabana Rio de Janeiro. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4, 1997, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: ENTAC, 1997. 1 CD-ROM.

COSTA, Angelina D. L. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: uma experiência no bairro de Petrópolis, em Nata/RN.** 2003. 183f. Dissertação Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

COSTA, Angelina; ARAÚJO, Virginia. Estudo do conforto térmico em ambientes externos: o caso de Petrópolis em Natal/RN. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ENTAC, 2003. 1 CD-ROM. p.616-623.

COSTA, Angelina; RODRIGUES, Gelly; LABAKI, Lucila. Tipos de revestimento do solo e sua influência no microclima: estudo de caso para a Unicamp – SP. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ENTAC, 2005. 1 CD-ROM.

DACANAL, Cristiane; RIBEIRO, Bruno; RANCURA, Raquel L.; LABAKI, Lucila C. Conforto térmico em espaços livres públicos: estudo de caso em Campinas, SP. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

DANNI, Inês M. **Aspectos temporoespaciais da temperatura e da umidade relativa de Porto Alegre-RS em janeiro de 1982:** uma contribuição ao estudo do clima urbano. São Paulo, 1987. 129f. Dissertação Mestrado em Geografia - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

DANNI-OLIVEIRA, Inês M. Aspectos conceituais do sistema clima urbano: uma breve revisão bibliográfica sobre ilhas de calor. In: **Cadernos de Geociências.** Rio de Janeiro, n.15, p.13-26, jul/set 1995.

DANNI-OLIVEIRA, Inês M. Aspectos climáticos de Curitiba - PR: uma contribuição para o ensino médio. In: **RA'EGA**, n.3, p.229-253, 1999.

DINES, Milton. **Climatologia urbana e o desenho das cidades: insumos para o planejamento da metrópole paulistana.** 1991. Dissertação Mestrado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

DUARTE Denise H. S. **Clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá-MT.** 1995. Dissertação Mestrado em Arquitetura – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

DUARTE, Denise H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 296f. Tese Doutorado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUMKE, Eliane M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitações de interesse social**. 2002. 230f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

DUMKE, Eliane M. S. **Clima urbano/conforto térmico e condições de vida na cidade: uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da Região Metropolitana de Curitiba AU-RMC**. 2007. 417f. Tese Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EISLER, Anna D.; EISLER, Hannes; YOSHIDA, Mitsuo. Perception of human ecology: cross-cultural and gender comparisons. **Journal of Environmental Psychology**, v.23, n.1, p.89-101, março, 2003. [doi: 10.1016/S0272-4944\(02\)00083-X](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(02)00083-X)

FANGER, Poul O. **Thermal Comfort**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1982.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORI, Patrícia; SILVA, Fabiana L. da; CHAN, Betty L. **Análise de dados: modelagem multivariada na tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FELIX, Victor B. **Condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas**. 2008. 110f. Dissertação Mestrado em Engenharia – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FERNANDES, Leandro C. **Utilização de equações preditivas para estimativa da temperatura interna de edificações de interesse social**. 2005. 187f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FERRARI, Celson. **Curso de planejamento municipal integrado: urbanismo**. 5 ed. São Paulo: Pioneira, 1986.

FIALA, Dusan; LOMAS, Kevin .J.; STOHRER, Martin. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. **Journal of Applied Physiology**, v87, p.1957-1972, 1999. [doi: 10.1007/s004840100099](https://doi.org/10.1007/s004840100099).

FIALA, Dusan; LOMAS, Kevin .J.; STOHRER, Martin. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental

conditions. **International Journal of Biometeorology**, v.45, n.3, p.143-159, 2001.
[doi: 10.1007/s004840100099](https://doi.org/10.1007/s004840100099).

FIALA, Dusan; LOMAS, Kevin .J.; STOHRER, Martin. First principles modeling of thermal sensation responses in steady-state and transient conditions. **ASHRAE Transactions**, v.109, p.179-186, 2003.

FIALA, Dusan. LOMAS, Kevin .J.; STOHRER, M. Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort. In: MEKJAVIC, I.B.; KOUNALAKIS, S.N.; TAYLOR, N.A.S. eds. **Proceedings** of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics, Portoroz, Slovenia, p.513-515, 2007.

FIALA, Dusan; HAVENITH, George; BRÖDE, Peter; KAMPMANN, Bernhard; JENDRITZKY, Gerd. UTCI-Fiala multi-node model of human temperature regulation and thermal comfort. **International Journal of Biometeorology** special issue, 2011.
[doi: 10.1007/s00484-011-0424-7](https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7).

FILL, Heinz D.; SUGAI, Martha R. V. B.; HILU, Andrey. Caracterização climatológica da região metropolitana de Curitiba. In: **Engenharia e Construção**, Curitiba, n.28, p.17-21, jan. 1999.

FONTANELLA, Márcia S. **Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**. 2009. 145f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FONTES, Maria Solange G. C. **Efeito climático das áreas de fundo de vale no ambiente urbano: o caso de São Carlos-SP**. 1998. Tese Doutorado em Arquitetura – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

FONTES, Maria Solange G. de C.; BRUSANTIN, Giovana. Limites de conforto térmico em um espaço público de permanência arborizado. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

FOUNTAIN, Marc E.; HUIZENGA, Charlie. A thermal comfort prediction tool. **ASHRAE Journal**, v.38, n.9, p.39-42, 1996.

FRANCO, Fernanda M.; GOMES, Francisco J. D.; ROSSETI, Karyna de A. C.; PEREIRA, Osvaldo A.; PEREIRA, Roberto B. de O.; GAIO, Denilto C.; NOGUEIRA, José de S. Análise da área de influência de uma superfície d'água chafariz: estudo de caso em Cuiabá-MT. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

FRANÇA, Franciany P. M.; BARBIRATO, Gianna M. Conforto térmico externo e configuração urbana: uma avaliação em espaços urbanos na cidade de Maceió –

AL. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

FROEHLE, Andrew W. Climate variables as predictor of basal metabolic rate: new equations. In: **American Journal of Human Biology**, n.20, p.510-529, 2008. [doi: 10.1002/ajhb.20769](https://doi.org/10.1002/ajhb.20769)

FROTA, Anésia B.; SCHIFFER, Sueli R. **Manual do conforto térmico**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERLUND, L. G. A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment. In: **ASHRAE Transactions**. v. 92. p.709-731, 1986.

GARCIA, Maria del Carmo M. **Estudio del clima urbano de Barcelona**: la “isla de calor”. 1992. 193 f. Tese Doutorado em Geografia. Departamento de Geografia Física e Análise Geográfica Regional, Universidade de Barcelona, Barcelona, 1992.

GIRALT, Rômulo P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres – RS**. 2006. 238f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GIVONI, Baruch. **Man, climate and architecture**. 2a ed. London: Applied Science Publishers Ltd, 1976.

GIVONI, Baruch. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. In: **Atmospheric Environment**, Great Britain, v.25B, n.3, p.289-299, 1991.

GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. Nova Iorque: ITP, 1998.

GOMES, Patrícia S.; LAMBERTS, Roberto. Influência dos parâmetros: densidade construída e geometria urbana no comportamento térmico de áreas urbanas, o caso de Montes Claros – MG. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

HACKENBERG, Ana M.. **Clima urbano numa cidade estatuária de fundo de baía, Joinville-SC**. 1992. 142f. Dissertação Mestrado em Tecnologia das Construções – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

HAIR, Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Tradução: Adonai Schlup Sant’Anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAROUEL, Jean-Louis. **História do urbanismo**. 3. ed. Campinas: Papyrus, 2001.

HIEB, Monte. **Vapor water rules the greenhouse system**. 2006. Disponível em: <http://geocraft.com/WVFossils/greenhous_data.html>. Acesso em: 21 ago. 2009.

HIRASHIMA, Simone Q. da S. Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG. 2010, 225f. Dissertação Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HIRASHIMA, Simone Q. da S.; ASSIS, Eleonora S. de; FERREIRA, Daniela, G. Calibração do índice de conforto térmico temperatura Equivalente fisiológica (PET) para espaços abertos do Município de Belo Horizonte – MG. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

HÖPPE, P. The Physiological Equivalent Temperature: an index for the biometeorological assessment of the thermal environment. In: **International Journal of Biometeorology**. n.43. p. 71-75, 1999.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*. **Climate changes 2007: synthesis report**. 2007. Disponível em: <http://ipcc.ch> Acesso em: 18 ago. 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**. Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8896**. Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate. Genève: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environments – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève: ISO, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9920**. Ergonomics of the thermal environments – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY - ISB Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index UTCI. **Meeting Report**, June 7-8, 2001, Freiburg, Germany. Freiburg: ISB Commission, 2001.

INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMETEOROLOGY - ISB. **Report for 2003**.
Genebra, ISB Commission 6, 2003.

JENDRITZKY, G.; SÖNNING, W.; SWANTES, H. J. Ein objectives
Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und
Landschaftsplanung ('Klima-Michel-Modell'). ARL Beiträge, n.28, 1979.

JOHANSSON, Erik. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot
dry climate: a study in Fez, Morocco. **Building and Environment**, v.41, p.1326-
1338, 2006. [doi: 10.1016/j.buildenv.2005.05.022](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022).

JOHNSON, Richard A.; WICHERN, Dean W. **Applied Multivariate Statistical
Analysis**. 4a.ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1988.

KATZSCHNER, Lutz. "Urban Climate Studies as Tools for Urban Planning and
Architecture", In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído,
Salvador, 1997... Anais... Salvador: FAUFBA/LACAM - ANTAC, 2001, p. 49-58.

KATZSCHNER, Lutz; FREIRE, Tereza; NERY, Jussana; ANDRADE, Telma;
CARVALHO, Lúcia. Urban climate study of Salvador: thermal comfort pattern. In: V
Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5, 1999, Fortaleza, CE.
Anais... Fortaleza, CE: ENTAC, 1999. 1 CD-ROM.

KNEZ, Igor; THORSSON, Sofia. Influence of culture and environmental attitude on
thermal, emotional and perceptual evaluations of a public square. **International
Journal of Biometeorology**, v.50, p.258-268, 2006. [doi: 10.1007/s00484-006-0024-0](https://doi.org/10.1007/s00484-006-0024-0).

LAMAS, Jose M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Lisboa: Fundação
Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1992.

LAMOTTA, Mariana G.; LABAKI, Lucila C. Dez anos depois: estudo do clima de
Campinas. Caracterização e proposição de recomendações de projeto para climas
compostos em 1998 e em 2008 – o que mudou. In: X Encontro Nacional de Conforto
no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1
CD-ROM.

LEFEBVRE, Henri. **A revolução urbana**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

LEVIN, Jack; FOX, James A. **Estatística para ciências humanas**. 9. ed. Tradução:
Alfredo Alves de Farias. Revisão técnica: Ana Maria Lima de Farias. São Paulo:
HARBRA, 2004.

LIMA, Lucimeire P. **Clima e forma urbana: métodos de avaliação do efeito das
condições climáticas nos graus de conforto térmico e no consumo de energia
elétrica em edificações**. 2005. 153f. Dissertação Mestrado em Tecnologia.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LOIS, Érica; LABAKI, Lucila C. Conforto Térmico em Espaços Externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

LOMBARDO, Magda A. **Ilha de calor na metrópole paulista**. 1984. Tese Doutorado em Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

LOMBARDO, Magda A. **Ilhas de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1985.

MARQUES, Ricardo S.; ARAÚJO, Virginia M. D. A influência das prescrições urbanísticas na ventilação urbana: o caso da orla da praia do meio em Natal/RN. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

MARTINS, Themis L. F. **Avaliação de desempenho térmico dos setores de aulas da UFRN**. 1995. 86f. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1995.

MARX, Murillo. **Cidade brasileira**. São Paulo: Melhoramentos. Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

MATZARAKIS, Andreas.; MAYER, Helmut. Another kind of environmental stress: thermal stress. **WHO-Newsletters**, n.18, p.7-10, 1996.

MAYER, Helmut; MATZARAKIS, Andreas. Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. In: Japanese-German Meetings "Klimaanalyse für die Stadtplanung", 2. Toward Reconstruction in Kobe. Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, **Special Report**, n.1, p. 155-168. 1998.

MENDONÇA, Francisco de A. **Clima e criminalidade**: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência de criminalidade urbana. Curitiba: UFPR, 2001.

MENEZES, Claudino L. **Desenvolvimento urbano e meio ambiente**: a experiência de Curitiba. 2.ed. Campinas: Papirus, 2001.

MICHALOSKI, Ariel O. **Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba**. 2001. 204f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MINELLA, Flavia O. **Avaliação da influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba**. 2009. 163f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MINELLA, Flávia O.; ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

MINGOTI, Sueli A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MOLION, Luiz C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. In: VEIGA, José E. (org.). **Aquecimento Global: frias contendidas científicas**. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2008.

MONTEIRO, Carlos Augusto F. Clima. In: **A grande região sul**, Rio de Janeiro: IBGE, Tomo I, v.IV, p.114-166, 1968.

MONTEIRO, Carlos Augusto F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO, Carlos Augusto F. (Orgs.) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Procedimentos de quantificação de variáveis para análise termofisiológica em espaços abertos. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ENTAC, 2005. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007a. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007b. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, Leonardo M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 2008. 382 f. Tese Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: consideração de variáveis ambientais. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009a. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Conforto térmico em espaços abertos. Parte 2: consideração da taxa metabólica e do isolamento térmico da roupa. In: X

Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009b. 1 CD-ROM.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Conforto térmico em espaços abertos. Parte 3: consideração do sexo, aclimatação e adaptação. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009c. 1 CD-ROM.

MOTA, Suetônio. **Urbanização e meio ambiente**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

MUMFORD, Lewis. **La cultura de las ciudades**. Buenos Aires: Emecé Editores S.A., 1945.

MUMFORD, Lewis. **A cidade na história**: suas origens, transformações e perspectivas. 4.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NAKATA, Camila M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. 2010. 133f. Dissertação Mestrado em Design. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2010.

NASCIMENTO, Cicerino C. **Clima e morfologia urbana em Belém**. 1993. 114f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano. Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

NERY, Jussana M. F. G.; ANDRADE, Telma C. Q.; LIRA, Ivens S. Temperatura do ar e padrões de ocupação em Salvador. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ENTAC, 2003. 1 CD-ROM. p.616-623.

NIKOLOPOULOU, Marialena; STEEMERS, Koen. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: **Energy and Buildings**, v.35, p.95-101, 2003. [doi: 10.1016/S0378-7788\(02\)00084](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00084)

NIKOLOPOULOU, Marialena. Outdoor Comfort. In: STEEMERS, Koen; STEANE, Mary Ann (eds.). **Environmental diversity in architecture**. Spon Press: Oxford, 2004a.

NIKOLOPOULOU, Marialena ed.. **Designing open spaces in the urban environment**: a bioclimatic approach. Grécia: CRES, 2004b.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. London: Mathuen & Co., 1978.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima**: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, Dennison. **Curitiba e o mito da cidade modelo**. Curitiba: Editora da UFPR, 2000.

OLIVEIRA, Mariela C. A. de. **Os primeiros estudos sobre conforto térmico no Brasil: a contribuição de Paulo Sá**. 2003. 173f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

OLIVEIRA, Paulo M. P. **Cidade apropriada ao clima e à forma urbana como instrumento de controle climático urbano**. 1985. 134f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano. Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

OLIVEIRA, Paulo M. P. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília: UnB, 1988.

PAREJA JÚNIOR, João; AUGUSTO NETO, Marcelo; AGOSTINHO, Marcos V. V.; MANCINI, Marcelo T.; SPOSITO, Maria E. B.; BARTHOLOMEI, Carolina Lotuffo. Praças em Presidente Prudente - SP: levantamento de parâmetros ambientais e pessoais para análise de conforto térmico no período de inverno. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

PARSONS, K. C. Human response to hot environments: a comparison of ISSO and ASHRAE methods of assessment. In: **ASHRAE Transactions**, v.93, p.1027-1038, 1987.

PERTSCHI, Suzanne C. **Padrão urbano de ocupação e temperatura do ar na camada intra-urbana em São José dos Pinhais / PR: situação de verão**. 2005. 172f. Dissertação mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

POSTIGO, Camila P.; SOUZA, Léa C. L. Ambiente térmico urbano: verticalização, acesso solar e formação de ilhas de calor. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

PSIKUTA, Agnieszka. Development of an 'artificial human' for clothing research. 2009. 117f. Tese Doctor of Philosophy – Institute of Energy and Sustainable Development. De Montfort University, Leicester, 2009.

REIS, Nestor G. **Contribuição do estudo da evolução urbana do Brasil 1500/1720**. 2ed. São Paulo: Pini, 2000.

RIBEIRO, Carlos A. M.; FIDELIS, Cícero. N.; CARVALHO, Homero. J. M. Fator de Visão do Céu e Ilhas de Calor: geoprocessamento aplicado ao conforto urbano. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação

Tecnológica, 3., Fortaleza. 2008. Anais... Fortaleza: CONNEPI, 2008. [Disponível em: < http://docs.google.com >](http://docs.google.com) Acesso em: 22/03/2011.

ROMERO, Marta A. B. **Princípio bioclimático para o desenho urbano**. 1985. 149f. Dissertação Mestrado em Planejamento Urbano. Universidade de Brasília, Brasília, 1985.

ROMERO, Marta A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

ROMERO, Marta A. B. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

RORIZ, Mauricio. **Zona de conforto térmico: um estudo comparativo de diferentes abordagens**. 1987. 133f. Dissertação Mestrado em Arquitetura – Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

RORIZ, Mauricio. **Conforto térmico em edificações: um modelo matemático e uma aplicação**. 1996. Tese Doutorado em Arquitetura – Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

ROSSI, Francine A. **Análise da influência da ocupação do solo na variação da temperatura em diferentes localidades da cidade de Curitiba**. 2004. 167f. Dissertação Mestrado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ROSSI, Francine A.; MINELLA, Flavia O.; TAMURA, Cíntia A.; DUMKE, Eliane Dumke; KRÜGER, Eduardo L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no micro clima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, v.11,n.1,p.123-143. Porto Alegre, 2011.

ROSSI, Francine A.; MINELLA, Flavia O.; KRÜGER, Eduardo L. Conforto térmico em espaços abertos: Resultados de um estudo piloto em Curitiba. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L.; BRÖDE, Peter. Definição de faixas de estresse térmico para espaços abertos em Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

ROSSI, Francine A.; KRÜGER, Eduardo L.; NIKOLOPOULOU, Marialena A influência da configuração urbana no microclima e sensação térmica em ruas de

pedestre de Curitiba, Paraná. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

RUAS, Álvaro C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.

RUAS, Álvaro C. **Avaliação de conforto térmico**: contribuição à aplicação prática das normas internacionais. São Paulo: FUNDACENTRO, 2001.

SAMPAIO, Ana Virgínia C. F. **Clima urbano e arquitetura: adequação, conforto e qualidade de vida – estudo para a cidade de Londrina**. 1996. 245f. Dissertação Mestrado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1996.

SANTANA, Andréa M. S. **O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza**. São Paulo, 1997. 200f. Dissertação Mestrado em Geografia – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 2. ed. São Paulo: HUCITEC, 1994.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço**: Técnica e tempo. Razão e emoção. São Paulo: EDUSP, 2008.

SCARAZZATO, Paulo S. **Investigando sobre critérios para a determinação dos níveis de conforto térmico**. 1988. 163f. Dissertação Mestrado em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 1988.

SHIMAKAWA, Andréa H.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Aplicação dos modelos preditivos de conforto PET e PMV em Presidente Prudente-SP: estudo de caso - parque do povo. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: ENTAC, 2009. 1 CD-ROM.

SHINYASHIKI, Letícia A. V.; BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina L. Praça Nove de Julho: o conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Presidente Prudente – SP. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11, 2011, Búzios, RJ. **Anais...** Búzios, RJ: ENTAC, 2011. 1 CD-ROM.

SILVA, Iran J. O. da; MARTINS, José L.; FAGNANI, Maria Ângela; PIEDADE, Sonia M. Sombreamento natural: avaliação térmica de algumas espécies. In: VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 6, 2001, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP: ENTAC, 2001. 1 CD-ROM.

SOUZA, Aristóteles T. de. **Impacto ambiental na mudança do ambiente construído: análise qualitativa dos efeitos nos sistemas de condicionamento ambiental**. 1996. 231f. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

SOUZA, Sandra Helena M. **Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/ BA.** 2010. 203f. Dissertação Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

STANCATO, Fernando. **Análise do ambiente térmico de cabine de aeronave.** 2009. 171f. Tese Doutorado em Engenharia – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2009.

SZOKOLAY, S. V. Thermal comfort and passive design. In: Advances in Solar Energy - an Annual Review of Research and Development, vol. 2. New York: Plenum Press, 1985.

TAKENAKA, Vanessa M.; FARIA, João R. G. Análise da qualidade do ambiente térmico das vias públicas. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: ENTAC, 2003. 1 CD-ROM. p.616-623.

THORSSON, Sofia; LINDBERG, Fredrik; ELIASSON, Ingegärd; HOLMER, Björn. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. In: **International Journal of Climatology**, v.27, p.1983-1993, 2007. [doi: 10.1002/joc.1537](https://doi.org/10.1002/joc.1537)

VIANA, Valéria B. **Exigências do conforto térmico por usuários do conjunto habitacional São Carlos I.** 1991. Dissertação Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

VIEIRA, Fernanda M. **Proposta de roteiro para análise e concepção bioclimática dos espaços externos urbanos.** 1994. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

VIEIRA, Tereza C. **Conforto higrotérmico nas oficinas do Centro de Formação Profissional do SENAI-RJ: análise e recomendação de projeto.** 1995. Dissertação Mestrado em Arquitetura. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

VILELA, Jacqueline A.; ASSIS, Eleonora S.; PAIVA, José Eustáquio M. de. Análise da influência do parâmetro massa térmica construída na variação das condições de temperatura e umidade em área urbana de Belo Horizonte, utilizando a técnica de cenários. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ENTAC, 2007. 1 CD-ROM.

WERKEMA, Maria Cristina C.; AGUIAR, Silvio. **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo.** Fundação Christiano Ottoni: Escola de engenharia da UFMG, 1996.

WILMORE, Jack H. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 2. ed. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2001.

WORLD HEALTH ORGANISATION – WHO. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series No. 854. World Health Organisation, Geneva, 1995. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_854.pdf>. Acesso em 02 ago. 2010.

XAVIER, Antonio A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 209f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XAVIER, Antonio A. de P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias: teoria física aliada a estudos de campo**. 2000. 251f. Tese Doutorado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

APÊNDICE A – AFERIÇÃO DOS SENSORES DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

A aferição da estação meteorológica foi realizada no dia 04.12.2008, no pátio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no período das 15h15 as 16h15. Os dados foram registrados a cada segundo, perfazendo um total de 3660 segundos. Para cada uma das variáveis monitoradas foram traçados gráficos de dispersão, calculado o coeficiente de correlação e feito o teste t de Student.

Comparação entre a temperatura do ar registrada pelas estações 1 e 2

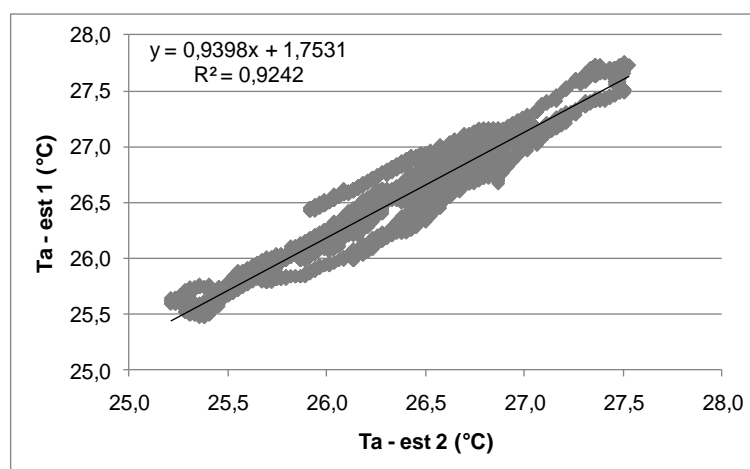


Gráfico 27 – Gráfico de dispersão da temperatura do ar registrada nas estações 1 e 2

Fonte: Autoria própria

Tabela 22 – Estatística de regressão da temperatura do ar registrada nas estações 1 e 2

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,961
R quadrado	0,924
R quadrado ajustado	0,924
Erro padrão	0,150
Observações	3660

Fonte: Autoria própria

Tabela 23 – Valores do Teste t para a temperatura do ar registrada nas estações 1 e 2

	Ta1	Ta2
Média	26,32	26,49
Mediana	0,30	0,28
Observações	3660	3660
Correlação de Pearson	0,96	
Hipótese da diferença média	0	
gl	3659	
Stat t	-68,36	
P(T<=t) uni-caudal	0	
T critic uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0	
T critic bi-caudal	1,96	

Fonte: Autoria própria

Comparação entre a umidade relativa registrada pelas estações 1 e 2

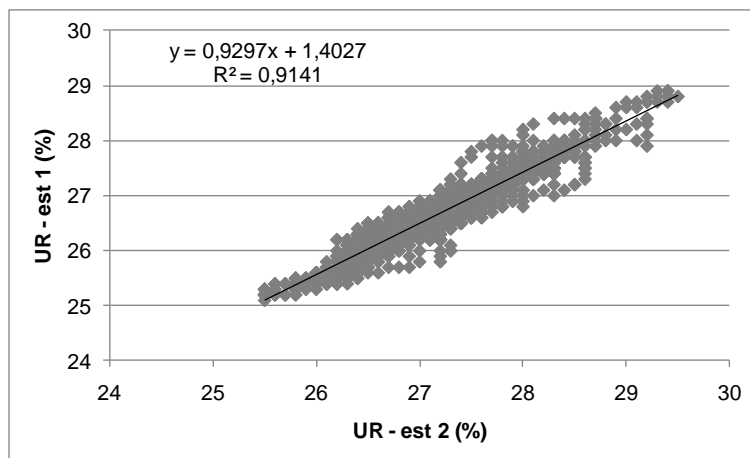


Gráfico 28 – Gráfico de dispersão da umidade relativa registrada nas estações 1 e 2

Fonte: Autoria própria

Tabela 24 – Estatística de regressão da umidade relativa registrada nas estações 1 e 2

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,956
R quadrado	0,914
R quadrado ajustado	0,914
Erro padrão	0,197
Observações	3660

Fonte: Autoria própria

Tabela 25 – Valores do Teste t para a umidade relativa registrada nas estações 1 e 2

	UR1	UR2
Média	27,26	26,74
Mediana	0,45	0,43
Observações	3660	3660
Correlação de Pearson	0,96	
Hipótese da diferença média	0	
gl	3659	
Stat t	157,54	
P(T<=t) uni-caudal	0	
T critic uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0	
T critic bi-caudal	1,96	

Fonte: Autoria própria

Comparação entre a radiação solar registrada nas estações 1 e 2

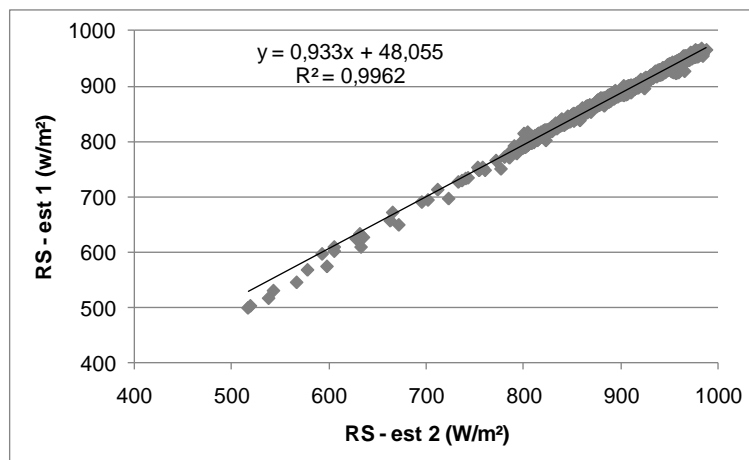


Gráfico 29 – Gráfico de dispersão da radiação solar registrada nas estações 1 e 2

Fonte: Autoria própria

Tabela 26 – Estatística de regressão da radiação solar registrada nas estações 1 e 2

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,998
R quadrado	0,996
R quadrado ajustado	0,996
Erro padrão	3,634
Observações	3660

Fonte: Autoria própria

Tabela 27 – Valores do Teste t para a radiação solar registrada nas estações 1 e 2

	RS1	RS2
Média	893,46	881,61
Mediana	3486,66	3046,31
Observações	3660	3660
Correlação de Pearson	1,00	
Hipótese da diferença média	0	
gl	3659	
Stat t	137,45	
P(T<=t) uni-caudal	0	
T critic uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0	
T critic bi-caudal	1,96	

Fonte: Autoria própria

Comparação entre a velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2

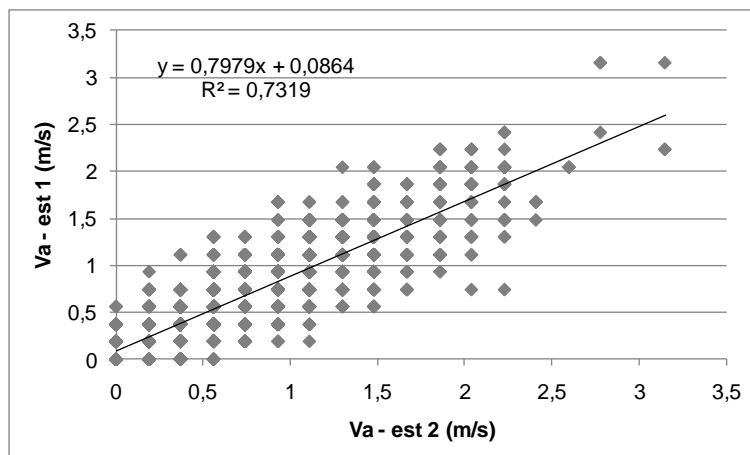


Gráfico 30 – Gráfico de dispersão da velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2

Fonte: Autoria própria

Tabela 28 – Estatística de regressão da velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,856
R quadrado	0,732
R quadrado ajustado	0,732
Erro padrão	0,253
Observações	3660

Fonte: Autoria própria

Tabela 29 – Valores do Teste t para a velocidade do vento registrada nas estações 1 e 2

	Va1	Va2
Média	0,77	0,70
Mediana	0,24	0,21
Observações	3660	3660
Correlação de Pearson	0,86	
Hipótese da diferença média	0	
gl	3659	
Stat t	16,13	
P(T<=t) uni-caudal	0	
T critic uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0	
T critic bi-caudal	1,96	

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B – VELOCIDADE DO AR: TESTES ESTATÍSTICOS

Análise de regressão linear simples entre os valores de velocidade do ar registrados a 110 cm e a 200 cm, no dia 10.06.2010.

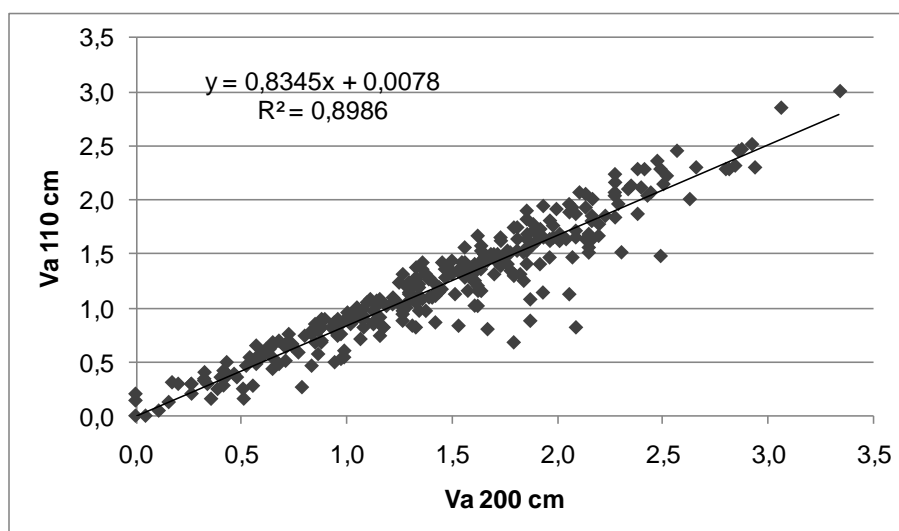


Gráfico 31 – Gráfico de dispersão da velocidade do ar a 110 cm e a 200 cm
Fonte: Autoria própria

Tabela 30 – Estatística de regressão da velocidade do vento a 110 cm e a 200 cm

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,948
R quadrado	0,899
R quadrado ajustado	0,899
Erro padrão	0,206
Observações	305

Fonte: Autoria própria

Teste estatístico t de Student entre os dados de velocidade do ar medidos a 200 cm e calculados para a altura de 110 cm pela equação de regressão.

Tabela 31 – Valores do Teste t para a velocidade do vento a 110 cm e a 200 cm

	Va1	Va2
Média	1,15	0,96
Mediana	0,36	0,25
Observações	8133	8133
Correlação de Pearson	1,00	
Hipótese da diferença média	0	
gl	8132	
Stat t	166,02	
P(T<=t) uni-caudal	0	
T critic uni-caudal	1,65	
P(T<=t) bi-caudal	0	
T critic bi-caudal	1,96	

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Parte I - Dados do respondente:

Sexo: _____ Idade: _____ Altura: _____ Peso: _____
Data: _____ Hora: _____

1. Há quanto tempo mora em Curitiba ou Região Metropolitana?

() () ()
mais de 6 meses menos de 6 meses Mora em outra cidade.
Qual: _____

2. Neste exato momento você está usando, marque com um X:

Roupas de baixo	Camisas e blusas	Vestidos e saias
calcinha	camiseta manga curta	saia longa
sutien	camiseta manga longa	saia barriga da perna
cueca	camisa manga curta	saia joelho
meia fina	camisa manga longa	vestido manga curta
meia grossa	regata / top	vestido manga longa
meia grossa 3/4	blusa manga 3/4	vestido sem manga
meia calça	Calças	Casacos e suéteres
ceroulas	calça fina	colete fino
camiseta de baixo manga curta	calça grossa / jeans	colete grosso
camiseta de baixo manga longa	bermuda	suéter fino
sapato / tênis	shorts	suéter grosso
sandália / chinelo	macacão sem mangas	jaqueta leve
gorro / boné	macacão manga curta	jaqueta grossa
luvas	macacão manga longa	paletó
		blazer
		moletom

3. Há quanto tempo você está na rua?

() () () () ()
menos de 5 minutos 10 minutos 15 minutos 20 minutos mais de 30 minutos

Parte II – Percepção e sensação térmica

1. Neste exato momento, eu estou sentindo:

() () () () () () ()
muito frio frio um pouco de frio nem frio nem calor um pouco de calor calor muito calor

2. Neste exato momento, eu estou:

() () () ()
confortável um pouco desconfortável desconfortável muito desconfortável

3. Neste exato momento, eu preferiria estar sentindo:

() () () () () () ()
muito mais frio mais frio um pouco mais de frio sem mudanças um pouco mais de calor mais calor muito mais calor

4. Levando em conta suas preferências pessoais, você aceitaria as condições climáticas:

() ()
sim não

5. Neste exato momento, com relação às condições climáticas, na minha opinião estar neste local é:

() () () ()
perfeitamente tolerável facilmente tolerável dificilmente tolerável intolerável

APÊNDICE D – MATRIZES DE CLASSIFICAÇÃO DA FDL E DO MRL

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	52,9	1	76	23	1	$ST = 0,2144*Ta - 0,4173*Va + 0,007*RS + 0,0022*UR$ $ST = - 0,0636*Ta - 0,4852*Va + 0,033*RS + 0,0185*UR$
		2	32	38	30	
		3	4	0,21	75	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	65,4	1	31	68	1	$ST = 9,6965 - 0,5039*Ta + 0,9766*Va - 0,017*RS - 0,0077*UR$ $ST = 6,9416 - 0,2484*Ta + 0,4908*Va - 0,0009*RS - 0,0085*UR$
		2	6	87	7	
		3	1	67	32	

Quadro 24 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, RS e UR
Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	52,6	1	76	23	2	$ST = 0,2028*Ta - 0,4667*Va + 0,0149*Trm + 0,0012*UR$ $ST = - 0,1317*Ta - 0,8496*Va + 0,082*Trm + 0,017*UR$
		2	32	37	31	
		3	0,04	17	78	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	65,0	1	30	69	1	$ST = 9,2808 - 0,4723*Ta + 1,0932*Va - 0,0326*Trm - 0,003*UR$ $ST = 6,7236 - 0,2284*Ta + 0,5773*Va - 0,0225*Trm - 0,0049*UR$
		2	6	86	8	
		3	1	66	33	

Quadro 25 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, Trm e UR
Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria observada			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	52,9	1	75	25	1	$ST = 0,2092*Ta - 0,4145*Va + 0,0007*RS + 0,0088*UA$ $ST = - 0,1695*Ta - 0,4858*Va + 0,0031*RS + 0,2166*UA$
		2	30	39	30	
		3	4	22	74	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria observada			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	65,3	1	32	68	0	$ST = 9,1414 - 0,485*Ta + 0,9695*Va - 0,0017*RS - 0,0272*UA$ $ST = 6,337 - 0,2246*Ta + 0,485*Va - 0,0009*RS - 0,0376*UA$
		2	6	86	7	
		3	1	68	32	

Quadro 26 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, RS e UA
Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	53,1	1	75	24	1	$ST = 0,2026*Ta - 0,4624*Va + 0,0147*Trm - 0,0006*UA$ $ST = - 0,2266*Ta - 0,8334*Va + 0,077*Trm + 0,2062*UA$
		2	31	38	31	
		3	4	17	79	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	64,9	1	30	69	1	$ST = 9,0527 - 0,4712*Ta + 1,0861*Va - 0,0326*Trm + 0,0043*UA$ $ST = 6,3786 - 0,2186*Ta + 0,571*Va - 0,0225*Trm - 0,0136*UA$
		2	6	86	8	
		3	1	67	33	

Quadro 27 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Va, Trm e UA
Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	51,0	1	77	22	1	$ST = 0,212*Ta + 0,0006*RS + 0,0007*UR$ $ST = - 0,0633*Ta + 0,0034*RS + 0,0171*UR$
		2	31	34	35	
		3	4	17	79	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	65,3	1	28	72	0	$ST = 10,2174 - 0,492*Ta - 0,0017*RS - 0,0039*UR$ $ST = 7,2201 - 0,2455*Ta - 0,0009*RS - 0,0063*UR$
		2	5	88	7	
		3	0	69	31	

Quadro 28 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, RS e UR
Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	50,2	1	77	21	2	$ST = 0,203*Ta + 0,013*Trm - 0,0009*UR$ $ST = - 0,1337*Ta + 0,0864*Trm + 0,0142*UR$
		2	31	32	36	
		3	4	17	79	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	64,9	1	29	70	1	$ST = 9,829 - 0,466*Ta - 0,0278*Trm + 0,0015*UR$ $ST = 7,0845 - 0,2314*Ta - 0,0188*Trm - 0,0026*UR$
		2	6	88	6	
		3	0	72	28	

Quadro 29 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Trm e UR
Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	51,0	1	77	23	1	$ST = 0,212*Ta + 0,0007*RS - 0,0005*UA$ $ST = - 0,1659*Ta + 0,0033*RS + 0,2114*UA$
		2	31	34	35	
		3	4	16	80	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	65,4	1	28	72	0	$ST = 9,9112 - 0,4853*Ta - 0,0057*UA - 0,0017*RS$ $ST = 6,7695 - 0,2285*Ta - 0,0266*UA - 0,0009*RS$
		2	5	88	7	
		3	0	69	31	

Quadro 30 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, RS e UA

Fonte: Autoria própria

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
FDL	50,0	1	76	22	2	$ST = 0,2091*Ta + 0,0131*Trm - 0,0122*UA$ $ST = - 0,2242*Ta + 0,0812*Trm + 0,2011*UA$
		2	31	33	37	
		3	04	17	79	

Modelo	Acerto total	Categoria observada	Categoria predita			Equações preditivas
			1	2	3	
MRL	64,9	1	29	70	0	$ST = 9,900 - 0,4783*Ta - 0,0282*Trm + 0,0294*UA$ $ST = 6,8995 - 0,2281*Ta - 0,0188*Trm - 0,003*UA$
		2	6	88	7	
		3	0	72	28	

Quadro 31 – Matriz de classificação da FDL e da MRL, considerando Ta, Trm e UA

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE E – EXPLICAÇÃO SOBRE AUTOVALORES E AUTOVETORES DE UMA MATRIZ

Seja uma matriz quadrada A , de ordem n . Diz-se que um número real λ é um *autovalor* de A se existir um vetor v tal que $Av = \lambda v$. Qualquer vetor v que satisfaz a esta condição é chamado *autovetor* associado ao *autovalor* λ . É importante ressaltar que uma matriz pode ter mais de um autovetor, assim como pode ter mais de um autovalor. Os termos autovalor e autovetor podem ser substituídos por *valor característico* e *vetor característico*, respectivamente.

Exemplo: Seja a matriz A , dada por:

$$A = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

Esta matriz possui três autovalores: $\lambda_1 = \lambda_2 = 2$ e $\lambda_3 = 3$. Os autovetores associados são:

$$v_1 = v_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ e } v_3 = \begin{bmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Neste caso:

$$\begin{bmatrix} 4 & 2 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

e

$$\begin{bmatrix} 4 & 2 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6 \\ 3 \\ 3 \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Para a Análise Estatística Multivariada, a importância dos conceitos de autovalor e autovetor reside no fato de que são muitos os métodos que exigem a decomposição de uma matriz A em um produto expresso por:

$$A = V^T L V$$

onde V é uma matriz cujas colunas são os autovetores de A e L é uma matriz diagonal cujos elementos são os autovalores de A .

Exemplo: A matriz A usada no exemplo pode ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} 4 & 2 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$