

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

FLÁVIA CRISTINA OSAKU MINELLA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ASPECTOS DA GEOMETRIA URBANA SOBRE
OS NÍVEIS DE CONFORTO TÉRMICO EM RUAS DE PEDESTRES DE CURITIBA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FLÁVIA CRISTINA OSAKU MINELLA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ASPECTOS DA GEOMETRIA URBANA SOBRE
OS NÍVEIS DE CONFORTO TÉRMICO EM RUAS DE PEDESTRES DE CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia.
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo L. Krüger

CURITIBA

2009

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação Nº 293

Avaliação da influência de aspectos da Geometria Urbana sobre os níveis de Conforto

Térmico em ruas de pedestres de Curitiba

por

Flávia Cristina Osaku Minella

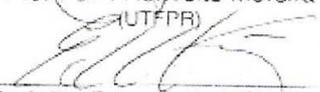
Esta dissertação foi apresentada às _____ 12:00 _____
do dia **29 de setembro de 2009** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE
EM TECNOLOGIA, Linha de Pesquisa – Tecnologia e Desenvolvimento, Programa de Pós-
Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata 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.^a Dr.^a ~~Lúcia~~ Cristina Lucas de Souza
(UNESP)


Prof.^a Dr.^a Inês Moresco Danni-Oliveira
(UFPR)


Prof.^a Dr.^a Herivelto Moreira
(UTFPR)


Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger
(UTFPR)
Orientador

Visto da coordenação:


Prof.^a Dr.^a Marília Gomes de Carvalho
Coordenadora do PPGTE

Para Marcos, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Clarice e Nelson, por todo incentivo e pelos exemplos de conduta.

Ao Prof. Dr. Eduardo Krüger, pela precisa orientação, sem a qual este estudo não seria possível.

Às colegas Francine Aidie Rossi e Cíntia Akemi Tamura pelo apoio prestado em diversos momentos, muito além da ajuda nas coletas de dados. Ao Francisco Rasia e a Eliane Dumke pelo auxílio nas medições.

Ao Prof. Dr. Fernando Oscar Ruttkay Pereira pelo empréstimo da câmera fotográfica.

À Capes pela concessão da bolsa de estudo.

Aos fotógrafos Ulysses e Amarildo pelas gentilezas prestadas.

Aos professores, funcionários e colegas do PPGTE.

Aos motoristas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo auxílio no transporte das estações meteorológicas.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico permitiu o processo de verticalização das cidades, alterando a paisagem urbana e o microclima local. Esta pesquisa busca avaliar a influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestre de Curitiba. Utilizam-se o fator de visão do céu (FVC) como indicador da geometria urbana irregular e os índices de conforto térmico Voto Médio Estimado (PMV) e Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para expressar os graus de estresse fisiológico. O calçadão da Rua XV de Novembro, primeira rua de pedestres do país, foi eleito local de estudo pela grande circulação de transeuntes. Além deste, foram monitorados pontos na Rua Saldanha Marinho, Travessa Oliveira Bello, Rua Senador Alencar Guimarães e Praça Generoso Marques. Foram coletados dados em 13 dias de medições, entre os meses de janeiro a agosto de 2009, totalizando 15 configurações urbanas distintas. As análises dos dados obtidos obedecem ao seguinte procedimento: análise de correlações entre os índices e as variáveis climáticas; análise dos pares de medição; análise de dias comparáveis; análise de conforto calculado, análise de dados normalizados e análise da relação entre FVC, ilha de calor diurna, e diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$). Adicionalmente, analisa-se a relação entre a radiação solar e o FVC, por meio da sobreposição da carta solar à foto olho de peixe. Ao final do estudo, apresenta-se o fator de acessibilidades solar (FAS), como um parâmetro para quantificar, em porcentagem, o potencial de acesso solar disponível em um determinado ponto. Os resultados auferidos evidenciam a influência da geometria urbana para a determinação do conforto térmico em ruas de pedestres.

Palavras-chave: Clima urbano. Fator de visão do céu. Conforto térmico. Ruas de pedestres.

ABSTRACT

Technological development has allowed the verticalization process of cities, changing the urban landscape and the local microclimate. This study aims to evaluate the impact of aspects of urban geometry on the levels of thermal comfort in pedestrian streets of Curitiba. The sky view factor (SVF) is used as an indicator for the irregular urban geometry and the thermal comfort indices Predicted Mean Vote (PMV) and Physiological Equivalent Temperature (PET) are used to assess the degree of physiological stress. The “calçadão” of Rua XV de Novembro, the first pedestrian street in Brazil, was chosen for the study due to its great number of users. Apart from the Rua XV de Novembro, further monitoring points were chosen at Rua Saldanha Marinho, Travessa Oliveira Bello, Rua Senador Alencar Guimarães and Praça Generoso Marques. Data were collected in 13 monitoring days, between the months of January and August of 2009, comprising of a total of 15 different urban settings. The analysis of obtained data was carried out according to the following procedures: correlation analysis between the indices and climatic variables, analysis of pairs of measurement, analysis of comparable days, analysis of calculated comfort, analysis of normalized data and analysis of the relationship between SVF, daytime heat island and temperature differences ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$). It also examines the relationship between solar radiation and SVF, from the overlap of the solar chart on the fisheye picture. At the end of the study, the factor of solar accessibility (FSA) is presented, as a parameter to quantify, in percentage, the solar access available at a given point. The obtained results show the influence of urban geometry to determine the thermal comfort of pedestrian streets.

Key words: Urban climate. Sky View Factor. Thermal comfort. Pedestrian streets.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESCALAS CLIMÁTICAS.....	30
FIGURA 2 – FLUXO DE VENTOS EM CÂNIONS URBANOS.....	42
FIGURA 3 – VELOCIDADE DO VENTO EM FUNÇÃO DA RUGOSIDADE DAS SUPERFÍCIES	42
FIGURA 4 – MÉDIA MENSAL DE FRAÇÃO DE SOMBREAMENTO PARA OS CÂNIONS, LATITUDE 33°_ (A) VERÃO (B) INVERNO	44
FIGURA 5 – EQUILÍBRIO TÉRMICO DO CORPO HUMANO	58
FIGURA 6 – DIAGRAMA DE CONFORTO PROPOSTO POR FANGER	63
FIGURA 7 – CARTA BIOCLIMÁTICA COM ESTRATÉGIAS PARA CURITIBA.....	71
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS SELECIONADOS PARA OBTENÇÃO DO FVC.....	73
FIGURA 9 – PREPARAÇÃO DA CÂMERA: A) POSICIONAMENTO DA CÂMERA, B) NIVELAMENTO DA LENTE E C) MARCAÇÃO NO CORPO DO TRIPÉ.	75
FIGURA 10 – “FOTO 1”, IMAGEM POSICIONADA EM RELAÇÃO AO NORTE.....	76
FIGURA 11 – “FOTO 2”, IMAGEM POSICIONADA EM RELAÇÃO AO LESTE	76
FIGURA 12 – COMANDO PARA DEIXAR A IMAGEM COM FORMATO QUADRADO E SEM DISTORÇÃO.	77
FIGURA 13 – INSERÇÃO DA IMAGEM 2 NO ARQUIVO DA IMAGEM 1	77
FIGURA 14 – SELEÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE.....	77
FIGURA 15 – CRIAÇÃO DE <i>LAYER</i> DE MÁSCARA SOB A SEGUNDA CAMADA.....	78
FIGURA 16 – CORREÇÃO DE ALGUMA DISTORÇÃO.....	78
FIGURA 17 – ÁREAS CORRIGIDAS	79
FIGURA 18 – RESULTADO FINAL.....	79
FIGURA 19 – CÂMERA NIKON COOLPIX 4500 COM LENTE OLHO DE PEIXE FC-E8.....	81
FIGURA 20 – PROCESSO DE RECORTE DA IMAGEM CIRCULAR	82
FIGURA 21 – RESULTADO DO RECORTE DA ÁREA DE CÉU.....	82
FIGURA 22 – IMPORTAÇÃO DA IMAGEM E CONTRASTE.....	83
FIGURA 23 – VISUALIZAÇÃO DO PROGRAMA RAYMAN	84
FIGURA 24 – JANELA DE SAÍDA DE DADOS.....	84

FIGURA 25 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA HOBO (H21-001)	84
FIGURA 26 – ESTAÇÃO HOBO (H21-001) E TERMÔMETROS DE GLOBO NO DETALHE.....	87
FIGURA 27 – QUADRO RESUMO DAS AÇÕES DESENVOLVIDAS	94
FIGURA 28 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 2 E 7	128
FIGURA 29 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 10 E 3.....	129
FIGURA 30 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 13 E 2.....	130
FIGURA 31 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 4 E 9.....	130
FIGURA 32 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 4 E 14.....	131
FIGURA 33 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 10 E 5.....	132
FIGURA 34 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 17 E 18.....	133
FIGURA 35 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 6A E 2	133
FIGURA 36 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 3 E 7.....	134
FIGURA 37 – FOTO OLHO DE PEIXE COM CARTA SOLAR PARA OS PONTOS 8 E 16.....	135
FIGURA 38 – FATOR DE ACESSIBILIDADE SOLAR.....	136
FIGURA 39 – FATOR DE ACESSIBILIDADE SOLAR DOS PONTOS MONITORADOS	137

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	– PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO URBANA E RURAL	18
GRÁFICO 2	– VARIAÇÃO DIURNA DO BALANÇO DE ENERGIA DE UM CÂNION (N-S) EM RELAÇÃO A TRÊS SUPERFÍCIES (FACHADA LESTE, PISO E COBERTURA)	38
GRÁFICO 3	– VARIAÇÃO DIÁRIA DE TEMPERATURA DO AR E DAS SUPERFÍCIES EM CÂNION E-W (PERÍODO DE VERÃO).....	40
GRÁFICO 4	– RELAÇÃO ENTRE FVC E POPULAÇÃO URBANA PARA DIFERENTES REGIÕES	49
GRÁFICO 5	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC COM ÂNGULO DE ABERTURA DE 160° E DE 180°	79
GRÁFICO 6	– RELAÇÃO ENTRE A DIFERENÇA DE TRM (PONTO 7 – PONTO 2) E O ÍNDICE PMV	110
GRÁFICO 7	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO EM VOTOS PERCENTUAIS (09/01/2009).....	111
GRÁFICO 8	– RELAÇÃO ENTRE A DIFERENÇA DE TRM (PONTO 6A – PONTO 2) E O ÍNDICE PMV	112
GRÁFICO 9	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO EM VOTOS PERCENTUAIS (17/06/2009).....	113
GRÁFICO 10	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC E TRM NORMALIZADA – GRUPO 1	122
GRÁFICO 11	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC E TRM NORMALIZADA – GRUPO 2	122
GRÁFICO 12	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC E TRM NORMALIZADA – GRUPO 3	123
GRÁFICO 13	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC E ILHA DE CALOR DIURNA	125
GRÁFICO 14	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC E Δ_{TRM-TA}	125
GRÁFICO 15	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FVC E ILHA DE CALOR DIURNA (DADOS AGRUPADOS)	127
GRÁFICO 16	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FAS E ILHA DE CALOR	141
GRÁFICO 17	– GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE FAS E Δ_{TRM-TA}	141

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– COMPARAÇÕES DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS ENTRE AMBIENTES CIDADINO E RURAL.....	32
TABELA 2	– VALORES DE PET CONSIDERANDO-SE DIVERSOS CENÁRIOS.....	65
TABELA 3	– SENSAÇÃO TÉRMICA E NÍVEL DE ESTRESSE TÉRMICO PARA OS ÍNDICES PMV E PET.....	67
TABELA 4	– ERRO MÉDIO ENTRE OS VALORES DE FVC DE CADA MÉTODO.....	80
TABELA 5	– FAIXA DE PRECISÃO DOS INSTRUMENTOS SEGUNDO A NORMA ISO 7726 (1998).....	86
TABELA 6	– CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS MONITORADOS.....	96
TABELA 7	– DIFERENÇAS DE FVC ENTRE OS PARES DE MEDIÇÃO.....	100
TABELA 8	– CORRELAÇÕES ENTRE O PMV E AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	103
TABELA 9	– CORRELAÇÕES ENTRE O PET E AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	104
TABELA 10	– DIFERENÇAS DE FVC, TA E TRM ENTRE OS PARES DE MEDIÇÃO.....	106
TABELA 11	– DIFERENÇAS PERCENTUAIS DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE ENTRE OS PARES DE MEDIÇÃO.....	108
TABELA 12	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (25/03/2009).....	114
TABELA 13	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (01/04/2009).....	115
TABELA 14	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (08/04/2009).....	116
TABELA 15	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (03/06/2009).....	117
TABELA 16	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (05/06/2009).....	117
TABELA 17	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (09/06/2009).....	118
TABELA 18	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (19/06/2009).....	119
TABELA 19	– GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO CALCULADO RELATIVO AOS ÍNDICES PMV E PET (13/07/2009).....	119
TABELA 20	– VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E TRM NORMALIZADA.....	121

TABELA 21 – FVC, ILHA DE CALOR E DIFERENÇAS DE TEMPERATURA (Δ_{TRM-TA}).....	124
TABELA 22 – FVCS AGRUPADOS E DIFERENÇAS DE TEMPERATURA (Δ_{TRM-TA}).....	126
TABELA 23 – RELAÇÃO ENTRE FAS, FVC, ILHA DE CALOR E Δ_{TRM-TA}	140
TABELA 24 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (R) OBTIDOS A PARTIR DAS ANÁLISES DE REGRESSÃO SIMPLES E MÚLTIPLA.....	141
TABELA 25 – MÉDIAS HORÁRIAS DE TA REGISTRADAS PELO INMET (GRUPO 1)	158
TABELA 26 – FATORES DE NORMALIZAÇÃO (GRUPO 1)	158
TABELA 27 – DADOS NORMALIZADOS DE TRM (GRUPO 1).....	159
TABELA 28 – MÉDIAS HORÁRIAS DE TA REGISTRADAS PELO INMET (GRUPO 2)	159
TABELA 29 – FATORES DE NORMALIZAÇÃO (GRUPO 2)	160
TABELA 30 – DADOS NORMALIZADOS DE TRM (GRUPO 2).....	160
TABELA 31 – MÉDIAS HORÁRIAS DE TA REGISTRADAS PELO INMET (GRUPO 3).....	161
TABELA 32 – FATORES DE NORMALIZAÇÃO (GRUPO 3)	161
TABELA 33 – DADOS NORMALIZADOS DE TRM (GRUPO 3), RADIAÇÃO MAIOR QUE 2000 W/M ²	162
TABELA 34 – DADOS NORMALIZADOS DE TRM (GRUPO 3), RADIAÇÃO ENTRE 400 W/M ² E 2000 W/M ²	162
TABELA 35 – DADOS NORMALIZADOS DE TRM (GRUPO 3), RADIAÇÃO MENOR QUE 400 W/M ²	163

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – SISTEMA CLIMA URBANO (S.C.U.).....	27
QUADRO 2 – CATEGORIAS TAXONÔMICAS DO CLIMA URBANO	28
QUADRO 3 – DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DA EQUAÇÃO DE BALANÇO ENERGÉTICO.....	36
QUADRO 4 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS.....	73
QUADRO 5 – INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	85
QUADRO 6 – INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO ACOPLADOS NOS GLOBOS DE COBRE.....	86
QUADRO 7 – PARES E DATAS DE MEDIÇÃO	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	–	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering</i>
FAS	–	Fator de Acessibilidade Solar
FVC	–	Fator de Visão do Céu
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	–	<i>Intergovernmental Panel of Climate Change</i>
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
PET	–	<i>Physiological Equivalent Temperature</i> (Temperatura Fisiológica Equivalente)
PMV	–	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Estimado)
TRY	–	<i>Test Reference Year</i> (Ano Climático de Referência)
UBL	–	<i>Urban Boundary Layer</i> (Camada Limite Urbana)
UCL	–	<i>Urban Canopy Layer</i> (Camada Intra-Urbana)
UHI	–	<i>Urban Heat Island</i> (Ilha de Calor)
ΔT_{u-r}	–	Intensidade da ilha de calor

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Conceito	Unidade
Ψ_s	– Fator de Visão do Céu	Adimensional
C	– Perdas de calor sensível pela pele por convecção	W/m^2
C_{res}	– Taxa de perda de calor convectivo na respiração	W/m^2
E_{dif}	– Taxa de calor perdido por evaporação da água de difusão	W/m^2
E_{res}	– Taxa de perda de calor evaporativo na respiração	W/m^2
E_{rsw}	– Taxa de calor perdido por evaporação da transpiração	W/m^2
I_g	– Radiação Solar Global Incidente	W/m^2
K	– Graus kelvin	K
M	– Taxa metabólica	W/m^2
Q_{res}	– Taxa total de calor perdido pela respiração	W/m^2
Q_{sk}	– Taxa total de calor perdido pela pele	W/m^2
R	– Perdas de calor sensível pela pele por radiação	W/m^2
S	– Taxa de calor armazenada no corpo	W/m^2
T	– Temperatura Celsius	$^{\circ}C$
T_a	– Temperatura do ar	$^{\circ}C$
T_g	– Temperatura de globo	$^{\circ}C$
T_{rm}	– Temperatura radiante média	$^{\circ}C$
T_s	– Temperatura de superfície	$^{\circ}C$
UR	– Umidade relativa	%
v	– Velocidade do ar	m/s
V_a	– Velocidade do ar ao nível do globo	m/s
VP	– <i>Vapor Pressure</i> (pressão de vapor de água)	hPa
W	– Taxa de trabalho mecânico realizado	W/m^2

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1	– EQUAÇÃO DE BALANÇO ENERGÉTICO.....	36
EQUAÇÃO 2	– EQUAÇÃO DE BALANÇO TÉRMICO DO CORPO HUMANO.....	58
EQUAÇÃO 3	– EQUAÇÃO DA TAXA TOTAL DE CALOR PERDIDO PELA PELE.....	58
EQUAÇÃO 4	– EQUAÇÃO DA TAXA TOTAL DE CALOR PERDIDO PELA RESPIRAÇÃO.....	58
EQUAÇÃO 5	– EQUAÇÃO DE CÁLCULO DA TRM EM CASO DE CONVECÇÃO NATURAL.....	60
EQUAÇÃO 6	– EQUAÇÃO DE CÁLCULO DA TRM EM CASO DE CONVECÇÃO FORÇADA.....	60
EQUAÇÃO 7	– EQUAÇÃO DE PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE ENTRE OS PARES MONITORADOS.....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	ASPECTOS CLIMÁTICOS DO AMBIENTE URBANO	25
2.1.1	Clima Urbano	25
2.1.1.1	Escalas meteorológicas	29
2.1.2	Ilhas de Calor Urbanas	31
2.1.3	Cânions Urbanos	35
2.1.3.1	Balanço energético em cânions urbanos	36
2.1.3.2	Temperatura do ar em cânions urbanos	38
2.1.3.3	Fluxo do ar em cânions urbanos	40
2.1.3.4	Acesso solar	43
2.1.3.5	Efeitos da vegetação e do albedo	45
2.1.4	Fator de visão do céu (Ψ_s)	48
2.1.5	Métodos de obtenção do fator de visão do céu	51
2.2	CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS EXTERNOS	55
2.2.1	Mecanismos de termorregulação	56
2.2.2	Balanço térmico do corpo humano	58
2.2.3	As variáveis humanas de conforto térmico	60
2.2.4	Índices de conforto térmico	62
2.2.4.1	Voto Médio Estimado (PMV)	63
2.2.4.2	Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)	64
3	METODOLOGIA	68
3.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO	68
3.2	DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO	71
3.2.1	Obtenção de fotos olho de peixe	74
3.2.1.1	Metodologia para obtenção de fotos olho de peixe	75
3.2.1.2	Fusão de Imagens em programa de edição de imagem	76
3.2.2	Cálculo do FVC no programa Rayman	81
3.3	MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	84
3.4	PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E O FVC	89
3.5	PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO SOLAR E O FVC	92
3.6	PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO FATOR DE ACESSIBILIDADE SOLAR (FAS)	92
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	95
4.1	DETERMINAÇÃO DOS PONTOS E PARES DE MEDIÇÃO	95
4.2	ANÁLISES DA RELAÇÃO ENTRE AS VÁRIAVEIS CLIMÁTICAS E O FVC	102
4.2.1	Análises de correlações entre os índices de conforto e as variáveis climáticas	102
4.2.2	Análise dos pares de medição	105
4.2.3	Análise de dias comparáveis	108

4.2.4	Análise do nível de conforto calculado	114
4.2.5	Análise de dados normalizados	120
4.2.6	Análise da relação entre FVC, ilha de calor diurna e diferenças de temperatura.....	124
4.3	RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO SOLAR E O FVC.....	127
4.4	FATOR DE ACESSIBILIDADE SOLAR (FAS).....	135
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	142
	REFERÊNCIAS.....	146
	APÊNDICE A: Procedimento para obtenção dos dados de Trm normalizada .	158

1 INTRODUÇÃO

O planejamento urbano está relacionado à organização espacial e à configuração da malha urbana. A climatologia urbana foca no clima específico decorrente do processo de urbanização que “produz alterações radicais na natureza da superfície e nas propriedades atmosféricas de um dado local” (OKE, 1978, p. 240). O objeto comum a estas bases é a cidade, enquanto o objetivo comum é a qualidade de vida por meio da qualidade dos espaços citadinos. A abordagem interdisciplinar dos critérios de planejamento urbano e de conforto ambiental é uma das premissas do urbanismo bioclimático. O presente estudo está em consonância com essa perspectiva, na medida em que busca avaliar a influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba.

A paisagem das cidades vem sendo pontuada por mudanças no espaço construído e no meio natural devido ao acelerado crescimento urbano. O fenômeno da urbanização é, talvez, a consequência mais concreta de todo o desenvolvimento progressivo da ciência e da tecnologia, desde a Revolução Industrial. Segundo dados das Nações Unidas (2008), em 2050, a população urbana mundial aumentará em duas vezes o valor da população referente a 2007, passando de 3,3 bilhões para 6,4 bilhões (Gráfico 1).

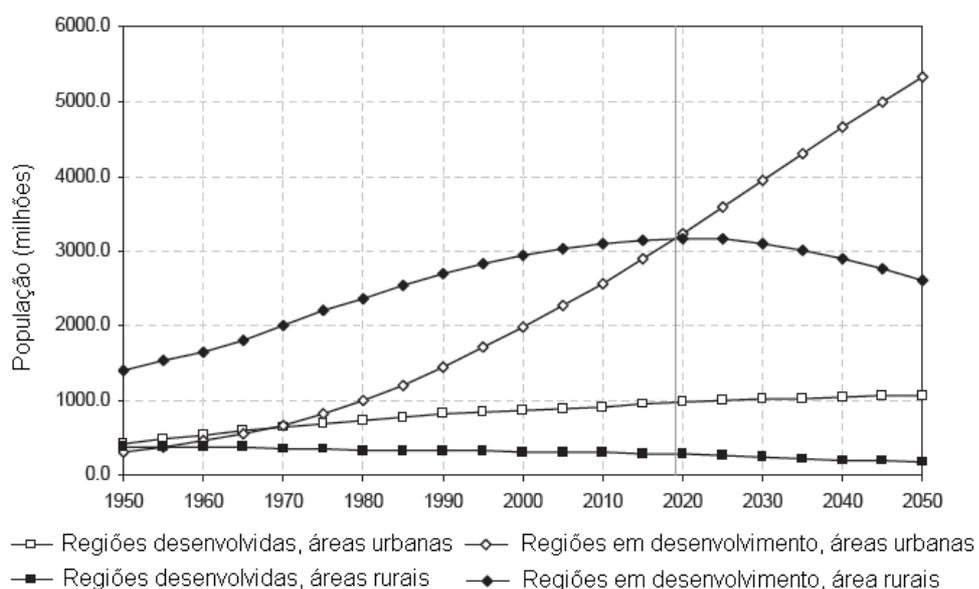


Gráfico 1 – Projeção de crescimento da população urbana e rural

Fonte: Adaptado de Nações Unidas (2008)

Este crescimento populacional será absorvido principalmente pelos países em desenvolvimento, cuja população passará de 2,4 bilhões em 2007, para 5,3 bilhões em 2050, enquanto em países desenvolvidos, a população passará de 0,9 bilhão para 1,1 bilhão (NAÇÕES UNIDAS, 2008).

No Brasil, atualmente mais de 80% da população vivem em áreas urbanas, e em 2050 esse contingente será de 93,6% (NAÇÕES UNIDAS, 2008).

O crescimento das cidades está diretamente relacionado ao aumento populacional, apoiado pela concentração de atividades econômicas, juntamente com uma política conduzida por esse viés. No entanto, crescimento nem sempre está atrelado à questão de desenvolvimento (JOHANSSON, 2006). Segundo a UNESCO (2007), a expansão urbana descontrolada pode acarretar em grandes volumes de tráfego, intensas concentrações de atividades industriais, sobrecargas ambientais com a poluição do ar, da água e dos solos, deficiência nos sistemas de abastecimento de água e energia, pode inflacionar os mercados imobiliários, além de reforçar a pobreza absoluta e as tensões sociais. Dumke (2007, p. 63) acrescenta que, além da pressão sobre a infra-estrutura existente, há a questão das “relações entre o ambiente construído, os homens e o clima em suas diversas escalas e níveis”.

Em escala global, do ponto de vista ambiental, a mais preocupante conseqüência das correntes intervenções humanas no meio natural é o aumento da temperatura média das superfícies que compõem o planeta. Conforme relatório do *Intergovernmental Panel of Climate Change* - IPCC (2007, p. 15), há 90% de certeza que as elevações de temperatura decorram do “aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa”.

Há evidências de que o aquecimento global, com médias de elevação de temperatura de 0,4 a 0,8 °C venha ocorrendo desde o século XIX (*INTERGOVERNMENTAL...*, 2007). Os últimos anos foram especialmente quentes. A onda de calor ocorrida na Europa, em agosto de 2003, resultou em um aumento de temperatura de até 6 °C em algumas regiões, sendo relatada a morte de pelo menos 35.000 pessoas (ENDLICHER et al., 2008). Concomitante a este fato, segundo Folland et al. (2001), durante o século XX, o nível dos mares aumentou de 10 a 20 cm, sendo percebida (em geral) uma retração das calotas polares. Alterações nos padrões de chuvas também são percebidas ao longo do século XX, com um aumento de 2 a 12%, dependendo da localidade (FOLLAND et al., 2001),

ocasionando episódios de enchentes. Flannery (2007) relata que, na década de 60, aproximadamente 7 milhões de pessoas sofriam as conseqüências das enchentes, e atualmente, este número chega a 150 milhões. Este autor também cita que, dentre as conseqüências do aquecimento global para a flora e a fauna, incluem-se as extinções de diversas espécies e as migrações dos animais em série.

Para Solomon et al. (2009), a gravidade das ações humanas nas mudanças climáticas deve ser considerada não só pela magnitude destas mudanças, mas também pela capacidade de reversibilidade. Conforme o IPCC (2007, p. 23), “o aquecimento antrópico e a elevação do nível do mar continuariam durante séculos em razão das escalas de tempo associadas aos processos climáticos e realimentações, mesmo que as concentrações de gases de efeito estufa se estabilizassem.”

Segundo Assis (2007), as cidades, devido à quantidade de energia que utilizam, constituem as maiores fontes indiretas de gases causadores do efeito estufa. Em escala reduzida, as alterações climáticas são percebidas, em maior ou menor grau, pelas ilhas de calor, ou seja, pelas diferenças de temperatura entre os centros mais adensados e seus arredores. Em geral, a configuração espacial das áreas mais adensadas é marcada por edificações implantadas ao longo do eixo das ruas¹, compondo o denominado cânion urbano, termo definido por Oke (1978). Os cânions urbanos são representados pela relação entre a altura das edificações (H) e a largura da rua (W).

Nestas situações, as mudanças microclimáticas decorrentes das alterações nos balanços energético, hídrico e térmico e nos fluxos aerodinâmicos do ambiente urbano são ainda mais perceptíveis. As alterações no balanço de radiação referem-se ao decréscimo de radiação recebida em zonas sombreadas, ao aumento da radiação solar recebida e refletida internamente em cânions urbanos, à captação e armazenamento de calor pelos materiais de construção e à redução da radiação de onda longa emitida pela área urbana para a atmosfera devido às obstruções locais (OKE, 1978, SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003). Em relação a estas obstruções, a quantidade de céu visível de um determinado ponto, ou seja, o céu disponível para a dispersão de energia térmica pode ser determinado pelo fator de visão do céu (FVC).

¹ Suga (2005, p. 19) observa que “a busca constante pela exacerbação dos limites técnicos” refletiu na Arquitetura, de modo que foi possível a “construção de edificações eminentemente verticais”.

Por conseguinte, a forma dos cânions afeta tanto o conforto interno como o conforto externo às edificações. Nem sempre a criação dos cânions urbanos afeta negativamente as condições climáticas. Johansson (2006) argumenta que, em climas quentes e secos, os cânions, ao proporcionarem sombra, asseguram o conforto térmico de pedestres, fato que demonstra a importância da forma urbana. Sob o aspecto climatológico, Ali-Toudert (2005) afirma que, basicamente, a principal dificuldade em estabelecer o desenho das ruas é o conflito de necessidades em épocas variadas do ano, como fornecer a proteção adequada no verão e garantir o acesso solar no inverno. E acrescenta que isto implica em uma menor ou maior abertura para o céu, respectivamente.

Souza et al. (2008) citam que é preciso estabelecer um limite máximo quanto à diminuição do fator de visão do céu, sem que haja intensificação da ilha de calor, aproveitando a própria massa construída das edificações para prover sombreamento nas áreas de pedestres.

Nos espaços abertos, o conforto térmico está relacionado com as atividades humanas, refletindo nos aspectos sociais e econômicos das cidades. Em outras palavras, os espaços públicos são espaços de circulação, socialização, até mesmo contemplação, sendo o comércio de rua dependente do fluxo de pessoas. Assim, quanto mais confortável o ambiente externo, maior a chance dos transeuntes permanecerem nestes locais.

Sabe-se que o desenho urbano pode ser concebido de maneira a promover condições climáticas favoráveis. Porém, de maneira geral, o que se percebe nas áreas urbanas são inadequações climáticas em decorrência das tendências de aquecimento (fenômeno relacionado à ilha de calor). Para Johansson (2006), a principal causa desta deterioração é devido ao microclima urbano e ao conforto térmico em espaços abertos terem importância secundária nos processos projetuais e de planejamento urbano. Há, inclusive, diferenças nas demandas de informações requeridas entre climatologistas e planejadores. Enquanto arquitetos e urbanistas focam nas condições diurnas, por ser o período principal das atividades humanas, existe, por parte dos climatologistas, uma tradição de estudos em períodos noturnos, especialmente os estudos em ilhas de calor (SVENSSON, 2004; ELIASSON, 2002). Outro fator que limita o uso de dados do ambiente térmico para fins de planejamento urbano, conforme Souza (2007), é a dificuldade de se obter uma correlação entre valores de fator de visão do céu e temperatura do ar.

Ali-Toudert (2005) ressalta que os estudos em conforto térmico em espaços abertos irão aumentar a conexão desejável entre o campo da climatologia urbana e do planejamento urbano. Segundo Dumke (2007, p. 23), “o estudo do conforto ambiental por si só requer o tratamento multidisciplinar (biologia, ecologia, climatologia e meteorologia, arquitetura, geografia, fisiologia humana, ciências térmicas, energia etc.).”

Um exemplo da falta de integração entre o discurso e a prática pode ser observado na legislação urbana da maioria das cidades brasileiras, incluindo a legislação da cidade de Curitiba.

Atualmente, fala-se muito na revitalização dos espaços públicos. Por meio de Parcerias Público-Privadas, a prefeitura de Curitiba revitalizou, no ano de 2009, a Praça Generoso Marques. Além deste, outros espaços públicos passam por este processo, como o Jardim Botânico, a Praça da Polônia e a Praça Odilon Meder (ALMEIDA, 2009). No entanto, esses projetos englobam apenas a esfera sócio-econômica, pois não há na legislação urbana dispositivos legais relativos ao conforto térmico em espaços externos.

Os espaços públicos abertos representados pelas praças, parques, ruas e ruas de pedestres são locais que concentram um grande número de pessoas, principalmente no período diurno. Em especial, as ruas de pedestres são, muitas vezes, os eixos comerciais dos centros urbanos. Assim, é preciso o entendimento das conseqüências da configuração urbana para as condições microclimáticas, para que, por meio de posturas relativas à verticalização das cidades, possa ser assegurado o conforto térmico humano, pelo menos em parte.

Desta maneira, considerando os atributos da forma urbana, esta pesquisa busca responder a seguinte pergunta: qual a relação entre a geometria urbana e o conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba?

Parte-se do pressuposto de que, no período diurno, em espaços mais abertos, os valores de temperatura do ar (T_a) e de temperatura radiante média (T_{rm}) sejam proporcionalmente mais elevados do que em locais mais obstruídos, devido à maior exposição das superfícies à radiação solar. Esta condição pode ser favorável no inverno, mas pode exercer efeito negativo em dias com temperaturas elevadas.

Escolheu-se o fator de visão do céu como indicador da complexa geometria urbana. Os índices de conforto térmico Voto Médio Estimado (PMV) e

Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) são utilizados para representar os níveis de conforto térmico. O calçadão da Rua XV de Novembro, situado na cidade de Curitiba, e outros espaços públicos no entorno desta via, são locais deste estudo.

O objetivo geral é avaliar a influência da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- analisar as conseqüências da verticalização das estruturas urbanas em relação aos fatores supracitados: criação de um microclima e conforto térmico de pedestres;
- comparar a relação entre o fator de visão do céu e a variável temperatura radiante média por pontos selecionados;
- comparar os índices de conforto térmico Voto Médio Estimado e Temperatura Fisiológica Equivalente entre si, a partir dos monitoramentos realizados.

A dissertação foi estruturada em cinco capítulos.

No Capítulo 2, é apresentado o referencial teórico, no qual está embasada toda a pesquisa. O capítulo está dividido em duas seções. Na primeira seção, intitulada “Aspectos climáticos do ambiente urbano”, são apresentados os conceitos de ilha de calor e de escalas meteorológicas, estas últimas necessárias para situar e delimitar a pesquisa. Na seqüência, é abordada a questão dos efeitos dos cânions urbanos no microclima e apresentado o fator de visão do céu como indicador da geometria urbana irregular. Na segunda seção, denominada “Conforto térmico em espaços externos”, são apresentados os conceitos de conforto térmico e das variáveis humanas que influenciam no grau de estresse fisiológico, como aclimação, metabolismo, vestimenta. São descritos, também, os índices de conforto utilizados neste estudo e que servirão de parâmetro para estabelecer a influência do FVC sobre os níveis de conforto térmico.

No Capítulo 3, é apresentada a metodologia e as ações desenvolvidas para a realização da pesquisa.

No Capítulo 4, são auferidos os resultados por meio da análise de correlações entre os índices e as variáveis climáticas; análise dos pares de medição; análise de dias comparáveis; análise de conforto calculado; análise de dados normalizados e análise da relação entre FVC, ilha de calor diurna, e diferenças de temperatura entre a T_{rm} obtida por meio das medições e a T_a registrada pela

estação meteorológica de referência. Analisa-se, também, a relação entre a radiação solar e o FVC, por meio da sobreposição da carta solar na foto olho de peixe. Ao final, apresenta-se o fator de acessibilidades solar (FAS).

No Capítulo 5, são expressas as considerações finais acerca dos resultados obtidos e das limitações encontradas. Adicionalmente, são feitas sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A condição de conforto térmico é decorrente da combinação de parâmetros climáticos e fatores pessoais. Desta forma, este capítulo está dividido em duas seções. A primeira seção busca revisar alguns dos conceitos mais relevantes para a climatologia urbana, notadamente para o ambiente urbano. A segunda seção é relativa à definição de conforto térmico e das variáveis humanas (atividade, vestimenta, aclimatação, forma e volume do corpo, etc.). São abordados, também, os índices de conforto térmico utilizados neste estudo, o Voto Médio Estimado (PMV) e a Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).

2.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS DO AMBIENTE URBANO

Nesta seção faz-se uma breve revisão sobre o início dos estudos em clima urbano e apresentam-se os conceitos de escalas meteorológicas, ilha de calor e cânion urbano. Em seguida, analisam-se, por meio de referencial teórico, os efeitos dos cânions urbanos no balanço energético, na temperatura do ar, nos fluxos de vento, no acesso solar, na vegetação e no albedo². É apresentado, também, o fator de visão do céu como parâmetro adimensional que melhor representa os diversos perfis verticais³ contidos na malha urbana.

2.1.1 Clima Urbano

Olgay (1998) relata que, para o Homem, controlar o meio físico e criar condições adequadas ao desenvolvimento das atividades humanas sempre foram questões inerentes à idéia de habitar. De fato, as civilizações gregas e romanas já consideravam os aspectos climáticos para configurar suas cidades. Conforme Loewen (2002), o arquiteto romano Vitrúvio no tratado intitulado *De Architectura Libri*

² O termo albedo pode ser definido pela razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade total de radiação incidente, estando relacionado, portanto, com as características de reflexão solar de um dado local.

³ Nesse caso, “perfis verticais” referem-se às alturas das edificações.

Decem (século I a.C) e, posteriormente, Alberti no tratado *De Re Aedificatoria* demonstram como as preocupações com as condições climáticas e com a salubridade das cidades deveriam ser aplicadas na prática do planejamento urbano. Segundo a autora, para estes arquitetos “o reconhecimento dos fatores ambientais e das normas higiênicas fundamentais não é fruto de um hedonismo estéril, mas possui uma finalidade precisa, a do assentamento humano” (LOEWEN, 2002, p. 42).

O clima urbano é definido por Monteiro (2003, p. 19) como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. Para Andrade (2005, p. 70), o clima urbano resulta das interações entre “os fatores urbanos com o clima regional e com o meio físico pré-existentes”.

De acordo com Landsberg (1981), o estudo sistemático sobre o clima urbano teve início somente a partir da segunda metade do século XIX, mais especificamente em 1818, com o estudo de Luke Howard sobre a diferença de temperatura da cidade de Londres em relação aos seus arredores. Em 1855, Emilien Renou realizou um trabalho pioneiro sobre a questão da temperatura e ventilação da cidade de Paris. Segundo Assis (2005), estudos como esse multiplicaram-se pela França e Alemanha, em decorrência da expansão das redes de observação meteorológica. Alcoforado (1999) relata que, posteriormente, em países como Alemanha, Áustria e Suíça, os investigadores começaram a perceber a limitação das estações meteorológicas, que são representativas apenas para determinadas localidades. Assim, devido à emergência da micro-meteorologia nos anos 30, introduziu-se a técnica de transectos móveis (ASSIS, 2005).

Segundo Alcoforado (1999), o primeiro manual de climatologia urbana foi publicado em 1937 na Alemanha. A autora cita que, em consequência da 2ª Guerra Mundial e do incremento da industrialização, as pesquisas climatológicas multiplicaram-se, a partir daí, pela América do Norte e Japão. Após este período, os estudos passaram a concentrar-se na "distribuição horizontal de vários elementos climáticos", especialmente a temperatura, "a sua relação com o uso do solo, com a dimensão da cidade, com o tipo de tempo e a sua influência no gradiente térmico vertical" (ALCOFORADO, 1999, p. 84).

Os estudos climatológicos ganharam ênfase na década de 70, diante dos graves problemas ambientais. Neste período, Monteiro (1976⁴, citado por MONTEIRO, 2003), na proposta teórico-metodológica intitulada Sistema Clima Urbano (SCU), sugere uma análise sistêmica do clima. Para isso, o autor propõe três subsistemas: (1) Termodinâmico, (2) Químico e (3) Hidrometeorológico, sendo estes relacionados com os canais de percepção humana: conforto térmico, qualidade do ar e impacto meteorológico, respectivamente (Quadro 1).

Subsistemas	Termodinâmico	Físico-Químico	Hidrometeorológico
Canais	Conforto térmico	Qualidade do ar	Impacto meteorológico
Fonte	Atmosfera Radiação circulação horizontal	Atividade urbana Veículos Auto-motores Indústrias obras- Limpas	Atmosfera estados especiais (desvios rítmicos)
Transito no Sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operados	Do operador ao operando
Mecanismos de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação Núcleo Ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódio (eventual)
Observação	Meteorológica espacial (T. de campo)	Sanitária e meteorológica especial	Meteorológica hidrológica (T. de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e infra-estrutura urbana
Produtos	“Ilha de Calor” Ventilação Aumento de precipitação	Poluição do ar	Ataques à integridade urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários Doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da infra estrutura urbana e regularização fluvial. Uso do solo.
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

Quadro 1 – Sistema Clima Urbano (S.C.U.)

Fonte: Monteiro (2003, p. 46)

⁴ MONTEIRO, Carlos Augusto F. **Teoria e Clima Urbano**. IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: USP, 1976. 181p.

Monteiro (2003, p. 28) ainda relaciona as “unidades climáticas com as ordens de grandeza taxonômicas das formas e com as unidades (graus) de urbanização”, conforme Quadro 2.

Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
			Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análises
1:45.000.000 1:10.000.000 (milhões de Km)	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitudes Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
1:5.000.000 1:2.000.000 (milhões de Km)	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Rede transectos
1:1.000.000 1:5.000.000 (centenas de Km)	Sub- Regional (fácies)	Megalópole Grande área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
1:250.000 1:100.000 (dezenas de Km)	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede Complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
1:50.000 1:25.000 (centenas de Km)	Mesoclima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (Episódios)	Urbanismo	Especiais
1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Fácies de bairro/ subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
Dezenas de metros					
1:2.000					
Metros	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Quadro 2 – Categorias Taxonômicas do Clima Urbano

Fonte: Adaptado de Monteiro (2003)

O presente estudo trata dos níveis de conforto térmico em ruas de pedestre de Curitiba e relaciona-se, portanto, com o subsistema Termodinâmico, sendo o espaço climático referente ao microclima. As escalas meteorológicas são definidas a seguir.

2.1.1.1 Escalas meteorológicas

A conceituação das diferentes escalas meteorológicas é essencial para o entendimento do processo no qual “os elementos da superfície urbana interagem com as camadas atmosféricas adjacentes” (ARNFIELD, 2003, p. 2). Embora os fenômenos atmosféricos sejam parte de um processo contínuo (OKE, 1978), sendo, portanto, a divisão destes em categoriais espaciais “sempre arbitrárias e artificiais” (ANDRADE, 2005, p. 71), a distinção das escalas permite a diferenciação dos processos atmosféricos, possibilitando a delimitação do objeto de estudo por parte do pesquisador.

É atribuída a Orlanski (1975) a diferenciação da dinâmica atmosférica quanto à escala espacial e temporal, classificada como: macroclima, mesoclima e microclima. Em relação aos níveis de informações climáticas obtidas nesta divisão, Mascaró (1996, p.37) coloca da seguinte forma:

Os dados macroclimáticos são obtidos nas estações meteorológicas e descrevem o clima geral de uma região, dando detalhes de insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura, umidade e ventos. Os dados mesoclimáticos, nem sempre de fácil obtenção, informam as modificações do macroclima provocadas pela topografia local como vales, montanhas, grandes massas de água, vegetação ou tipo de coberturas de terreno como, por exemplo, salitreiras. No microclima são levados em consideração os efeitos das ações humanas sobre o entorno, assim como a influência que estas modificações exercem sobre a ambiência dos edifícios.

Para Oke (2006) as três escalas horizontais de interesse na área urbana são (Ver Figura 1): (1) mesoescala, que corresponde à influência integrada da cidade no clima urbano, abrangendo dezenas de quilômetros de extensão, (2) escala local, que inclui os efeitos climáticos decorrentes da forma da paisagem, tal como a topografia, mas exclui os efeitos microclimáticos (superfícies de cobertura, tamanho e espaçamento dos edifícios, etc.), variando de um para vários quilômetros, (3) microescala, escala típica do microclima urbano, está relacionada com as dimensões individuais dos elementos urbanos (edifícios, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, etc.), podendo variar de um metro a centenas de metros.

Em relação às escalas verticais, Oke (1978) propôs a estratificação da camada atmosférica urbana (tipicamente abaixo dos 300m) em:

- *Urban Boundary Layer (UBL)* – Camada Limite Urbana: ocorre acima do nível médio das coberturas das edificações, sendo produzida pelos processos que ocorrem na mesoescala, entre a atmosfera e o espaço urbano (cidade).
- *Urban Canopy Layer (UCL)* – Camada Intra-Urbana: compreende a camada estratificada entre o solo e o nível médio das coberturas das edificações, sendo produzida pelos processos que ocorrem na microescala, entre a atmosfera e os elementos urbanos (cânions).

A camada imediatamente abaixo da UBL é chamada de sub-camada rugosa (*roughness sublayer*), sendo seu fluxo dependente da rugosidade de elementos individuais (ARNFIELD, 2003).

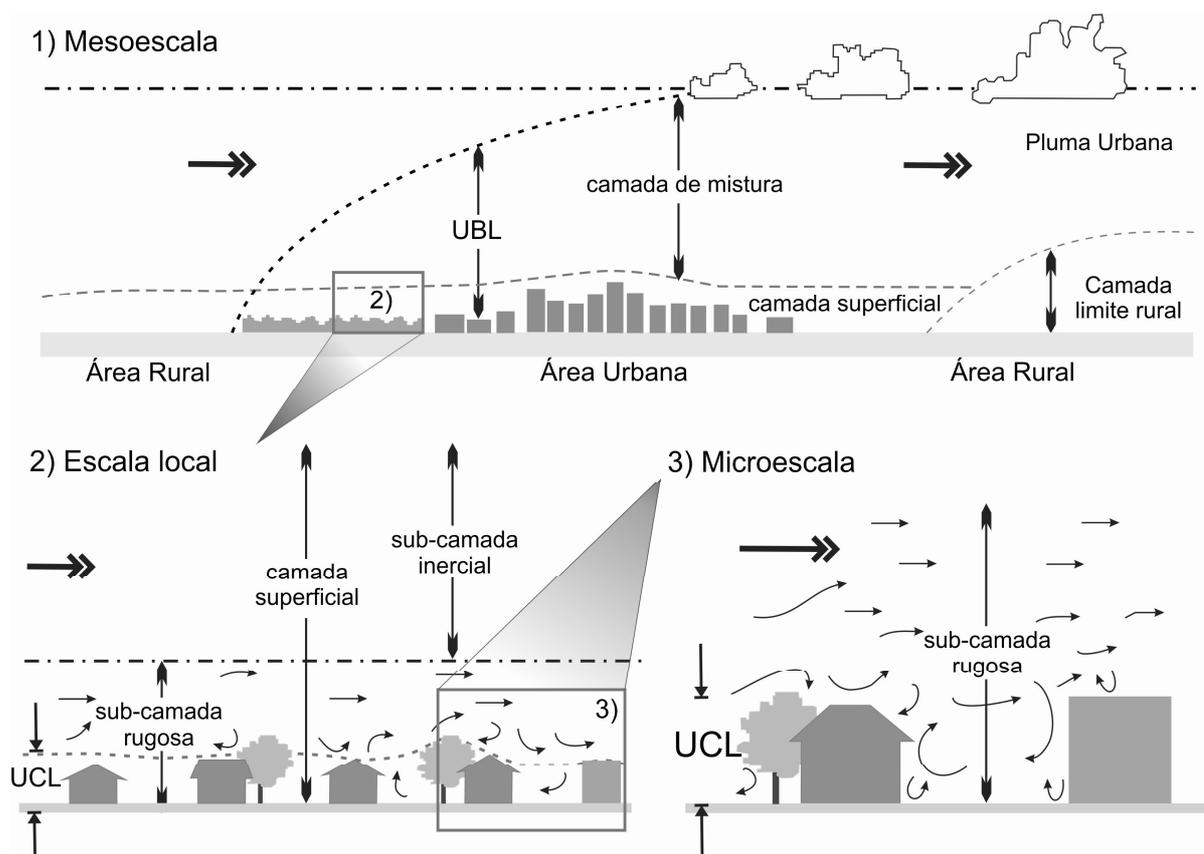


Figura 1 – Escalas climáticas

Fonte: Adaptado de Oke (2006)

Desta forma, para o planejamento das cidades sob o aspecto bioclimático é fundamental o entendimento das alterações que ocorrem na camada intra-urbana, sendo a ilha de calor, uma das manifestações mais significativas do clima urbano.

2.1.2 Ilhas de Calor Urbanas

A malha urbana é formada por agrupamentos de edificações, sendo o uso do solo diferenciado por áreas mais adensadas do que outras. As diferentes situações urbanas, somadas às fontes de calor antropogênico, geram um mosaico de microclimas. Devido às alterações térmicas nas zonas mais adensadas, percebe-se um aumento da temperatura do ar (T_a) em relação às áreas rurais circundantes, fenômeno chamado de ilha de calor (*urban heat island* - UHI). De acordo com Landsberg (1981), a ilha de calor é o fenômeno climático mais óbvio da urbanização e, segundo Oke (1978), é o fenômeno de modificação climática mais bem documentado.

O alcance vertical da ilha de calor é de três a cinco vezes a altura média das edificações, altura próxima a abóbada urbana (GIVONI, 1998). A máxima diferença de temperatura entre a área urbana e a área rural é chamada de intensidade da ilha de calor (ΔT_{u-r}). Conforme Givoni (1998), em relação a estas áreas, são comuns diferenças de temperatura do ar entre 3 a 5 °C, porém também são observados valores entre 8 a 10 °C. Já em relação aos centros urbanos e seu entorno, as diferenças de temperatura do ar podem ser de 1 a 2 °C.

O fenômeno da ilha de calor é mais visível no período noturno com ausência de ventos fortes. Erell e Williamson (2007) realizaram um estudo em Adelaide (34° S), Austrália, e, ao compararem dados de dois cânions urbanos adjacentes com dados de duas estações meteorológicas, durante 134 dias (abrangendo os meses de maio, junho, novembro, janeiro e março), relataram que, no período noturno, a intensidade da ilha de calor foi de 6 a 8 °C, enquanto no período diurno, os valores variaram de 3 a 4 °C. Em relação à velocidade do vento, quando esta era maior que 2 ms^{-1} , a ΔT_{u-r} raramente chegava a 2 °C, mas quando a velocidade estava abaixo deste limiar, a intensidade da ilha de calor era de 5 a 6 °C.

Givoni (1998) cita os seguintes fatores que afetam a temperatura do ar, principalmente ao nível do solo, contribuindo com a formação das UHI:

- diferença no balanço de radiação entre a área urbana e a área rural;
- armazenamento de energia solar pela massa construída e liberação deste calor no período noturno;
- liberação de calor antropogênico;

- baixa evaporação do solo e da vegetação nas áreas construídas em relação às áreas rurais;
- fontes de calor sazonais, representadas pelo aquecimento das edificações no inverno e uso de ar condicionado no verão que, pelo processo de *feedback*, devolvem o ar aquecido para a atmosfera urbana.

As variáveis ambientais, como a nebulosidade, a velocidade do vento e a umidade específica, também influem na intensidade da ilha de calor. No entanto, Givoni (1998) ressalta que, do ponto de vista de desenho urbano, os fatores de interesse são aqueles que podem ser controlados pelas ações humanas, como o albedo, a presença e distribuição de vegetação urbana, a densidade das áreas construídas, as tipologias de edificações e as orientações das ruas.

Em oposição à ilha de calor, o fenômeno da ilha de frescor ocorre quando a temperatura das áreas mais adensadas é menor que nas áreas mais abertas, ocorrendo preferencialmente em dias de sol, sem nebulosidade, e associado a ventos fracos (ERELL; WILLIAMSON, 2007).

A Tabela 1, “elaborada para o caso de clima temperado”, apresenta as alterações dos parâmetros climáticos (valores médios) decorrentes do processo de urbanização, e “que podem variar significativamente conforme as condições locais e as variações climáticas” (DUMKE, 2007, p. 112).

Tabela 1 – Comparações de parâmetros climáticos entre ambientes citadino e rural

(continua)

ELEMENTOS	OBSERVAÇÃO	COMPARAÇÃO COM AMBIENTE RURAL
Radiação	Global	15 a 20% menos
	Ultravioleta, inverno	30% menos
	Ultravioleta, verão	5% menos
	Duração de brilho do sol	5 a 15% menos
Contaminantes	Partículas e núcleos de condensação	10 vezes mais
	misturas gasosas	5 a 25 vezes mais
Nebulosidade	Cobertura (do sol)	5 a 10% mais
	Nevoeiro, inverno	100% mais
	Nevoeiro, verão	30% mais
Precipitação	Total	5 a 10% mais
	Dias com menos de 5mm	10% mais

Fonte: Landsberg (1970⁵, citado por AYOADE, 2003)

⁵ LANDSBERG, Helmut E. Man-Made Climatic Changes. *Science*, n.170, p. 1265-1274, 1970.

Tabela 1 – Comparações de parâmetros climáticos entre ambientes citadino e rural

(conclusão)

ELEMENTOS	OBSERVAÇÃO	COMPARAÇÃO COM AMBIENTE RURAL
Temperatura	Média anual	0,5 a 1 °C mais
	Mínima no inverno (média)	1 a 2 °C mais
	Dias de mais calor	10% menos
Umidade Relativa	Média anual	6% menos
	Inverno	2% menos
	Verão	8% menos
Velocidade do Vento	Média anual	20 a 30% menos
	Rajadas máximas	10 a 20% menos
	Calmarias	5 a 20% mais

Fonte: Landsberg (1970, citado por AYOADE, 2003)

Um dos primeiros trabalhos sobre ilhas de calor no Brasil é atribuído a Danni (1987), que investigou, no ano de 1982, na cidade de Porto Alegre, a distribuição espacial da temperatura do ar e da umidade do ar. Foram considerados 15 dias de medições, ocorridas no período de verão e nos horários das 9h, 15h e 21h. Os resultados apontaram ilhas de calor com uma intensidade média de 5 °C, estando estas relacionadas com as áreas mais urbanizadas.

Lombardo (1985) em um estudo realizado em São Paulo constatou diferenças médias na temperatura do ar de 10 °C entre a área urbana e a área rural. A autora utilizou imagens do satélite NOAA para o tratamento do campo térmico e imagens Landsat para a identificação do uso do solo, além de medições fixas e móveis. Para a pesquisa, foram selecionados 18 pontos de monitoramento. Os resultados mostraram que a formação das ilhas de calor estava relacionada com as áreas mais poluídas e edificadas.

Sakamoto (1994) analisou a relação entre a temperatura do ar e a configuração do céu na cidade de São Paulo. Os monitoramentos foram realizados nos dias 01/11/1986 e 18/07/1987. Os dados foram obtidos a cada intervalo de três horas, totalizando um período de 14 horas. Para o cálculo da percentagem de céu obstruído, foi utilizado ábaco sobre as fotos olho de peixe. Os pontos de medição foram escolhidos considerando-se a estrutura urbana, a geomorfologia e o plano diretor da cidade. Os resultados mostraram que a relação entre a configuração do céu e a temperatura do ar varia conforme o horário, sofrendo a influência de outras

variáveis como vento, orientação da malha viária, grau de urbanização, situação topográfica e nebulosidade.

Em relação às pesquisas realizadas na cidade de Curitiba, citam-se os estudos de Rossi (2004), Mendonça e Dubreuil (2005) e Krüger e Dumke (2007).

Rossi (2004) investigou a influência da ocupação do solo na variação da temperatura do ar em 14 bairros da cidade de Curitiba. Foram coletados dados relativos à temperatura e à umidade, bem como dados sobre a ocupação do solo de cada localidade selecionada. As medições ocorreram no período de inverno, nos anos de 2002 e 2003. As análises comparativas mostraram que não houve um padrão entre as taxas de ocupação e a temperatura do ar. Na análise da atualização do ano climático, com base nos dados de 1998 a 2003, percebeu-se um aquecimento de 0,6 °C no período de 30 anos em Curitiba. Em relação ao conforto térmico, todas as localidades apresentaram percentagem significativa de desconforto, principalmente para o frio. O Bairro Alto foi o que mais apresentou desconforto para o calor (5,03%), região caracterizada por tráfego intenso, muita área pavimentada, pouca arborização e ocupação intensa, além de estar situado em um dos pontos com maior cota topográfica da cidade.

Mendonça e Dubreuil (2005) analisaram a relação entre a temperatura da superfície do solo (termografia) e a temperatura do ar no inverno de 2002 na Região Metropolitana de Curitiba. Para o estudo foram utilizados dados provenientes de imagem de satélite e dados de quatro estações meteorológicas. A imagem de satélite evidenciou a formação de uma ilha de calor na superfície e, simultaneamente, os dados meteorológicos mostraram a existência de uma ilha de frescor a 1,5 m sobre a mancha urbana. Em relação à umidade relativa do ar, esta variável apresentou menores valores na área urbana do que nas áreas rurais, local em que a radiação se processou mais intensamente.

Krüger e Dumke (2007) analisaram a existência de ilha de calor em Curitiba por meio da comparação de duas estações meteorológicas, uma urbana e outra rural. A partir de uma análise realizada por linhas de tendência lineares, os resultados apontaram para a existência de uma ilha de calor na região central da cidade com diferenças de temperatura do ar de 2K (mínimas diárias) entre a situação urbana e a rural.

Destacam-se, ainda, os estudos de Blanchet (2004), que relaciona os parâmetros de conforto térmico com a forma urbana do bairro Bigorriho, e Pertschi

(2005), que analisa os padrões de ocupação do solo e as alterações na temperatura do ar no município de São José dos Pinhais, área metropolitana de Curitiba.

A ilha de calor está diretamente relacionada à configuração dos espaços citadinos, sendo os cânions urbanos uma representação constante da geometria urbana.

2.1.3 Cânions Urbanos

Os cânions urbanos, termo utilizado por Oke (1978), são resultados de "paisagens urbanas com grande profusão de arranha-céus, estando em seqüência e justapostos a um eixo" (SUGA, 2005, p. 20). Esta simplificação da forma urbana é determinada geometricamente pela razão entre a altura das edificações (H) e a largura das ruas (W), - relação H/W. Para cânions assimétricos, com variação nas alturas das edificações, considera-se a média dessas alturas (JOHANSSON, 2006).

Segundo Santamouris (2001), a distribuição da temperatura do ar na camada intra-urbana é afetada em grande parte pelo balanço de radiação. No processo de balanço térmico, a abóbada celeste, por possuir temperaturas mais amenas do que a superfície terrestre, funciona como um receptor da radiação de onda longa vinda da camada urbana, possibilitando o resfriamento desta superfície (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003). Nesse sentido, a geometria urbana e qualquer outro elemento que obstrua a visão do céu influem no controle da temperatura das superfícies (T_s) e na temperatura do ar. Em conseqüência da perda de radiação ser mais lenta em áreas urbanas do que nas áreas rurais, há mais ganho solar do que efetivamente perda, sendo este efeito considerado a principal causa da ilha de calor urbana (CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2001; MOIN; TSUTSUMI, 2004; CHAPMAN, 2007). Desta maneira, a morfologia dos grandes centros urbanos, geralmente representada pelos cânions urbanos, relaciona-se diretamente com o fenômeno da ilha de calor.

São diversos os efeitos das variáveis climáticas nos cânions urbanos, sendo estes apresentados nos subitens a seguir.

2.1.3.1 Balanço energético em cânions urbanos

Conforme Givoni (1998), a radiação solar pode ser subdividida em dois grupos: a radiação que é absorvida e transformada em calor (latente e/ou sensível) e a radiação que é refletida para o entorno.

O balanço energético de recintos urbanos inclui todos os processos de energia envolvidos na formação do clima urbano, compreendendo a variação diurna dos diferentes fluxos energéticos. Assim, segundo Johansson (2006), para que haja equilíbrio, o *input* advindo do calor antropogênico e da radiação deve estar de acordo com a liberação do calor sensível e latente. O autor acrescenta que devem ser considerados, também, o transporte horizontal do ar e o calor armazenado nas superfícies urbanas.

O balanço energético do volume de ar contido no interior de um cânion ocorre segundo a Equação 1 (OKE, 1978, p. 241):

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad \text{Equação 1}$$

Onde Q^* é a radiação líquida obtida para todos os comprimentos de onda, Q_F é o fluxo de calor antropogênico, Q_H é o fluxo de calor sensível, Q_E é o fluxo de calor latente, ΔQ_S é o fluxo devido ao armazenamento de calor na malha urbana e ΔQ_A é variação do fluxo de calor advectado.

Johansson (2006, p. 45) analisa estas variáveis conforme Quadro 3:

Variável (W/m ²)	Efeito da variável
Q^*	Apresenta valor positivo no período diurno devido à radiação solar absorvida ser maior que a perda de radiação de onda longa. Ocorre inversão térmica no período noturno e o valor de Q^* torna-se negativo.
Q_F	Normalmente o valor de Q_F é menor que o fluxo de radiação em áreas urbanas.

(continua)

Quadro 3 – Descrição dos componentes da equação de balanço energético

Fonte: Johansson (2006, p.45)

Variável (W/m ²)	Efeito da variável
Q_H	O aumento do fluxo de calor sensível está relacionado com o aumento do processo de convecção e com o aumento da diferença de temperatura entre o ar e as superfícies, conseqüentemente, o valor de Q_H é maior durante o dia, particularmente em dias ensolarados.
Q_E	O aumento do fluxo de calor latente está relacionado com aumento da turbulência e com o aumento da diferença de umidade entre a superfície e o ar, assim, o valor de Q_E será maior quando as superfícies estiverem úmidas e o ar seco.
ΔQ_S	A magnitude do fluxo de calor devido ao armazenamento de calor na malha urbana (ΔQ_S) depende da admitância térmica das superfícies, sendo o valor positivo durante o dia e negativo a noite.
ΔQ_A	Depende da velocidade do vento e da permeabilidade das estruturas urbanas em relação aos movimentos do ar (rugosidade). Em áreas com similar forma urbana e uso do solo, o valor do componente de advecção pode ser desconsiderado.

(conclusão)

Quadro 3 – Descrição dos componentes da equação de balanço energético

Fonte: Johansson (2006, p.45)

Para Oke (1978), devido às diversas possibilidades de orientações dos cânions, relações entre a largura e a altura das edificações, materiais construtivos, fontes de umidade e de calor, entre outros fatores, é impossível haver um cânion representativo. Em modelos de cânion urbano, geralmente são estabelecidas edificações sem variações na altura e com profundidade infinita.

Um dos primeiros estudos referentes ao balanço energético em cânions urbanos foi apresentado por Nunez e Oke (1977). Os pesquisadores realizaram um estudo em Vancouver (49° N), Canadá, no período de 9 a 11 de setembro de 1973, dias caracterizados por céu claro e ventos fracos. O cânion apresentava as seguintes características: orientação N-S, relação H/W próxima de 1:1, paredes em concreto pintadas de branco e sem janelas, piso em cascalho e esparsa presença de vegetação. O Gráfico 2 mostra a seqüência diurna do balanço de energia do cânion em relação a três superfícies (fachada leste, piso e cobertura).

Os resultados mostraram que a fachada da parede leste é a primeira a receber radiação. No Gráfico 2 é possível perceber a ocorrência de dois picos de temperaturas, um próximo ao zênite, período em que a fachada recebia radiação solar direta, e outro próximo das 15h00, período em que a fachada, embora na sombra, recebia radiação difusa, refletida principalmente da parede oposta.

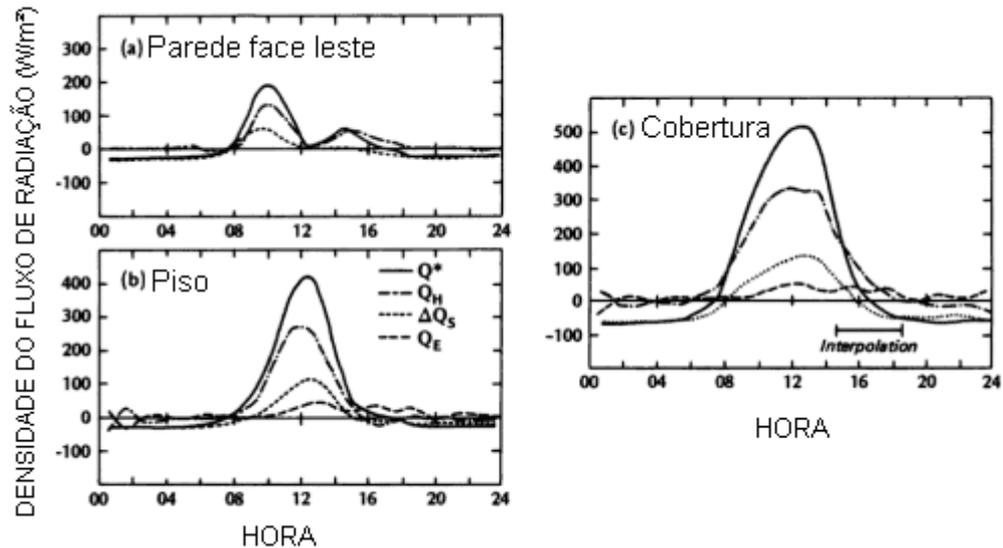


Gráfico 2 – Variação diurna do balanço de energia de um cânion (N-S) em relação a três superfícies (fachada leste, piso e cobertura)

Fonte: Adaptado de Nunez e Oke (1977)

Em relação ao piso, este esteve exposto à radiação principalmente às 12h00. O valor da radiação de onda longa, no período noturno, foi pequeno comparativamente às outras superfícies, em razão do reduzido fator de visão do céu dentro do cânion. Durante o dia, 70 a 80% da energia radiante foram dissipadas para o ar e 20 a 30% armazenadas pelos materiais construtivos. No período noturno, as perdas de radiação foram, em grande parte, fornecidas por condução do calor armazenado.

A radiação incidente influi, também, na temperatura do ar no interior dos cânions urbanos.

2.1.3.2 Temperatura do ar em cânions urbanos

Nas áreas mais adensadas, devido à complexidade da forma urbana, a radiação atinge a superfície terrestre de diferentes maneiras. Como verificado no item 2.1.3.1, uma parte significativa de radiação atinge primeiramente a cobertura das edificações, outra incide nas fachadas e, por último, uma pequena parcela de radiação atinge o solo, fazendo com que a temperatura próxima ao solo seja menor do que no interior do cânion (GIVONI, 1998). Em relação à estratificação das

camadas de ar no interior dos cânions, Santamouris (2001) observa que, próximo às fachadas das edificações, em função da temperatura das superfícies e da taxa de transporte vertical do ar, ocorre a formação de uma camada de ar (*air film*). Já no meio do cânion e próximo ao nível do solo, a temperatura do ar está condicionada pelo “fluxo divergente por unidade de volume de ar” (SANTAMOURIS, 2001, p. 74), incluindo o transporte horizontal, sendo a temperatura, em geral, mais baixa do que nas proximidades das fachadas.

Os pioneiros no estudo sobre a evolução temporal e a distribuição espacial da temperatura do ar em cânions urbanos foram Nakamura e Oke⁶ (1988, citados por Ali-Toudert, 2005). Segundo Ali-Toudert (2005), foram realizadas medições por estes pesquisadores em 63 pontos em uma seção vertical de um cânion urbano (orientação E-W e H/W próximo de um) localizado em Kyoto, Japão. Os resultados apontaram pouca diferença na temperatura do ar (0,5 até 1 K) entre a cobertura e o interior dos cânions, devido principalmente às turbulências do ar na camada intra-urbana.

Pearlmutter (1998) também encontrou diferenças relativamente pequenas. O estudo foi realizado na cidade de Dimona (latitude de 31° 4' N, 35° 1' E, e altitude de 600 metros acima do nível do mar), Israel, em dois cânions perpendiculares (E-W e N-S) com geometria compacta, regular e simétrica (relação H/W de 1:1). As medições foram contínuas (24 horas), e realizadas durante o verão (junho a agosto) e inverno (dezembro a fevereiro). Os resultados apontaram que a temperatura no interior do cânion, a uma altura média de 1,70 m era em torno de 3 °C superior à temperatura acima do nível das coberturas.

A variação de temperatura no interior do cânion foi menor que a amplitude térmica acima do nível das coberturas (Gráfico 3), e Pearlmutter (1998) presume que isso decorra do aquecimento das paredes adjacentes. Nesse mesmo estudo, verificou-se que as maiores temperaturas foram em cânions com orientação E-W (aproximadamente 1 °C a mais que a orientação N-S). Conforme Ali-Toudert (2005), isto resulta da maior exposição solar dos cânions E-W, sendo que as orientações axiais N-S e NW-SE são mais suscetíveis ao frio.

⁶ NAKAMURA, Y.; OKE T. R. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmos. Environ.*, v. 22, n.12, p. 2691- 2700, 1988.

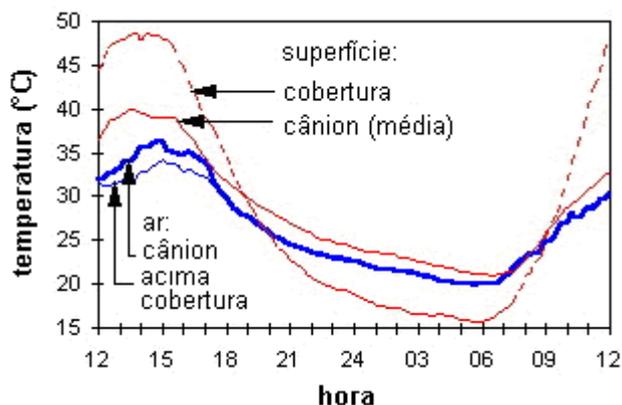


Gráfico 3 – Variação diária de temperatura do ar e das superfícies em cânion E-W (período de verão)

Fonte: Pearlmutter (1998)

Pearlmutter (1998) cita que em região áridas, cânions compactos poderiam, teoricamente, proporcionar sombras e favorecer um maior conforto térmico. No entanto, segundo o autor, há de se considerar as múltiplas reflexões e a redução do albedo solar, a diminuição do fator de visão do céu e a substancial redução da ventilação. Estas variáveis são explicitadas adiante.

2.1.3.3 Fluxo do ar em cânions urbanos

O vento é resultado das diferenças de temperatura de volumes de ar na atmosfera e está condicionado a dois fatores: a rugosidade (densidade da área urbana, orientação das ruas, relação entre a altura e a distância entre as edificações) e a porosidade (permeabilidade dos ventos às edificações e aos obstáculos).

O fluxo de vento na camada intra-urbana influi na ventilação de edificações e na renovação do ar em ambientes urbanos, assim como na dispersão de poluentes e no conforto térmico de pedestres.

Devido à morfologia urbana, Johansson (2006) cita que estudos com túnel de vento e medições apontam uma redução de 25 a 50% na velocidade horizontal do vento regional. Desta forma, a pressão dos ventos nas fachadas dos

edifícios diminuí, havendo, também, menor potencial para uso de ventilação cruzada (GHIAUS et al., 2006).

No tocante ao conforto térmico, Mascaró (1996, p. 44) cita que “a ação do vento é sentida pelas pessoas como força e como velocidade na medida em que aumenta a taxa de troca de calor com o exterior”. Conforme a autora, com base na velocidade média em 10 minutos a 2m do chão, foi estabelecida que a velocidade do vento a 5 m/s é sentida fisicamente pelos pedestres, sendo a de 10 m/s claramente desconfortável, com velocidade do vento a 15 m/s o controle do caminhar é afetado e a 20 m/s esta torna-se perigosa.

Em geral, ventos com maior velocidade podem diminuir o estresse térmico de pedestres em estações quentes ou exercer um efeito negativo em estações frias (GIVONI, 1998). Porém, ressalta-se que, dependendo do tipo de vento essa premissa não é verificada. Na Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, em algumas situações esporádicas, os ventos do quadrante Norte (N e NW) podem atingir altas velocidades, originando o chamado “Vento Norte”. Conforme Sartori (2000, 2003), esse vento é aquecido por compressão adiabática ao passar pela escarpa do Planalto Meridional Brasileiro e sua velocidade pode oscilar de 8 a 12 m/s, podendo atingir até 100 km/h em algumas ocasiões, sendo o fator principal das sensações de desconforto térmico nessa cidade.

As edificações estão sujeitas às forças da ação do vento, ou seja, ao barlavento, que exerce uma força de pressão e ao sotavento, que exerce o movimento de sucção. Quando a direção dominante do fluxo de ar é aproximadamente maior ou igual a 30 graus em relação ao eixo da rua, podem ser observados três tipos de regimes de fluxos de ar (SANTAMOURIS, 2001), ver Figura 2. A transição de um regime para outro ocorre em razão das combinações H/W.

De acordo com Santamouris (2001), para que não haja interação entre os campos de ar (barlavento e sotavento), as construções devem ter um espaçamento mínimo ($H/W > 0,05$), sendo este fato chamado de fluxo de rugosidade isolada (*isolated roughness flow*). No contexto urbano, em áreas onde há um aumento da relação H/W, quando o vento está perpendicular ao eixo da rua, o fluxo de ar predominante não circula entre as edificações, ocorrendo a formação de um vórtice central, devido às forças de pressão e sucção, dando origem ao fluxo com interferência de esteira (*wake interference flow*) e ao fluxo turbulento (*skimming flow*). Segundo Oke (1978), o estabelecimento de um vórtice de circulação estável

depende da velocidade do vento (estudos apontam uma velocidade de vento na ordem de 1,5 a 2,0 ms^{-1}).

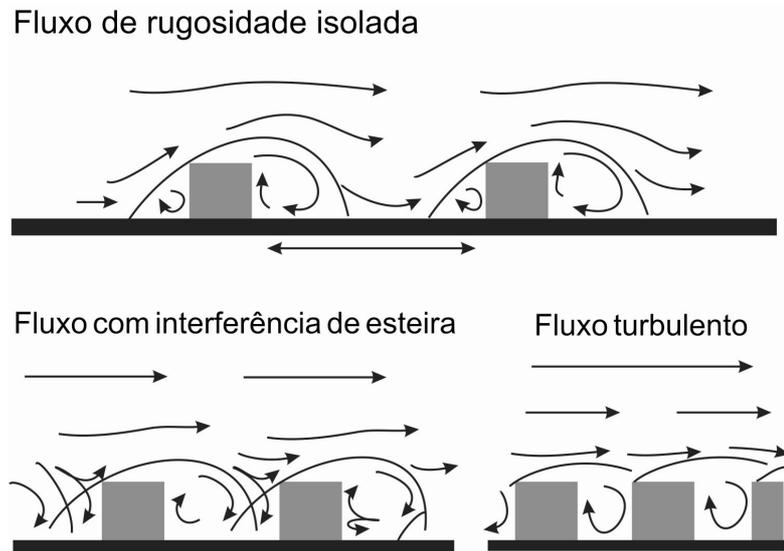


Figura 2 – Fluxo de ventos em cânions urbanos

Fonte: Adaptado de Oke (1978)

A velocidade dos ventos no interior de um cânion é resultante, também, da rugosidade das superfícies e da convecção térmica geradas por estas superfícies (Figura 3).

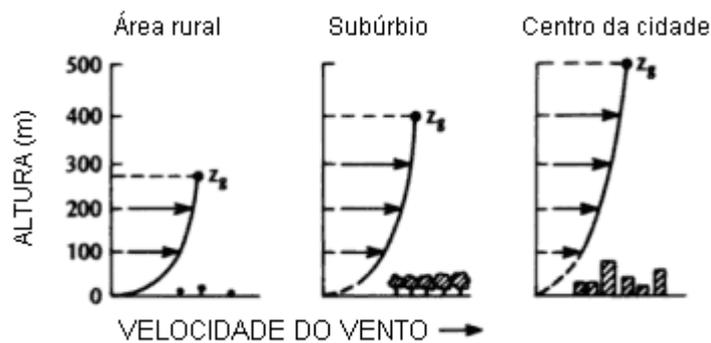


Figura 3 – Velocidade do vento em função da rugosidade das superfícies

Fonte: Adaptado de Oke (1978)

Desta maneira, Oliveira (1988, p. 33) observa que:

Quanto mais próximos os elementos da massa edificada, maiores os obstáculos à penetração dos ventos. Quanto maiores os contrastes entre as alturas dos elementos da massa edificada, maior o turbilhonamento dos ventos; melhor ventilação se combinada com porosidade; maior a velocidade dos ventos em parte da massa edificada próxima dos volumes mais altos; e maiores as trocas térmicas com o ambiente atmosférico, ocasionando menores ganhos térmicos, conseqüentemente, menores temperaturas do ar.

Assim como a forma urbana pode ser utilizada para garantir uma ventilação adequada, esta também deve ser pensada de modo a garantir acesso solar.

2.1.3.4 Acesso solar

Para Ali-Toudert (2005), o estudo sobre ganho solar no contexto urbano é um desafio, no qual a principal dificuldade é a redução do potencial de radiação devido às obstruções do sol pelo entorno.

Bourbia e Awbi (2004), por meio da ferramenta de simulação chamada Shadowpack PC code version 2, investigaram a relação entre a geometria urbana (relação H/W) e a incidência de radiação solar para a latitude 33°, considerando o período de verão e inverno (Figura 4). A importância do estudo reside no fato de que, em climas quentes e desérticos, a proteção de superfícies contra a radiação solar direta é a estratégia mais importante para a redução da carga térmica. A orientação norte foi utilizada como parâmetro para a determinação das demais orientações axiais estudadas: S1 (N); S2 (15°); S3 (30°); S4 (45°); S5 (60°) e S6 (75°). O padrão de sombreamento foi estabelecido considerando a fração de sombreamento (*shadow fraction* – SF), resultando nas seguintes relações H/W: R1 = 0,5; R2 = 1,0; R3 = 1,5; R4 = 2,0; R5 = 3,0 e R6 = 4,0.

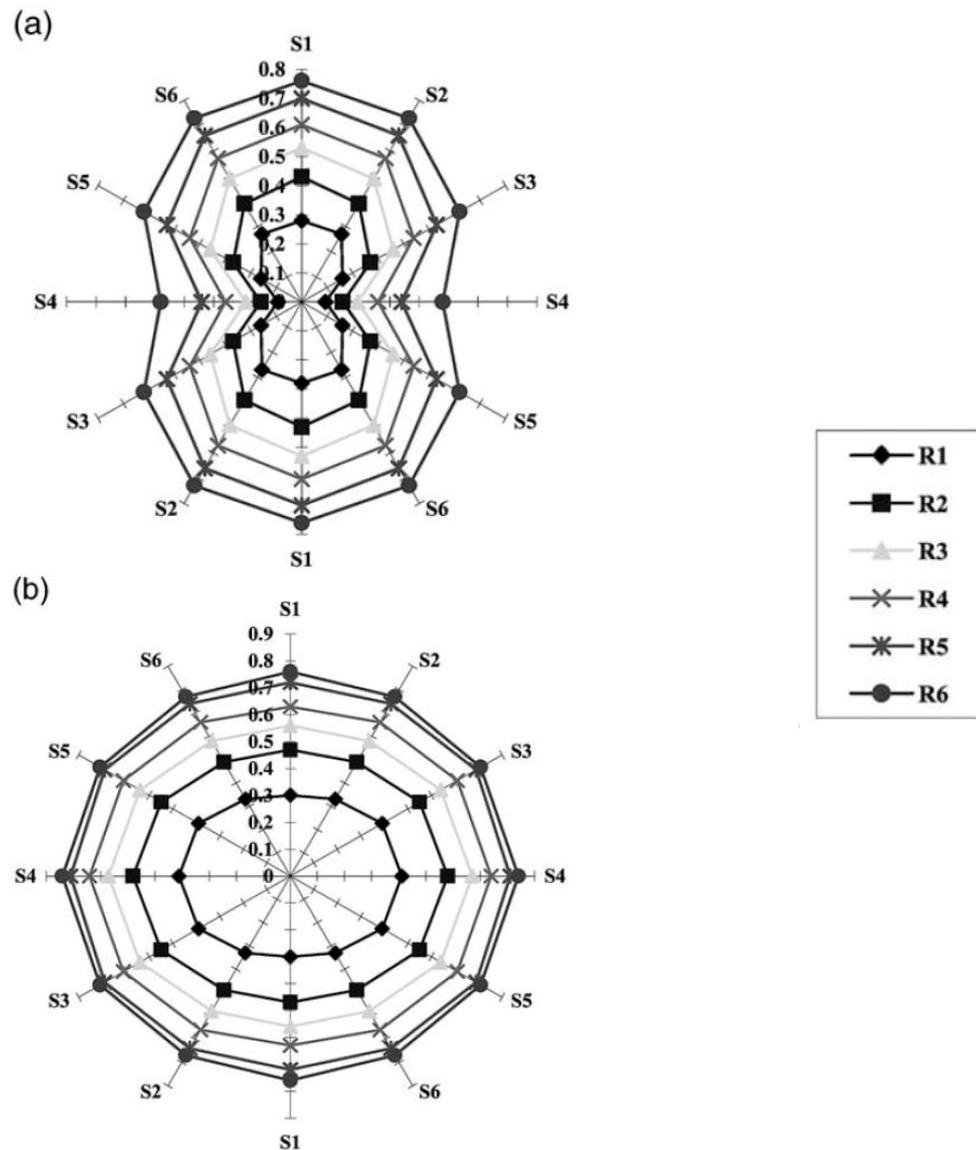


Figura 4 – Média mensal de fração de sombreamento para os cânions, latitude 33°- (a) verão (b) inverno

Fonte: Bourbia e Awbi (2004)

Os resultados apontaram maior sombreamento para a orientação N-S, entre 40 a 80 %, enquanto para as orientações NW-SE (S2, S3) e NE-SW (S5, S6), o sombreamento da rua foi entre 30 a 50% durante o ano. A orientação E-W atingiu até 30% de sombreamento, sendo considerada a pior situação. Os autores sugerem que em cânions menos profundos com $H/W < 0,5$, árvores de grande porte podem melhorar o ambiente térmico do cânion. Da mesma forma, aumentando-se o albedo pelo uso de cores claras nas edificações e areia nos materiais de pavimentação poderia ser diminuída a temperatura do ar pela redução da radiação de onda curta.

Também por meio de programa de desempenho luminoso, Suga (2005) investigou o acesso solar de uma sala padrão com diferentes orientações de fachada situada em cânions urbanos na cidade de Curitiba, mais especificamente nos Setores Estruturais ⁷. Esses eixos possuem uso do solo privilegiado em termos de densidade e potencial construtivo, induzindo o surgimento de cânions urbanos. Ao final do estudo, o autor faz recomendações quanto às alturas ideais para edificações localizadas nos cânions analisados, de forma a proporcionar um potencial mínimo para o aproveitamento da luz natural no interior desses cânions.

O acesso solar é importante, principalmente na cidade de Curitiba, por esta ser uma cidade, em geral, com baixas temperaturas. Assim, recursos de projeto e de planejamento urbano são fundamentais na garantia de uma melhor qualidade térmica dos recintos urbanos. A vegetação e o albedo também podem ser utilizados como estratégias bioclimáticas.

2.1.3.5 Efeitos da vegetação e do albedo

"Áreas verdes produzem benefícios sociais, econômicos e ambientais em áreas urbanas altamente povoadas" (SOO-GON; SUN-HYE; JUNG-HO, 2007, p. 1131). O uso da vegetação no ambiente urbano é um elemento estratégico para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas ao prover sombra e umidade pelo fenômeno da evapotranspiração. Nesse sentido, a vegetação urbana pode influir positivamente no conforto térmico no nível dos pedestres, como também no nível do ambiente construído, ao acarretar, indiretamente, em menor demanda de energia por condicionamento térmico. Scudo e Elsa (2001) relacionam outras funções da vegetação urbana, como: efeito de filtro ao evitar ou reduzir o acesso de poeira e barulho nas edificações, reduzir a temperatura radiante ao fornecer sombra às superfícies, controlar a intensidade e direção do vento, além de renovar o ar por meio da liberação de oxigênio. Desta forma, a vegetação pode propiciar melhor qualidade de vida pela contribuição à criação de condições de conforto bioclimático.

⁷ A estrutura urbana de Curitiba foi pré-estabelecida na década de 70 com a institucionalização do "Plano SERETE/IPPUC", o qual previa uma estrutura de desenvolvimento linear por meio dos denominados Setores Estruturais. O plano se baseava em três ferramentas: uso do solo, transporte de massa e sistema viário, sendo que este último desempenharia a função de indutor do crescimento da cidade.

Conforme Olgay (1998), a vegetação pode interceptar a radiação solar entre 60 a 90%, reduzindo a temperatura superficial do solo.

Em consequência da retirada de vegetação de um local, dependendo da dimensão da área envolvida, podem ocorrer alterações no balanço hidrológico e no clima no nível de micro, meso e macroclima (OKE, 1978). Kondoh e Nishiyama (2000), por meio da análise de imagens de satélite, perceberam que, em Chiba, área metropolitana de Tóquio, no período de 1972 até 1995, houve uma redução do processo de evapotranspiração de 38%. Este fenômeno está diretamente ligado ao conforto térmico humano à medida que os efeitos da umidade do ar estão relacionados com a capacidade da pele de evaporar o suor.

Segundo Mascaró (1996), a temperatura do ar sob agrupamentos vegetais pode ser 3 a 4 °C mais baixa que em áreas expostas à radiação solar direta. Fontes e Delbin (2002) obtiveram valores semelhantes com um estudo em Bauru - SP, utilizando medidas móveis em dois pontos no interior de uma área verde e outros sete pontos no entorno desta área, durante o período de verão. As primeiras diferenças foram observadas a partir das 9h00 da manhã, quando a diferença de temperatura atingiu 2 °C entre a área verde e seu entorno e 4 °C em relação aos pontos mais afastados. Dimoudi e Nikolopoulou (2003), por meio de estudos com simulação, sugerem que a cada 100 m² de vegetação adicionada, é possível haver uma redução de 1 °C na temperatura do ar.

Em um estudo realizado em Sede Boqer, Israel (latitude 30° 52' N, longitude 34° 46' E, e altitude de 480m acima do nível do mar), Krüger, Pearlmutter e Berliner (2007) utilizaram um modelo reduzido de uma malha urbana composta por cânions com diferentes orientações, a fim de verificar o efeito da adição de superfícies gramadas no balanço energético de superfície. Para a representação da área gramada foram adicionados painéis evaporativos ao modelo físico. Conforme esperado, a análise dos fluxos de energia mostrou alterações na parcela correspondente ao fluxo de calor latente devido à variação da superfície gramada, havendo diferenças significativas (até 3 °C) quando se considerava o fator rugosidade do terreno, ao invés da simples projeção horizontal das fileiras de blocos do modelo (KRÜGER; PEARLMUTTER; BERLINER, 2007). Em regiões áridas, o uso de áreas vegetadas mostrou ser uma estratégia importante para a mitigação das altas temperaturas.

Segundo Moreno e Labaki (2005, p. 615), o planejamento urbano prioriza o sistema viário face às questões econômicas e, “em nome deste melhor sistema, muitas vezes, as áreas verdes são mutiladas e descaracterizadas”. A cobertura vegetal é, então, substituída por superfícies com características físicas e térmicas diferentes. Assim, o albedo local, definido como a taxa de radiação incidente refletida para a atmosfera, sofre influência desta transformação (ASIMAKOPOULOS, 2001).

Asimakopoulos (2001) explica que o aumento do albedo, resultado da remoção da cobertura vegetal, pode diminuir a quantidade de nuvens e precipitações, já que há uma perda da radiação líquida e uma menor quantidade de radiação de onda longa é transformada em calor latente.

O albedo é determinante para a quantidade de radiação de onda curta absorvida pelas superfícies, sendo dependente principalmente das cores das superfícies - aproximadamente 0,3 para cores claras e 0,9 para cores escuras (JOHANSSON, 2006). Em relação à radiação solar refletida, esta pode variar de 80% em superfícies brancas até 20% em superfícies com a cor preta (GIVONI, 1998).

Barbosa (2008), em um estudo realizado na Vila Tecnológica de Curitiba, investigou a influência da vegetação e das tecnologias construtivas no microclima. A pesquisa abrangeu o período de 39 dias consecutivos (04/05/2004 até 10/06/2004). A menor amplitude térmica foi verificada na área gramada (10,2 °C) e a maior amplitude no piso de asfalto (19,3 °C). O asfalto escuro apresentou temperaturas superficiais mais altas que o concreto, comprovando a influência direta da radiação solar nas colorações mais escuras do solo. Os resultados mostraram, também, que no solo vegetado com grama, até às 10h30, as temperaturas foram mais elevadas do que nos solos de concreto, nos solos com cobertura de terra e do que nos ambientes internos das edificações. O autor comprovou, com os dados obtidos, “a relação direta do efeito da vegetação rasteira como atenuante tanto de ganho de energia térmica como do solo vegetado responsável por menores amplitudes na emissão de calor” (BARBOSA, 2008, p. 125).

Givoni (1998) argumenta que o albedo, sendo o fator determinante para a quantidade de radiação solar absorvida nas áreas construídas, pode ser utilizado na prática do planejamento urbano, de modo a diminuir a temperatura do ar no período diurno, principalmente em climas quentes e secos. Nesse sentido, Giridharan et al.

(2006) consideram dois fatores importantes na criação das ilhas de calor: o albedo e o fator de visão do céu.

2.1.4 Fator de visão do céu (Ψ_s)

Como citado anteriormente, os modelos de cânion urbano consideram edificações com alturas uniformes. No entanto, em geral, esta simplificação não condiz com a forma urbana da maioria das cidades, que apresentam edificações com perfis verticais diversificados. Nesse sentido, o fator de visão do céu (FVC), representado pelo símbolo Ψ_s , pode ser considerado um parâmetro mais próximo da realidade.

O fator de visão do céu é a razão entre a porção de céu visível de um determinado ponto e o céu potencialmente disponível a partir deste ponto (CHAPMAN, 2007). Johnson e Watson (1984) consideram o FVC como a razão entre a radiação solar recebida (ou emitida) por uma superfície plana comparada com aquela recebida (ou emitida) por todo o entorno.

O valor do FVC varia de 0 (zero) até 1, sendo que o valor 1 corresponde a uma área sem qualquer obstáculo que se interponha entre o ponto escolhido e o céu. Para Souza, Rodrigues e Mendes (2003, p. 671), representa uma obstrução à abóbada celeste, "qualquer edificação, elemento ou equipamento urbano, pertencente ao plano do observador posicionado na camada intra-urbana".

O balanço de radiação em um cânion urbano depende do FVC. Embora parâmetros como o calor liberado pelas ações antropogênicas e as propriedades térmicas dos materiais estejam relacionados com a intensidade da ilha de calor noturna, simulações realizadas por Oke et al.⁸ (1991, citado por CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2001) apontam que o FVC pode, isoladamente, produzir uma ΔT_{u-r} de 5 a 7 °C.

O FVC tem sido comumente utilizado em estudos de trocas de energia (CHAPMAN; THORNES, 2004). Ribeiro, Fidelis e Carvalho (2008) relatam que o fator de visão do céu exerce influência, também, no ganho de radiação solar direta, influenciando a ilha de calor diurna ou estresse térmico diurno. No entanto, observa-

⁸ OKE, Tim R. et al. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. **Boundary- Layer Meteorology**, v. 56, p. 339-358, 1991.

se que há uma predominância de estudos que relacionam FVC e ilha de calor noturna, em relação ao período diurno.

Para um estudo que buscava relacionar as ilhas de calor com o tamanho das cidades, Yamashita et al. (1986) selecionaram cidades de pequeno a médio porte próximas a Tóquio, Japão. As medições foram realizadas em todas as épocas do ano, tanto no período diurno como no período noturno. Nas cinco cidades monitoradas foi verificada a existência de diferenças de temperatura do ar entre as áreas mais adensadas e o entorno, sendo o FVC considerado um indicador para expressar os efeitos da urbanização sobre a intensidade da ilha de calor.

Park⁹ (1987, citado por SANTAMOURIS, 2001), por meio de monitoramento e dados da literatura, relacionou a população urbana de diferentes regiões (América do Norte, Europa, Japão e Coréia) com o fator de visão do céu (Gráfico 4). O resultado desta pesquisa apontou que o FVC está diretamente relacionado com a formação da ilha de calor noturna.

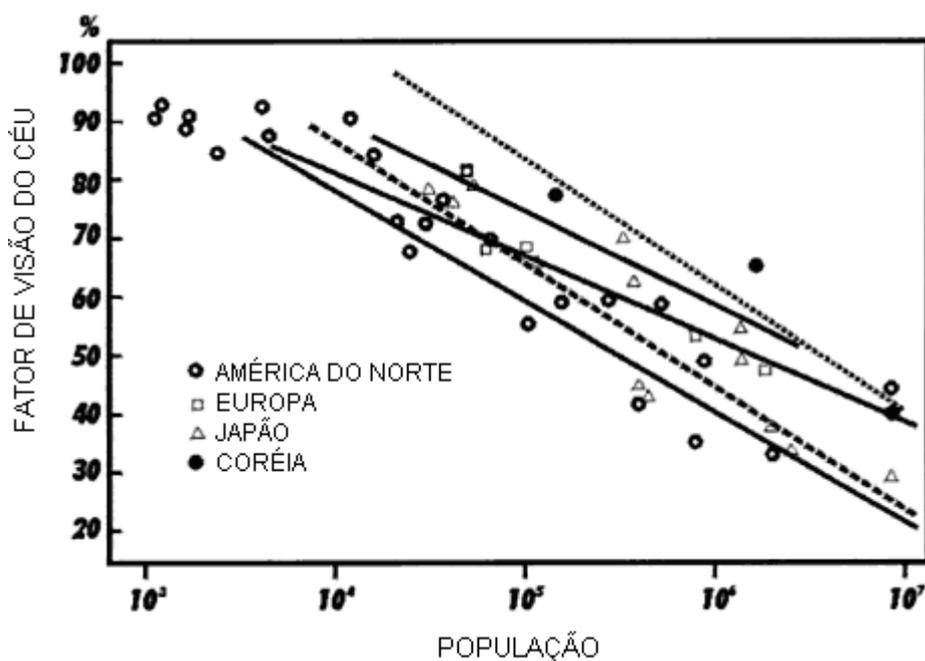


Gráfico 4 – Relação entre FVC e população urbana para diferentes regiões

Fonte: Park (1987, citado por SANTAMOURIS, 2001)

⁹ PARK, Hye-Sook. Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. Tsukuba Univ., *Environ. Research Centre Papers*, v. 11, 79 p, 1987.

Unger (2004) fornece uma revisão detalhada sobre a relação entre temperatura do ar e FVC e apresenta o resultado de um estudo realizado em Szeged (46° N, 20° E), Hungria. Os monitoramentos, realizados pela técnica de transectos móveis, ocorreram em um período de um ano, totalizando 35 medições noturnas que englobaram quase toda a área urbana da cidade. De acordo com as conclusões obtidas pelo autor, a geometria urbana, definida pelo FVC, é um fator determinante para a distribuição da T_a na cidade, mesmo em condições de tempo menos favoráveis. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,47.

Eliasson (1996) analisou a distribuição da temperatura horizontal em relação a diferentes geometrias urbanas e uso do solo na cidade de Göteborg (57° 42' N), Suécia. As medições foram realizadas em um período de três anos (1988, 1989, 1990) e as análises restringiram-se às informações noturnas. De acordo com os resultados, a maior variação de temperatura do ar entre o cânion e a área aberta foi menos de 3 °C, o que demonstra pouca influência do FVC para a determinação da T_a . Corroborando com esta afirmação, Upmanis e Chen (1999), em um estudo na mesma localidade, afirmam que o FVC apresenta correlação significativa com a temperatura de superfície (T_s), mas não com a temperatura do ar.

Chudnovsky, Ben-Dor e Saaroni (2004) correlacionaram o comportamento térmico de vários elementos urbanos (superfícies pavimentadas, estradas, paredes externas de edifícios, coberturas das edificações e diferentes tipos de vegetação) com o fator de visão do céu, considerando uma área de aproximadamente 0,7 km² em Tel-Aviv, Israel. As áreas mais abertas, com alto valor de FVC, como o parque e superfícies mais expostas à radiação solar, como as estradas e as coberturas das edificações, apresentaram T_s mais altas durante o dia. No período noturno, os valores de T_s destes elementos foram menores comparados as temperaturas de superfície de paredes externas de edificações e algumas seções de áreas vegetadas.

Com um estudo realizado em Göteborg, Svensson (2004) comprova que há forte correlação entre ilha de calor noturna e FVC. Utilizou-se para o estudo, dados de 16 pontos fixos, bem como dados de medições móveis coletados durante 36 dias entre os anos de 1988 e 1991, em épocas com temperaturas mais baixas. A autora analisou a diferença de FVCs obtidos por meio de fotografias olho de peixe em diferentes níveis (2m acima do solo e ao nível do solo) e por meio de análise de regressão, a autora determinou como esta diferença influi na relação entre as

variáveis. O coeficiente de determinação entre FVC ao nível do solo e T_a foi de 0,62, enquanto a 2m de altura foi de 0,60. A partir dos resultados, Svensson (2004) sugere que os diferentes resultados apresentados pela literatura estão relacionados com o procedimento de obtenção desses dados.

No Brasil, em um estudo na cidade de Bauru, Souza (2007), por intermédio de um algoritmo computacional, determinou o FVC para 40 pontos de medição. Foram coletados dados de temperatura do ar e, posteriormente, correlacionou-se as informações obtidas com os valores de FVC. A análise mostrou que não houve uma tendência clara entre FVC e as médias de temperatura do ar. Conforme a autora, os valores máximos de T_a , tanto no verão como no inverno, foram encontrados em áreas com valores de FVC mais baixos, sendo estas as áreas mais desconfortáveis termicamente. Ainda em relação ao conforto térmico, os resultados indicaram que o FVC possui maior influência no período de verão do que no inverno.

Apesar de o FVC ser uma simples parametrização, o cálculo para a sua obtenção tem sido um desafio para os climatologistas (CHAPMAN; THORNES, 2004). Diferentes métodos são apresentados para o cálculo de obtenção do FVC. Basicamente, o FVC pode ser obtido por métodos analíticos (OKE, 1981; JOHNSON; WATSON, 1984), métodos fotográficos - uso de programas específicos (CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2001; MOIN; TSUTSUMI, 2004; CORREA et al., 2005), sistemas com dados de base 3D acoplados a um Sistema de Informações Geográficas - SIG (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003), sistemas que utilizam GPS (CHAPMAN; THORNES, 2004) e mais recentemente, imagens com um dispositivo que mostra as diferenças térmicas entre as obstruções e o céu (CHAPMAN et al., 2007). Estes métodos são descritos a seguir.

2.1.5 Métodos de obtenção do fator de visão do céu

Inicialmente, pesquisas como a de Oke (1981) e a de Johnson e Watson (1984) basearam-se nos modelos geométricos de cânions urbanos, considerando-se a razão entre a altura e a largura do cânion (H/W). De acordo com Chapman e Thornes (2004), os métodos desenvolvidos na década de 80, em geral, assumiam

cânions com dimensões "ideais" (cânions simétricos de profundidade infinita), gerando resultados estimados.

Os métodos fotográficos utilizam uma lente convexa olho de peixe adaptada a uma câmera, a fim de projetar a abóbada celeste em uma imagem plana circular. Este método foi apresentado primeiro por Steyn, na década de 80. No método proposto, as imagens impressas eram divididas em um gráfico de coordenadas polares, formado por 40 *annuli* (anéis) e o FVC era calculado para o ângulo azimute de cada *annulus* (STEYN et al., 1986). Por ser basicamente manual, o trabalho demandava muito tempo para ser realizado (MOIN; TSUTSUMI, 2004).

Segundo Bradley, Thornes e Chapman (2001), os métodos de obtenção do FVC por meio de fotos olho de peixe possuem a vantagem de uma visão em perspectiva (3D) em oposição aos métodos que consideram a relação H/W (2D) para expressar a geometria urbana. Menciona-se, também, a vantagem da possibilidade do cálculo do FVC em cânions assimétricos. Nesse sentido, é possível uma representação mais realista dos espaços abertos.

A automação (parcial) destes métodos foi possível com o apoio de câmeras de vídeo, utilizada nos estudos de Barring, Mattsson e Lindqvist ¹⁰ (1985, citado por CHAPMAN; THORNES, 2004; GRIMMOND et al., 2001) e Steyn et al. (1986).

Com o surgimento de novas tecnologias, aprimoram-se as técnicas de obtenção. Chapman, Thornes e Bradley (2001) apresentaram uma técnica de obtenção do FVC totalmente automatizada utilizando imagens digitais, além de uma metodologia para determinar o impacto das superfícies geométricas nas radiações de onda curta. O programa desenvolvido pelo autor chama-se SKYVIEW, que por meio de um ponto inicial (DN) ocorre à contagem de "*sky pixels*" e "*non-sky pixels*".

Grimmond et al (2001) compararam dois métodos de obtenção do FVC em um estudo realizado em Bloomington, IN, EUA. O primeiro método utiliza um LICOR LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer*, enquanto o outro método utiliza uma lente olho de peixe Nikon FC-E8 adaptada a uma câmera digital Nikon CoolPix 950. Os autores explicam que antes da comercialização das lentes olho de peixe para

¹⁰ BÄRRING, Lars; MATTSSON, Jan O.; LINDQVIST, Sven. Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *Int J Climatol*, v.5, p. 433–444, 1985.

câmeras digitais em 1999, o LI-COR LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer* (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) era utilizado para medir o índice de área coberta por vegetação (índice de área foliar). LAI-2000 é um instrumento que, por meio de um sensor óptico olho de peixe, fornece dois parâmetros relacionados indiretamente; o DIFN, ou seja, a radiação difusa que penetra na camada urbana e o FVC. O segundo método mostrou-se mais eficiente, já que, apesar do LAI-2000 ser um método alternativo, este apresenta restrições em relação às condições de céu.

Assis, Lima, Santos (2003), por meio da combinação de dois programas de produção gráfica, Autocad e MapInfo, obtiveram o FVC de uma área urbana da cidade de Belo Horizonte. Por utilizar um *grid* polar para projeções equidistantes, este método elimina os cálculos matemáticos e dispensa o uso de programas desenvolvidos especialmente para o cálculo do fator de visão do céu (ASSIS; LIMA; SANTOS, 2003).

Moin e Tsutsumi (2004) em um estudo realizado em Okinawa, Japão, desenvolveram um programa de cálculo automático do FVC, por meio da análise de imagens fotográficas obtidas com lentes olho de peixe, chamado FIPS (*Fisheye Image Processing for calculation of SVF*). Neste estudo, os autores focaram a relação entre diferentes FVCs e a radiação de onda curta e, especialmente, a radiação de onda longa.

Correa et al. (2005) desenvolveram um programa chamado PIXEL DE CIELO, baseado no processamento de imagens digitais (fotos olho de peixe). Para a validação desta técnica foram feitas comparações com métodos manuais, sendo utilizados cânions urbanos com distintas configurações e densidades e em diferentes épocas do ano. Os resultados de ambas as técnicas foram similares.

Com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), cuja tecnologia permite "armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais e não espaciais (e eventualmente temporais)", é possível correlacionar informações, "possibilitando realizar análises rápidas e precisas" (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003, p. 670).

Segundo Brown, Grimmond e Ratti (2001), as bases de dados em 3D de alta resolução estão se tornando acessíveis. A grande vantagem do SIG é a possibilidade de predição de cenários futuros, facilitando a tomada de decisões.

Souza, Rodrigues e Mendes (2003) desenvolveram uma extensão, 3DSkyView, que foi incorporada a um SIG por meio do programa ArcView GIS e sua

extensão 3DAnalyst, ambos da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), aplicando-os para o desenvolvimento dos algoritmos propostos. A problemática da "determinação angular dos pontos de obstrução em relação à posição do observador" na projeção estereográfica ou "na projeção ortográfica da abóbada celeste" é evitada ao descartar a utilização de "câmeras fotográficas ou equipamentos topográficos", desde que as bases de dados contenham as dimensões x, y e z (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003, 671). Ressalta-se que a dimensão z, normalmente é conseguida de maneira subjetiva.

Gál et al. (2007), em um estudo que avaliou a obtenção do FVC por meio de um sistema de base 3D comparado a um método de obtenção por fotografia utilizando o programa BMSky-view, observaram que há diferenças nos resultados, provavelmente, pela presença de vegetação nos locais de medição.

Chapman e Thornes (2004) apresentaram uma técnica que permite o cálculo aproximado do FVC em tempo real. Para o estudo foram utilizados sistemas de GPS. A técnica pode ser melhorada com o aumento do número de satélites para a transmissão de informações.

Chapman et al.(2007) investigam o potencial de um protótipo térmico de uma câmera fotográfica com lente olho de peixe capaz de registrar as diferenças de temperatura entre as obstruções e o céu, calculando, assim, o FVC. A condição de céu limpo é uma das limitações deste protótipo para a medição do FVC.

Os diferentes métodos de obtenção do fator de visão do céu apresentados demonstram que a tecnologia tem sido uma aliada dos pesquisadores em busca de aprimorar a técnica para o cálculo do FVC. No presente estudo são utilizadas fotos olho de peixe obtidas com uma câmera digital e uma lente grande angular, sendo o cálculo do fator de visão do céu obtido por intermédio do programa Rayman (descrito no capítulo 3).

Depois de expostos os fatores ambientais que influenciam no ambiente térmico do pedestre, apresentam-se os fatores pessoais que atuam no conforto térmico em espaços abertos.

2.2 CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS EXTERNOS

Höppe (2002) estabelece três abordagens para definir conforto térmico: (1) a psicológica, (2) a termopsicológica e (3) uma baseada no balanço térmico do corpo humano. O conforto térmico na abordagem psicológica lida com a questão da subjetividade, sendo definido como uma condição mental que expressa satisfação de um indivíduo com o ambiente térmico (AMERICAN..., 1997). Especialmente em ambientes externos, Höppe (2002) considera que a expectativa em relação ao clima e o histórico térmico do indivíduo podem influenciar consideravelmente a avaliação subjetiva de conforto térmico. A definição termopsicológica é baseada na taxa mínima de sinais nervosos captados pelos receptores térmicos na pele e no hipotálamo (HÖPPE, 2002). A última definição de conforto térmico, baseada no balanço de energia, proposto por Fanger (1982), depende do metabolismo para que a produção de calor do corpo seja igual à perda de calor para o ambiente. A teoria convencional de conforto térmico baseia-se neste modelo de estado fixo e pode-se dizer que o homem sente conforto térmico quando o “balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites” (GIRALT, 2006, p. 49).

Conforme Frota e Schiffer (2001, p. 20), a sensação de conforto térmico acontece quando o organismo dissipa sem esforço para o ambiente “o calor produzido pelo metabolismo compatível com a sua atividade”. Dumke (2007, p. 16) cita que “os limites da sobrevivência, dependendo do tempo de exposição das pessoas às condições termo-ambientais, definem uma faixa bastante larga de temperatura. Já os limites da saúde são bem mais estreitos, sendo os de conforto ainda mais.” Segundo Frota e Schiffer (2001, p. 19), os limites da faixa de conforto variam de 36,1 °C e 37,2 °C, sendo o limite inferior de 32 °C, e o limite superior de 42 °C. Valores próximos a estes limiares geram hipotermia e hipertermia respectivamente, causando fadiga e estresse térmico.

Para que o organismo mantenha a temperatura corporal interna constante, os mecanismos termorreguladores são ativados. Segundo Ruas (2001, p. 17), “conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico”. Desta forma, quanto

maior a atuação deste sistema para manter a temperatura interna do corpo, menor será a sensação de conforto. Conforme o autor, a avaliação do conforto térmico depende, portanto, dos fatores que interferem no sistema termorregulador, sendo estas as variáveis ambientais e as variáveis humanas. Os fatores ambientais são determinados pelas variáveis explicadas no item 2.1, isto é, a temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura radiante média, esta última explicitada adiante (item 2.2.2). As variáveis humanas são definidas pela taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, aclimatação, entre outros fatores.

Sentir-se termicamente confortável é imprescindível para um maior rendimento das atividades humanas. De acordo com Lamberts e Xavier (2002, p. 2), o conforto térmico está relacionado com: a satisfação de um indivíduo em sentir-se confortável, a qualidade da performance humana para a qual dependem “ as atividades intelectuais, manuais e perceptivas” e a conservação de energia, pois, ao estabelecer parâmetros corretos de conforto térmico dos ocupantes de um recinto, evitam-se desperdícios desnecessários com calefação e refrigeração.

As condições ambientais necessárias para que haja conforto térmico não são as mesmas para todas as pessoas em razão das condições fisiológicas e psicológicas individuais. Considera-se, então, que estas condições são voltadas para uma parcela significativa da população, mas não para todas as pessoas. De modo a possibilitar a avaliação da sensação térmica das pessoas quando expostas a determinadas combinações das variáveis ambientais e humanas, foram desenvolvidos os índices de conforto térmicos. Neste estudo, especificamente, serão abordados os índices Voto Médio Estimado (item 2.2.4.1) e Temperatura Fisiológica Equivalente (item 2.2.4.2).

2.2.1 Mecanismos de termorregulação

Para manter a temperatura do corpo em equilíbrio térmico, o organismo produz reações químicas internas, sendo a principal a combinação do oxigênio obtido pela respiração com o carbono, introduzidos no organismo pela ingestão de alimentos (FROTA; SCHIFFER, 2001). O metabolismo basal utiliza, então, energia suficiente para a manutenção das funções fisiológicas vitais. Giralt (2006) cita que uma atividade física extra exige do organismo a transformação da energia dos

alimentos em energia mecânica. Conforme Frota e Schiffer (2001, p. 19), cerca de 20% desta energia são transferidos em trabalho e cerca de 80% são transformados em calor, sendo, portanto, o rendimento da “máquina humana” considerado baixo. Lamberts e Xavier (2002) citam que este ganho térmico deve ser dissipado para o ambiente, evitando, assim, um superaquecimento do corpo, e acrescentam que este processo acontece por trocas térmicas, sejam pela pele e/ou por meio da respiração. Conforme Ruas (2001), o sistema que mantém o equilíbrio térmico do corpo e que interfere nestas trocas térmicas com o ambiente chama-se sistema termorregulador.

Ruas (2001, p. 20) exemplifica este processo:

Quando se entra num ambiente quente, os sensores na pele verificam o diferencial de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam ao hipotálamo, que inicia o processo de vasodilatação para permitir que uma maior quantidade de sangue percorra os vasos superficiais, aumentando assim a temperatura da pele e propiciando uma maior dissipação de calor por convecção e radiação. Adicionalmente poderia haver um aumento da frequência cardíaca para aumentar a vazão de sangue para a pele. Quando as ações anteriores não são suficientes para manter o equilíbrio térmico é iniciada a produção de suor para que o corpo possa perder calor com a sua evaporação. De forma recíproca, quando se entra num ambiente frio é iniciada a vasoconstrição, que restringe a passagem do sangue na superfície da pele, privilegiando a circulação no cérebro e em outros órgãos vitais, de maneira a manter a temperatura necessária à realização das funções críticas do organismo. Esse processo também abaixa a temperatura da pele, diminuindo assim a troca de calor com o meio. Quando a vasoconstrição não consegue o equilíbrio térmico o sistema termorregulador provoca o tremor muscular que aumenta o metabolismo nos músculos e portanto a produção de calor interno.

Frota e Schiffer (2001) argumentam que, embora este processo seja o meio de controle natural do organismo, qualquer esforço extra representa uma perda da potencialidade de trabalho.

Segundo Ruas (2001), a temperatura interna do corpo não é uniforme, sendo que uma temperatura, chamada de temperatura de núcleo, próxima dos 37 °C, é mantida no interior do cérebro, do coração e dos órgãos abdominais. Em oposição, a temperatura periférica, da pele, sofre oscilações mais freqüentes em razão das trocas de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente.

2.2.2 Balanço térmico do corpo humano

O corpo humano mantém trocas de calor com o ambiente por radiação, condução, convecção e evaporação (Figura 5).

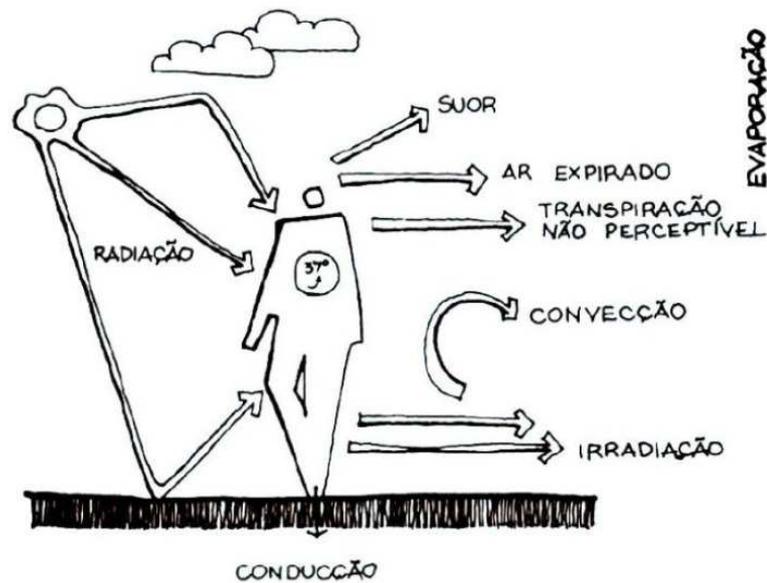


Figura 5 – Equilíbrio térmico do corpo humano

Fonte: Bustos Romero (1988, p. 23)

Como dito anteriormente, o equilíbrio térmico do corpo humano é obtido quando a quantidade de calor produzido pelo corpo é igual à quantidade de calor cedido para o ambiente, sendo que o calor produzido refere-se a diferença entre a taxa de metabolismo e o trabalho mecânico realizado (RUAS, 2001). A ASHRAE (1997, citado por RUAS, 2001, p.21) expõe a Equação 2 para explicitar o processo de balanço térmico do corpo humano.

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} + S \quad \text{Equação 2}$$

sendo:

$$Q_{sk} = C + R + E_{rsw} + E_{dif} \quad \text{Equação 3}$$

$$Q_{res} = C_{res} + E_{res} + E_{dif} \quad \text{Equação 4}$$

Onde M é a taxa metabólica, W é a taxa de trabalho mecânico realizado, Q_{sk} é a taxa total de calor perdido pela pele, Q_{res} é a taxa total de calor perdido pela

respiração, S é a taxa de calor armazenada no corpo, $C + R$ são as perdas de calor sensível pela pele por convecção e radiação, E_{rsw} é a taxa de calor perdido por evaporação da transpiração, E_{dif} é a taxa de calor perdido por evaporação da água de difusão, C_{res} é a taxa de perda de calor convectivo na respiração, E_{res} é a taxa de perda de calor evaporativo na respiração.

As componentes desta equação são dadas em W/m^2 .

Höppe (1999) relaciona as componentes individuais desta equação com as variáveis climáticas da seguinte forma: a temperatura do ar influencia os fluxos de C e E_{res} ; a umidade do ar afeta os níveis de E_{dif} , E_{res} , E_{rsw} ; a velocidade do ar interfere nos fluxos de C e E_{rsw} ; e a temperatura radiante média (T_{rm}) relaciona-se a R .

Johansson (2006) também analisa estas relações. O autor explica que, com o aumento da temperatura do ar, há perda de calor por convecção (C) e diminuição da taxa de perda de calor convectivo na respiração (C_{res}). Caso a T_a exceda a temperatura de superfície corporal, há ganho de calor por convecção. Em relação ao aumento da umidade, ocorre diminuição das perdas de calor por evaporação (E_{dif} e E_{rsw}) e pela respiração (E_{res}). Em condições de climas quentes, onde as perdas de calor por convecção (C) e por radiação (R) são pequenas, a evaporação por suor é um mecanismo importante na manutenção do conforto, já que esta retira o calor latente do corpo e produz um efeito de resfriamento.

Johansson (2006) explica que a perda de calor convectivo (C) e por evaporação de suor (E_{rsw}) aumenta juntamente com o aumento da velocidade do ar devido aos coeficientes de transferência de calor convectivo e evaporativo aumentarem em magnitude, resultado da diminuição da camada de isolamento ao redor do corpo.

A temperatura radiante média (T_{rm}) pode ser definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual à troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme (ASHRAE, 1997). Segundo Matzarakis, Mayer e Rutz (2002), durante condições de verão, a T_{rm} é o parâmetro meteorológico mais importante entre os requeridos na equação de balanço térmico. Höppe (1999) explica que, em condições de pouco vento, a T_{rm} possui a mesma importância que a T_a na equação

de balanço térmico. Em dias com velocidades de vento altas, a T_a é mais relevante que a T_{rm} , devido ao aumento das trocas de calor por convecção.

Considerando-se as perdas de calor por radiação (R), Johansson (2006) cita que estas diminuem com o aumento da temperatura radiante média. Assim, se a T_{rm} for maior que a temperatura de superfície corporal, há ganho de calor.

Pode-se medir a T_{rm} por meio das temperaturas das superfícies ao redor do corpo humano, ou utilizando as temperaturas radiantes planas determinadas nas seis direções ao redor do indivíduo. Pode-se, também, utilizar os seguintes instrumentos: um radiômetro de duas esferas, um sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, um termômetro de globo negro, sendo este o dispositivo mais comum. Nesse caso a T_{rm} é obtida por observações dos valores simultâneos da temperatura de globo (T_g) e da temperatura e velocidade do ar ao redor do globo (XAVIER, 1999). Considerando o globo negro padrão (0,15 m de diâmetro), a T_{rm} pode ser calculada segundo as Equações 5 e 6:

Em caso de convecção natural:

$$T_{rm} = [(T_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 |T_g - T_a|^{1/4} \cdot (T_g - T_a)]^{1/4} - 273 \quad \text{Equação 5}$$

Em caso de convecção forçada:

$$T_{rm} = [(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot V_a^{0,6} (T_g - T_a)]^{1/4} - 273 \quad \text{Equação 6}$$

Onde V_a é a velocidade do ar ao nível do globo, em m/s; T_a é a temperatura do ar, em °C; T_g é a temperatura de globo, em °C.

A seguir são apresentados os fatores individuais que influem no conforto térmico.

2.2.3 As variáveis humanas de conforto térmico

A taxa metabólica define o nível de atividade do corpo, sendo o calor gerado pelo organismo em torno de 100W a 1000W (LAMBERTS; XAVIER, 2002). Uma vez que o gasto de energia está relacionado ao porte dos indivíduos,

convencionou-se expressar a taxa de metabolismo em termos de densidade de fluxo energético, dado em W/m^2 (GIRALT, 2006).

Lamberts e Xavier (2002) explicam que, devido ao fato da maioria dos estudos em conforto térmico considerarem o nível de atividade sedentária, a variável humana que influencia a zona de conforto é determinada pela vestimenta utilizada por cada indivíduo. Conforme Ruas (2001, p. 61), a “resistência à troca de calor sensível, por convecção, radiação e condução, e a resistência à troca de calor latente, por evaporação do suor, são propriedades das vestimentas que determinam a sua interferência no conforto térmico.” Assim, o isolamento térmico das roupas utilizadas é determinante para a quantidade de calor dissipado. A resistência térmica das vestimentas é determinada pela porosidade, espessura e pelo número de camadas de tecido (DUMKE, 2007).

A norma ISO 7730 (2005) estabelece a medida “clo” (advinda do termo *clothing*) para medir o nível de vestimenta, sendo 1 clo correspondente a $0,155 m^2 K/W$. O isolamento térmico de uma vestimenta é calculado pelo somatório de todas as peças. A norma ISO 7730 (2005) e a ISO 9920 (2007) fornecem tabelas com o valor clo de cada peça.

Assim, para pessoas com vestimenta normal de trabalho (0,6 clo), a zona de conforto para a manutenção do equilíbrio térmico seria entre $23\text{ }^{\circ}C$ e $27\text{ }^{\circ}C$ (LAMBERTS; XAVIER, 2002).

As preferências térmicas estão relacionadas, também, com a taxa de metabolismo basal. O metabolismo basal diminui com a idade. Deste modo, idosos tendem a preferir lugares mais quentes. Da mesma forma, o metabolismo basal das mulheres é mais baixo comparado ao dos homens. Assim, mulheres tendem a preferir temperaturas mais altas.

A forma do corpo ou a relação entre a superfície e o volume também influenciam as preferências térmicas, pois a gordura subcutânea forma uma proteção térmica. Há de considerar, também, a adaptação fisiológica ou aclimatação, isto é, à capacidade do organismo de adaptar-se a um novo ambiente climático. Outros fatores que influenciam na determinação de conforto são as diferenças étnicas, nível econômico, tipos de alimentação, entre outros. No entanto, Fanger (1982) constata que estas diferenças são pouco significativas.

2.2.4 Índices de conforto térmico

No século XIX surgiram os primeiros estudos relacionados a estresse térmico em decorrência das condições insalubres de trabalho nas mineradoras e na indústria têxtil, mas foi só no século XX que metodologias para o estudo do conforto térmico começaram a ser desenvolvidas, “motivadas em parte pelo advento do ar condicionado” (MONTEIRO; ALUCCI, 2005, p. 1212).

Ruas (2001, p. 18) descreve o índice de conforto como um parâmetro representativo do “efeito combinado das principais variáveis intervenientes”, sendo possível, a avaliação da situação de conforto térmico de um recinto, “bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas”.

Conforme Monteiro e Alucci (2005), no período de 1923 a 1948 foram realizadas as primeiras tentativas para o estabelecimento de critérios de conforto térmico por meio da criação de índices genéricos, sendo estes: Temperatura Efetiva (*Effective Temperature* – ET), Nova Temperatura Efetiva (*New Effective Temperature* – ET*), índice de taxa de suor prevista para quatro horas (*Predictable Four Hour Sweat Rate* - P4SR) e Temperatura Resultante (*Resultant Temperature* – RT). Na década de 50, foi sugerida a temperatura de globo e de bulbo úmido (*Wet – Bulb Globe Temperature index* – WBGT ou IBUTG), sendo um índice utilizado até os dias atuais. Monteiro e Alucci (2005) consideram o Índice de estresse térmico por calor (*Heat Stress Index* – HSI) e o Índice de estresse térmico (*Index of thermal stress* – ITS) como os primeiros índices embasados em modelos analíticos que levam em conta os diversos processos de trocas térmicas. Os referidos autores citam, também, a Nova temperatura efetiva padrão (*Standard Effective Temperature* – SET*), obtida por meio de modelo analítico de balanço térmico, no qual o cálculo das trocas é feito fundamentalmente a partir de modelo teórico.

Em relação aos modelos baseados no balanço térmico, Monteiro e Alucci (2005) citam o Modelo Climático de Michel (*Klima-Michel-model* – KMM) e o Modelo de Munique para Balanço de Energia para Indivíduos (*Munich Energy-balance Model for Individuals* – MEMI). É considerada, também, a Temperatura Neutra Exterior (Tne) que foca na adaptação dos indivíduos a um determinado clima.

Monteiro e Alucci (2005, p. 1219) concluem que:

Os estudos realizados ao longo do século XX demonstram que os índices empíricos apresentam respostas significativas, mas apenas às situações específicas em que foram determinados. As tentativas de se obter respostas mais universais acabam convergindo para modelos analíticos, que trazem ainda a vantagem de possibilitar uma avaliação específica das diversas trocas térmicas operantes, facilitando a determinação das necessidades de intervenção nos ambientes externos. Há, por fim, ainda a abordagem adaptativa, que traz a característica de se considerar enfaticamente a adaptação ao clima.

Entre os índices baseados no balanço térmico mais comumente aceitos, estão o índice Voto Médio Estimado (*Predicted Mean Vote* - PMV) e o índice Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature* - PET).

2.2.4.1 Voto Médio Estimado (PMV)

Fanger (1982) apresentou um método para avaliar a sensação térmica de pessoas expostas a um mesmo ambiente, o índice Voto Médio Estimado (PMV - *Predicted Mean Vote*). Este índice é decorrente de uma equação geral de conforto que considera tanto as variáveis climáticas como as variáveis pessoais. Com o objetivo de simplificar a equação de conforto, Fanger elaborou o Diagrama de Conforto (Figura 6), que combina as variáveis ambientais e pessoais.

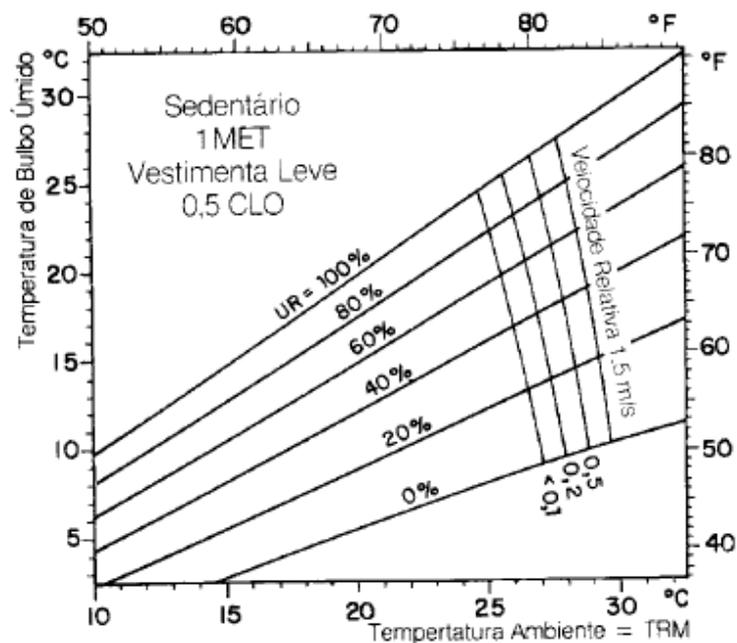


Figura 6 – Diagrama de conforto proposto por Fanger
Fonte: Fanger (1982, modificado por RUAS, 2001 p. 39)

O PMV prediz o valor médio dos votos de sensação térmica de um grupo de pessoas, tendo como base o balanço térmico do corpo humano, ou seja, quando o calor interno produzido pelo corpo é igual à perda de calor para o ambiente. Os votos são dados em uma escala de 7 pontos, variando de muito frio (-3) até muito calor (+3), sendo o valor de neutralidade térmica correspondente a zero. Desta conceituação, obtiveram-se os valores individuais de desconforto, calculados pelo índice de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (*Predicted Percentage of Dissatisfied* - PPD), que estabelece uma predição quantitativa da porcentagem de pessoas em desconforto, tanto para calor como para o frio. A norma ISO 7730 (2005) estabelece que em um ambiente termicamente confortável, o PPD não deve ultrapassar 10%, valor que corresponde a faixa entre -0,5 a +0,5.

Lamberts e Andreasi (2003) argumentam que, embora o PMV seja adotado pela ASHRAE e normalizado pela ISO 7730 (2005), a aplicabilidade do PMV é discutida por pesquisadores, devida as generalizações às quais o índice está sujeito.

2.2.4.2 Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

Para Höpfe (1999, p. 72), os modelos de trocas de calor de aplicação mais universais são aqueles que permitem a estimativa dos valores de “temperatura da pele, temperatura interna, taxa de suor, ou de pele úmida reais do corpo humano”, considerando-se para isso os “processos termoregulatórios básicos como a vasodilatação e a taxa de suor psicológica”. Esta é a fundamentação do modelo *Munich Energy-balance Model for Individuals*¹¹ (MEMI), desenvolvido por Höpfe em 1984 e que originou o índice denominado PET (Temperatura Fisiológica Equivalente - *Physiological Equivalent Temperature*).

O PET, expresso em °C, 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

¹¹ O MEMI é definido pelo seguinte sistema de equações: a de balanço de energia do corpo humano; a que descreve o fluxo de calor (Fcs) do interior do corpo humano para a superfície da pele e o fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa, sendo possível o cálculo da temperatura média da pele, temperatura da roupa e temperatura interna do corpo, quando são conhecidos os parâmetros climáticos e os pessoais (GIRALT, 2006).

radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade" (MAYER; HÖPPE ¹², 1987, 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 interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com temperatura da pele e do centro do corpo iguais àquelas das condições em avaliação.

Os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais são estabelecidos da seguinte forma:

- velocidade do ar de 0,1 m/s;
- temperatura radiante média igual à temperatura do ar;
- pressão de vapor de água de 12 hPa (umidade relativa de 50% a uma temperatura do ar de 20 °C);
- metabolismo 80 W (atividade leve) e vestimenta de 0,9 clo.

De acordo com a Tabela 2, o conforto térmico para um ambiente padrão seria próximo dos 21 °C (HÖPPE, 1999), ou correspondente a uma faixa entre 18 °C e 23 °C, conforme Mayer e Matzarakis (1998). "Valores mais altos indicam uma possibilidade crescente de stress térmico, ao passo que valores mais baixos indicam condições muito frias para conforto" (LOIS; LABAKI, 2001, p.5).

Tabela 2 – Valores de PET considerando-se diversos cenários

Cenário	Ta (°C)	Trm (°C)	v (m/s)	VP (hPa)	PET (°C)
Ambiente Típico	21	21	0,1	12	21
Inverno, sol	-5	40	0,5	2	10
Inverno, sombra	-5	-5	5,0	2	-13
Verão, sol	30	60	1,0	21	43
Verão, sombra	30	30	1,0	21	29

Fonte: Höppe (1999, p. 73)

¹² MAYER, Helmut., HÖPPE, Peter. Thermal comfort of man in different urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987.

Assim, o índice PET permite ao indivíduo a comparação dos “efeitos integrais das complexas condições externas com a sua própria experiência no ambiente interno” (LAMBERTS; ANDREASI, 2003, p.51).

Matzarakis, Mayer e Rutz (2002) verificaram a influência de diferentes parâmetros meteorológicos (T_a , VP , v , T_{rm} e radiações de onda longa e onda curta) para o índice PET. A T_{rm} apresentou maior correlação ($R^2 = 0,757$), seguida da radiação de onda longa ($R^2 = 0,746$) e da T_a ($R^2 = 0,620$). Os impactos das outras variáveis foram baixos.

Ali-Toudert e Mayer (2006) analisaram o efeito da forma urbana nos níveis de conforto térmico, expressado pelo índice PET, em ruas de pedestres na cidade de Ghardaia ($32,40^\circ N$, $3,80^\circ E$), sul da Algeria. Tomou-se como referência um cânion urbano com relação $H/W=2$ e orientação E-W. A partir deste, foram feitas variações, sendo estas: relação $H/W=4$, perfil assimétrico com uso de galerias e mudança em relação à orientação solar (NE-SW). A simulação foi feita para um dia de verão e foi desconsiderado o efeito dos ventos devido à incidência perpendicular deste. A situação de referência apresentou valores altos de PET, até mesmo nas áreas protegidas do sol, sendo o pico máximo da T_a de $68^\circ C$. No cânion com maior profundidade ($H/W=4$), embora tenham ocorrido áreas mais sombreadas, o valor do PET ainda foi alto, em torno de $40^\circ C$. Isto significa que o efeito de proteção das paredes para orientações E-W é eficaz, somente, em relações H/W superiores a 4. Na rua com perfil assimétrico, foram adicionadas galerias como uma maneira de proteger os espaços dos pedestres, sendo a variação do PET entre $32^\circ C$ e $38^\circ C$ nos dois lados da rua. Os autores sugerem que uma rua com estas condições poderia resfriar mais rápido do que uma rua com perfil regular, devido ao seu maior FVC. Valores mais baixos do índice também foram encontrados na orientação NE-SW. Ali-Toudert e Mayer (2006) concluem que o conforto térmico é um parâmetro de difícil obtenção, sendo complicado manter uma rua inteira em condições ótimas de conforto. No entanto, consideram que, com o uso de estratégias como as simuladas, o ambiente térmico em ruas de pedestres pode ser melhorado, pelo menos em partes da rua.

Para o cálculo dos índices PMV e PET, são consideradas as mesmas variáveis climáticas (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar). E as seguintes variáveis individuais: taxa metabólica, eficiência mecânica, isolamento da vestimenta e atividade.

A Tabela 3 mostra os níveis de estresse térmico e sensação térmica para os índices PMV e PET.

Tabela 3 – Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET

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

Fonte: modificado de Mayer e Matzarakis (1998)

Uma vantagem do índice PET em relação ao PMV é o fácil entendimento por ser valorado em °C (ALI-TOUDERT; MAYER, 2006).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são delineados o método de pesquisa utilizado e os procedimentos aplicados para a realização do estudo. O objetivo central desta pesquisa é avaliar a influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestre de Curitiba. Os locais de estudo são: calçadão da Rua XV de Novembro, Rua Saldanha Marinho, Travessa Oliveira Bello, Rua Senador Alencar Guimarães e Praça Generoso Marques.

Em relação às técnicas empregadas em pesquisas que tratam do clima urbano, Costa, Labaki e Araújo (2007, p. 26) consideram que:

O estudo do clima urbano é relativamente novo, e os modos de investigação ou a prática empregada neste tipo de estudo podem envolver: conceitualização, elaboração de teorias, observações de campo, modelagem (estatística, de escala e numérica), validação de modelos, aplicação no *design* urbano e no planejamento, impactos de assentamento (pós-implementação), programa de desenvolvimento e modificação.

Para este estudo, o modo de investigação envolve observações de campo, sendo a pesquisa classificada como correlacional.

O estudo está dividido em cinco etapas principais:

1. determinação dos pontos de medição;
2. monitoramento das variáveis climáticas nos pontos selecionados;
3. análise da relação entre as variáveis climáticas e o FVC;
4. análise da relação entre a radiação solar e o FVC;
5. apresentação do fator de acessibilidade solar (FAS).

Inicialmente apresenta-se a caracterização das condições climáticas da área de estudo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA DE ESTUDO

O clima de uma região é determinado pelas condições geográficas, geológicas e hidrológicas, e, fundamentalmente pelos sistemas de circulação atmosférica (FILL; SUGAI; HILU, 1999), os quais englobam as massas de ar, as frentes e os centros de ação (AYOADE, 2003).

A região Sul está sob influência dos seguintes centros de ação: o Anticiclone Migratório Polar, o Anticiclone Subtropical do Atlântico, a Depressão do Chaco e a Zona de Convergência Intertropical (DANNI-OLIVEIRA, 1999). Conforme Monteiro (1963), as massas de ar que exercem influência nesta região são:

- Massa Tropical Atlântica (Mta): tem origem no anticiclone do Atlântico Sul, com características de massa quente, úmida, com tendência à estabilidade, grande poder de penetração para o interior do continente e com constante atividade anual.

- Massa Polar Atlântica (Mpa): originada no Atlântico Sul, na latitude da Patagônia, inicialmente, constitui-se de ar seco, frio e estável, mas ao migrar do continente até o Equador, absorve calor e umidade do ar.

- Massa Equatorial Continental (Mec): originária da Planície Amazônica, é quente e úmida, e atua no verão em decorrência dos sistemas depressionários do interior do continente.

Segundo Fill, Sugai e Hilu (1999), a Massa Tropical Atlântica de baixa pressão predomina nos meses de outubro a março, ocorrendo frentes quentes, as quais trazem instabilidade e umidade. Os autores acrescentam que o deslocamento da Massa Polar Atlântica em direção ao norte, entre os meses de abril a setembro, é responsável por grandes variações climáticas, inclusive podem provocar chuvas intensas. No verão, podem ocorrer chuvas convectivas.

Curitiba encontra-se na região sul do Brasil, latitude 25° 31' S, longitude 49° 11' W e altitude de 917m acima do nível do mar. Abrange uma área de 435 km² e possui uma população de aproximadamente 1.800.000 habitantes (IBGE, 2009). A cidade situa-se abaixo do Trópico de Capricórnio, no primeiro planalto paranaense. De acordo com a classificação de Koeppen, o clima de Curitiba é predominantemente mesotérmico com verões frescos (Cfb). As precipitações são da ordem de 1600 mm anuais.

Segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2004), Curitiba está na Zona Bioclimática I, a mais fria das oito zonas, correspondente a 0,8% do território nacional.

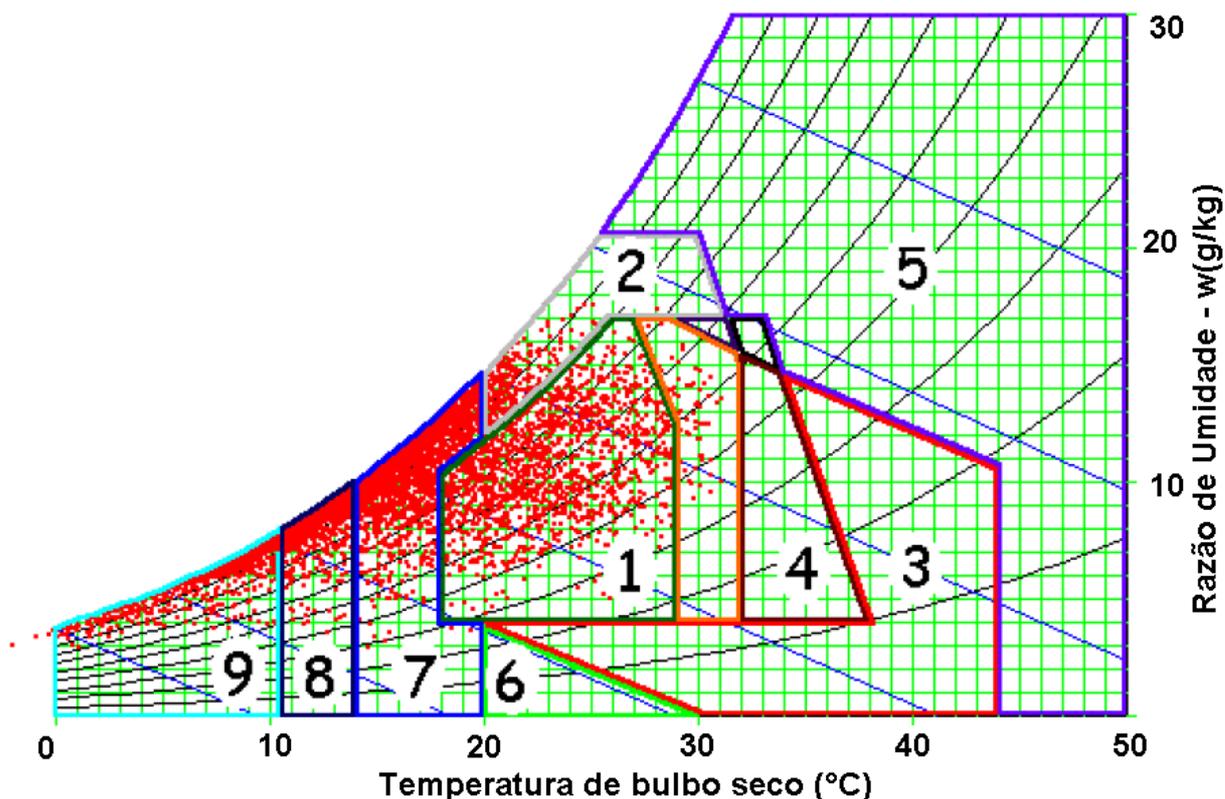
Goulart, Lamberts e Firmino (1998) apresentam algumas características climáticas de Curitiba com base no Ano Climático de Referência (*Test Reference Year – TRY*). Os pesquisadores utilizaram os dados coletados entre 1961 e 1970, registrados no aeroporto Afonso Pena (código 83840). Para o tratamento destes

dados foi utilizada a metodologia da ASHRAE. De acordo com o TRY, a temperatura média anual é de 16,6 °C, sendo a máxima temperatura registrada no mês de janeiro (33,3 °C) e a mínima no mês de agosto (-5,3 °C). A média anual da amplitude térmica diária é de 10,5 °C, sendo a amplitude máxima diária de 25,7 °C em agosto e a mínima de 0,5 °C em setembro. A umidade relativa média durante o TRY é de 85% e a velocidade do vento média é de 3,2 m/s. A direção dos ventos vindos de Leste é freqüente em todos os meses do ano.

Em relação à variação diária de temperatura do ar no período de verão (data de referência 28/01) e inverno (data de referência 23/07), segundo o TRY, a T_a atinge seu valor máximo às 15h00, para ambos os períodos. No verão, às 15h00, a média de temperatura do ar é de 30,0 °C e no inverno é de 13,3 °C para o mesmo horário.

Fill, Sugai e Hilu (1999) analisaram, para um período de 39 anos (1951 a 1989), a distribuição temporal dos elementos do clima com base nos dados da estação meteorológica de Curitiba operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Segundo os autores, a região apresenta clima úmido, temperado e sem estação seca definida, podendo haver chuva em qualquer época do ano (51% de dias no ano são chuvosos), sendo a maior incidência no período de verão. Todavia, pode ocorrer inversão da sazonalidade em determinados anos visto que no período analisado pelos autores, 97% de dias chuvosos foram registrados em julho. Em relação à insolação, esta é maior no verão e menor na primavera. Foi verificada, também, a ocorrência de geadas em 62% dos anos do período, entre os meses de abril a setembro.

Goulart, Lamberts e Firmino (1998), por meio da carta bioclimática (Figura 7), avaliam que, em Curitiba, há 20,9 % de horas de conforto e 79% de horas de desconforto, destas 73,1% das horas do ano são decorrentes do desconforto por frio. Na carta bioclimática, a mancha constituída por pontos vermelhos representa cada hora do ano.



1. zona de conforto; 2. zona de ventilação ; 3. zona de resfriamento evaporativo; 4. zona de massa térmica para resfriamento; 5. zona de ar-condicionado; 6. zona de umidificação; 7. zona de massa térmica para aquecimento; 8. zona de aquecimento solar passivo e 9. zona de aquecimento artificial.

Figura 7 – Carta Bioclimática com estratégias para Curitiba

Fonte: Goulart, Lamberts e Firmino (1998)

Na carta bioclimática a maior concentração de pontos está na zona 7, isto significa que a maior exigência é relativa à massa térmica para aquecimento, devendo ser explorado o calor solar. Conforme os autores, esta estratégia bioclimática poderia reduzir o desconforto por frio em pelo menos 42,4% das horas do ano. Este número aumenta para 70%, se for adicionada a faixa 8, definida como zona de aquecimento solar passivo.

3.2 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO

O calçadão da Rua XV de Novembro, localizado no centro de Curitiba, faz parte da história do urbanismo brasileiro, por ter se tornado, em 1972, a primeira rua de pedestres do país (PINTO, 2009). A pedestrianização surgiu como uma medida

para favorecer o comércio local, sendo o fluxo de veículos redirecionado para as vias adjacentes. Assim, o espaço foi remodelado com a introdução de um passeio único e mobiliários urbanos dispostos ao longo de toda a via.

O calçadão da Rua XV de Novembro é composto por cinco quadras da Rua XV de Novembro, iniciando-se a partir da Rua Presidente Faria até a Travessa Oliveira Bello, e pelas duas quadras que compõem a Avenida Luis Xavier. Todo o calçadão, somadas as duas praças situadas nas extremidades (Praça Santos Andrade e Praça General Osório), é considerado patrimônio histórico (PINTO, 2009).

A paisagem urbana do calçadão é marcada por edificações comerciais de grande altura que contrastam com antigos casarões. Atualmente, a Rua das Flores, como é popularmente chamada, faz parte da identidade cultural da cidade, sendo caracterizada por um fluxo intenso e constante de transeuntes. Segundo a Associação Comercial do Paraná (2007), 140.000 pessoas circulam por dia pelo calçadão. Desde seu surgimento, a via é uma das principais artérias comerciais da cidade.

O calçadão da Rua XV está implantado em um eixo de rua com tendência para o sentido E-W, mais especificamente 67° em relação ao norte verdadeiro e em torno de 85° em relação ao norte magnético.

A primeira etapa desta pesquisa consistiu na determinação de pontos passíveis para posterior monitoramento (Figura 8). Procurou-se mapear pontos na extensão que abrange desde a Praça Santos Andrade até a Praça General Osório (pontos 1 a 11), englobando todas as quadras do calçadão da Rua XV de Novembro. Além destes, selecionaram-se pontos no entorno do calçadão.

A Rua Saldanha Marinho foi selecionada por ser uma via próxima ao calçadão da Rua XV de Novembro e por apresentar a mesma orientação axial desta (pontos 12 e 13).

Os pontos situados no entorno da Praça Generoso Marques (pontos 14 a 16), próximos ao Paço Municipal, foram selecionados por apresentar configurações urbanas distintas dos cânions do calçadão da Rua XV de Novembro. Selecionaram-se, ainda, ruas de pedestres com orientação em relação ao norte diferente da Rua XV, sendo estas a Travessa Oliveira Bello e a Rua Senador Alencar Guimarães (pontos 17 e 18) com orientação axial NW-SE.



Figura 8 – Localização dos pontos selecionados para obtenção do FVC

Fonte: Autoria própria

A localização dos pontos consta no Quadro 4.

Ponto	Localização
1	Praça Santos Andrade
2	Rua XV de Novembro - entre a Rua Pres. Faria e Rua Riachuelo
3	Rua XV de Novembro - entre a Rua Riachuelo e Rua Mons. Celso
4	Cruzamento da Rua Mons. Celso e Rua XV de Novembro
5	Rua XV de Novembro - entre a Rua Mons. Celso e Rua Mal. Floriano
6a e 6b	Rua XV de Novembro - entre a Rua Mal. Floriano e Al. Dr. Muricy
7	Rua XV de Novembro - entre a Al. Dr. Muricy e Rua Ébano Pereira
8	Cruzamento da Trav. Oliveira Bello e Rua XV de Novembro
9	Rua XV de Novembro - entre Rua Ébano Pereira e Rua Vol. Pátria
10	Cruzamento da Rua Vol. Pátria e Rua XV Novembro
11	Praça General Osório
12	Rua Saldanha - entre Al. Dr. Muricy e Rua do Rosário
13	Rua Saldanha - entre Rua do Rosário e Rua José Bonifácio
14	Praça Gen. Marques - em frente ao Paço Municipal
15	Praça Gen. Marques - próximo a Rua Riachuelo
16	Praça Gen. Marques - atrás do Paço Municipal
17	Trav. Oliveira Bello
18	Rua Sen. Alencar Guimarães

Quadro 4 – Localização dos pontos

Fonte: Autoria própria

Os pontos de monitoramento foram sempre centralizados em relação à quadra, exceto nos seguintes locais: ponto 9, uma vez que esta quadra é a única com passagem para veículos; ponto 10, situado no entorno da Praça General Osório; ponto 16, localizado no entorno da Praça Generoso Marques e ponto 6 por haver uma fonte centralizada na quadra. Neste último, foram fixados dois pontos para monitoramentos, denominados de 6a e 6b. A etapa seguinte à determinação dos pontos de monitoramento foi à obtenção de fotos olho de peixe de cada ponto.

3.2.1 Obtenção de fotos olho de peixe

Para a obtenção das imagens necessárias ao cálculo do FVC, esta etapa envolveu duas tentativas com diferentes câmeras fotográficas digitais. Primeiramente, utilizou-se uma câmera sem o sensor que permite o registro completo da foto olho de peixe (Nikon D-80). Posteriormente, optou-se por uma câmera com este dispositivo (Nikon CoolPix 4500).

Um agravante pouco mencionado em estudos que tratam de fator de visão do céu é o alto custo de uma câmera apropriada e de uma lente olho de peixe, limitando o trabalho de pesquisadores. A câmera Nikon Coolpix é citada em diversos artigos relacionados ao FVC (BROWN; GRIMMOND; RATTI, 2001; MOIN; TSUTSUMI, 2004; CHAPMAN et al., 2007; GÁL et al., 2007). No entanto, a dificuldade de encontrá-la disponível para comercialização e seu custo, levaram, inicialmente, a escolha pela câmera Nikon D-80¹³ (com lente Sigma Fisheye 8 mm F-35).

De modo a suprir a limitação da câmera, que por ser desprovida do sensor *full-frame*, não faz o registro completo da abóbada celeste (a imagem aparece cortada em cima e em baixo), utilizaram-se duas imagens sobrepostas. Uma vez que ainda apareciam cortes na imagem (pequenos triângulos onde as duas imagens perpendiculares deveriam se encaixar), a solução foi adotar o parassol da própria câmera, que limitava o ângulo de visão em torno de 160 graus. Este método de edição de imagens foi desenvolvido por Tamura (MINELLA; TAMURA, 2009) e é descrito no subitem 3.2.1.1.

¹³ O custo deste equipamento é em torno de 100 % mais baixo do que as câmeras digitais com o sensor *full-frame*, que possibilita o registro completo de uma lente olho de peixe.

Em relação à altura da obtenção das fotos, por não haver norma relativa, o parâmetro estabelecido foi a altura dos sensores de temperatura e umidade consideradas nas medições microclimáticas (descritos no item 3.3). Desta forma, as fotos foram obtidas a 110 cm em relação ao nível do solo.

3.2.1.1 Metodologia para obtenção de fotos olho de peixe

A descrição a seguir corresponde à metodologia para obtenção de fotos olho de peixe com ângulo de abertura de aproximadamente 160°.

Para o estudo pretendido, foram necessárias duas imagens captadas por uma lente 8mm. A primeira imagem foi obtida com a máquina voltada ao Norte, chamada de "Foto 01", enquanto a segunda imagem, chamada de "Foto 02", foi realizada com a máquina voltada ao Leste. Para a obtenção das fotos, a câmera com a lente olho de peixe (mantido o parassol) foi acoplada em um tripé, e todo o conjunto posicionado com a lente da câmera virada para a abóbada celeste, e com o topo da câmera voltado para a direção norte (Figura 9–a). Para que a lente da câmera estivesse paralela ao solo, foi feito o nivelamento com um nível simples de construção, mexendo-se nas regulagens do tripé (Figura 9–b). No momento da obtenção da foto, foi necessário o posicionamento do fotógrafo abaixo da lente, de modo a evitar qualquer interferência na imagem (Figura 9–c). A câmera foi, então, girada em 90 graus. Foi ajustado o nível da lente novamente e obtidas as fotos.

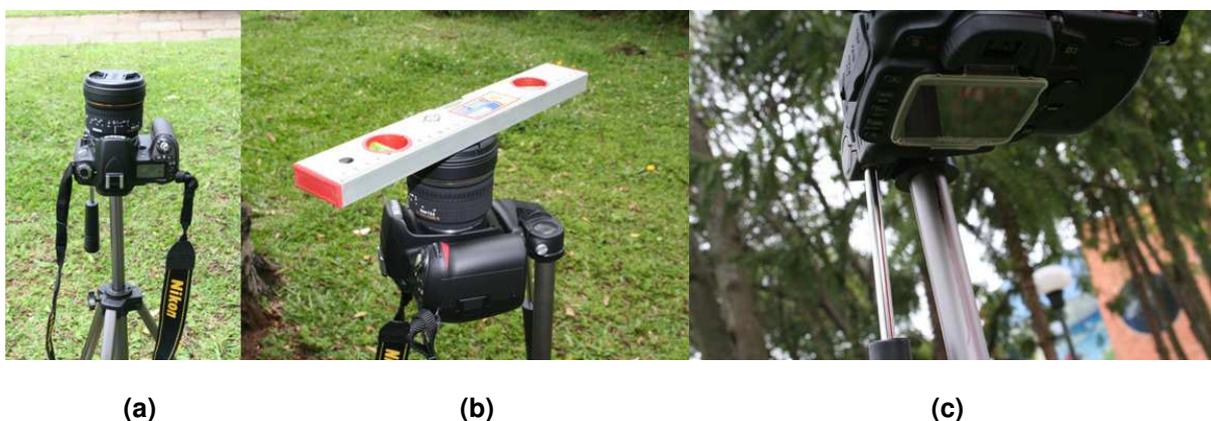


Figura 9 – Preparação da câmera: a) posicionamento da câmera, b) nivelamento da lente e c) marcação no corpo do tripé.

Fonte: A autoria própria

Para realizar a montagem das duas fotos e formar uma imagem completa, foi utilizado o programa de edição de imagem Adobe Photoshop.

3.2.1.2 Fusão de Imagens em programa de edição de imagem

Esta etapa está apresentada de maneira didática a fim de permitir uma melhor compreensão deste processo, que consiste em fundir as imagens obtidas com a máquina voltada para a direção Norte (Foto 1, Figura 10) e Leste (Foto 2, Figura 11), objetivando-se uma única imagem final.



Figura 10 – “Foto 1”, imagem posicionada em relação ao Norte

Fonte: A autoria própria



Figura 11 – “Foto 2”, imagem posicionada em relação ao Leste

Fonte: A autoria própria

O processo de fusão de imagens foi realizado no programa Adobe Photoshop, porém pode ser repetido em qualquer programa de edição de imagens. Inicialmente, as duas imagens foram abertas no programa e a área de trabalho da "Foto 01" aumentada, com a intenção de deixá-la no formato quadrado. No exemplo abaixo, a imagem que tinha a medida 1000x671px, passou a ter 1000x1000px. Para não distorcer a imagem, foi usado o comando *Image > Canvas Size* (Figura 12).

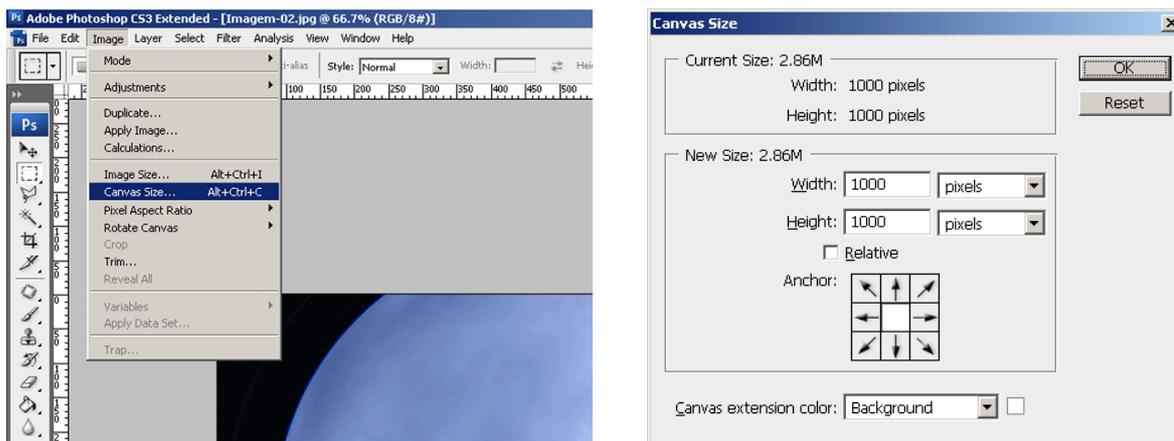


Figura 12 – Comando para deixar a imagem com formato quadrado e sem distorção.

Fonte: Autoria própria

Depois das imagens redimensionadas, a "Foto 02" foi inserida no arquivo da "Foto 01". No Photoshop, esse processo é realizado arrastando um *layer* (camada) de um arquivo para outro (Figura 13). A imagem arrastada foi, então, rotacionada em 90° de forma a encaixá-la da melhor forma possível na outra imagem. Com o *layer* selecionado, foi escolhida a opção *Edit > Free Transform*. A próxima etapa foi a criação de um novo *layer* sem preenchimento. Nesta nova camada, foi feita uma seleção no formato de um círculo, tendo o cuidado desta seleção não conter nenhuma área escura criada pela abertura da máquina, preservando somente a área de interesse. Caso seja necessário fazer algum ajuste na seleção, recomenda-se utilizar o comando *Select > Transform Selection* (Figura 14).

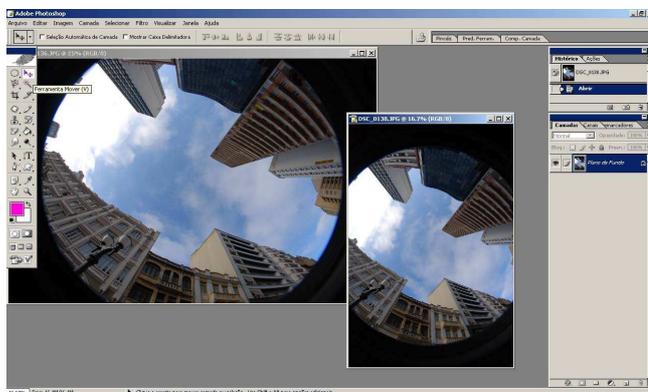


Figura 13 – Inserção da Imagem 2 no arquivo da Imagem 1

Fonte: Autoria própria



Figura 14 – Seleção da área de interesse

Fonte: Autoria própria

Depois da seleção no formato desejado, foi feita a inversão da mesma (*Select > Inverse* ou *Ctrl+Shift+I*), com o objetivo de pintar esta seleção com alguma cor que contrastasse com a imagem de interesse, neste caso, a cor preta. Para isso, foi utilizada a ferramenta *Paint Bucket Tool* (Balde de Tinta).

Neste momento, havia no arquivo três camadas (*layers*):

1. a imagem original do arquivo;
2. a imagem arrastada com diferença de 90° para a imagem anterior;
3. a camada de máscara pintada de preto que oculta as diferenças no formato circular obtidas pela câmera.

Assim, foi selecionada a segunda camada (com a imagem arrastada) e criado um *layer* de máscara sobre ela (Figura 15). Com o objetivo de ajustar alguma possível distorção, foi selecionada a ferramenta *Brush Tool* (Pincel) com um formato bem suave. No exemplo, foi utilizado um diâmetro de 200px e 0% de “dureza” (*Hardness*), ver Figura 16.

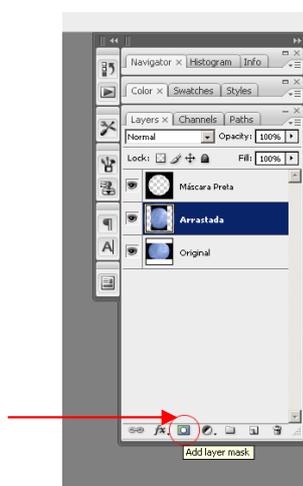


Figura 15 – Criação de *layer* de máscara sob a segunda camada

Fonte: Autoria própria



Figura 16 – Correção de alguma distorção.

Fonte: Autoria própria

Neste momento foi selecionada a máscara criada anteriormente e "pinceladas" as áreas de divergência entre as imagens. Nota-se que a máscara aceita somente tons de cinza: onde a máscara estiver pintada mais próximo do preto, menos aparecerá a imagem original, e quanto mais próximo do branco, mais

esta aparecerá. (Figura 17). O trabalho continuou até a obtenção de ponto satisfatório entre a junção das duas imagens. O resultado aparece na Figura 18.

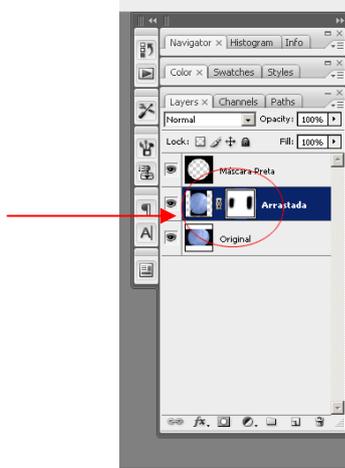


Figura 17 – Áreas corrigidas
Fonte: Autoria própria



Figura 18 – Resultado final
Fonte: Autoria própria

Os resultados deste método foram calibrados a partir de fotos olho de peixe obtidas com a lente olho de peixe FC-E8 acoplada a câmera Nikon CoolPix 4500. A calibração consistiu em comparar os valores de fatores de visão do céu obtidos na primeira situação (fotos olho de peixe com ângulo de abertura de aproximadamente 160°), com os valores obtidos a partir das fotos olho de peixe com ângulo de abertura de 180°. Da calibração, obteve-se uma relação praticamente linear entre tais valores ($R^2 = 0,98$), (Gráfico 5).

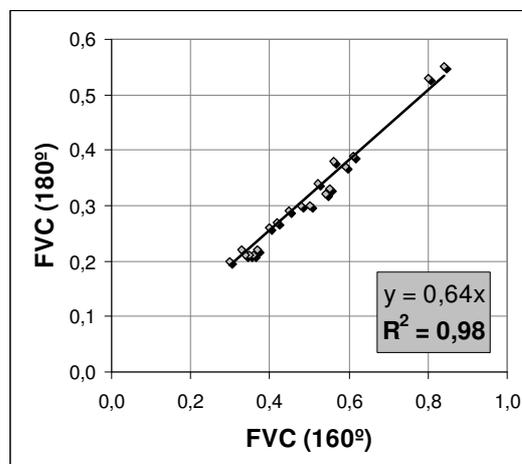


Gráfico 5 – Gráfico de dispersão entre FVC com ângulo de abertura de 160° e de 180°
Fonte: Autoria própria

Para a câmera sem o sensor full-frame, e para FVCs entre 0,19 e 0,54, o método de calibração parece se aplicar e o coeficiente de calibração “compensa” a parte da imagem que foi perdida na primeira situação em relação à segunda. O erro médio entre os valores de FVC de cada método foi de -0,31% (Tabela 4).

Tabela 4 – Erro médio entre os valores de FVC de cada método

Pontos	FVC (160°)	FVC (180°)	FVC 160° COM CORREÇÃO LINEAR	ERRO	ERRO (módulo)
2	0,30	0,20	0,19	0,01	0,01
11	0,36	0,21	0,23	-0,02	0,02
12	0,35	0,21	0,22	-0,01	0,01
17	0,34	0,21	0,22	-0,01	0,01
5	0,33	0,22	0,21	0,01	0,01
13	0,37	0,22	0,24	-0,02	0,02
6a	0,40	0,26	0,26	0,00	0,00
6b	0,42	0,27	0,27	0,00	0,00
9	0,45	0,29	0,29	0,00	0,00
10	0,48	0,30	0,31	-0,01	0,01
18	0,50	0,30	0,32	-0,02	0,02
3	0,54	0,32	0,35	-0,03	0,03
1	0,55	0,33	0,35	-0,02	0,02
4	0,52	0,34	0,33	0,01	0,01
8	0,59	0,37	0,38	-0,01	0,01
16	0,56	0,38	0,36	0,02	0,02
7	0,61	0,39	0,39	0,00	0,00
15	0,80	0,53	0,51	0,02	0,02
14	0,84	0,55	0,54	0,01	0,01
ERRO MÉDIO %				-0,31	

Fonte: Autoria própria

A aplicação do método de edição de imagens, devidamente calibrado, pode ser uma alternativa para estudos que utilizem somente o valor do FVC. Para o presente estudo, devido a necessidade da utilização de cartas solares sobrepostas às imagens olho de peixe completas, foram utilizadas as imagens obtidas com a câmera provida do sensor, isto é, a câmera Nikon CoolPix 4500 com lente olho de peixe FC-E8 (Figura 19) .



Figura 19 – Câmera Nikon CoolPix 4500 com lente olho de peixe FC-E8

Fonte: Autoria própria

3.2.2 Cálculo do FVC no programa Rayman

Uma maneira simples de obter o FVC é por intermédio do programa RayMan. O *software* permite a obtenção da Trm, além de índices de conforto como o PMV e o PET. O programa, de domínio público (<http://www.mif.uni-freiburg.de/RayMan>), foi desenvolvido por Andreas Matzarakis e por considerar as complexas estruturas urbanas, é de grande utilidade para a climatologia e planejamento urbano.

O programa possibilita que uma determinada localidade seja graficamente representada com a inserção de dados de implantação e dimensões das edificações e vegetação. Por meio deste sistema de dados gráficos, é possível a visualização de áreas sombreadas pelos obstáculos naturais e artificiais, além do cálculo do FVC. Outra opção para a obtenção do FVC é por meio da inserção de fotos olho de peixe. As imagens podem ser importadas e editadas no próprio programa, já que no RayMan, há ferramentas de desenho que possibilitam a seleção do céu, para depois ser possível o contraste da área de céu com a área de obstruções, e então efetivar o cálculo do FVC.

No entanto, de modo a facilitar e agilizar este processo, a imagem pode ser preparada no Adobe Photoshop, evitando a utilização das ferramentas de desenho do programa RayMan.

Para o cálculo do FVC, a imagem circular da foto olho de peixe deve estar perfeitamente encaixada no *grid* polar visualizado no RayMan. Dessa maneira, depois de aberta a foto no programa Photoshop, deve-se deixar somente a imagem da circunferência, apagando o fundo da imagem (Figura 20). Para isso foi utilizada a

ferramenta *Magic Tool Eraser* (borracha mágica) sob o fundo da imagem. Neste caso, a tolerância, ou seja, o limite de contraste da ferramenta foi de 1. De modo a completar esta ação, foram selecionados os seguintes comandos: *Image > Trim > Transparent Pixels > OK*.

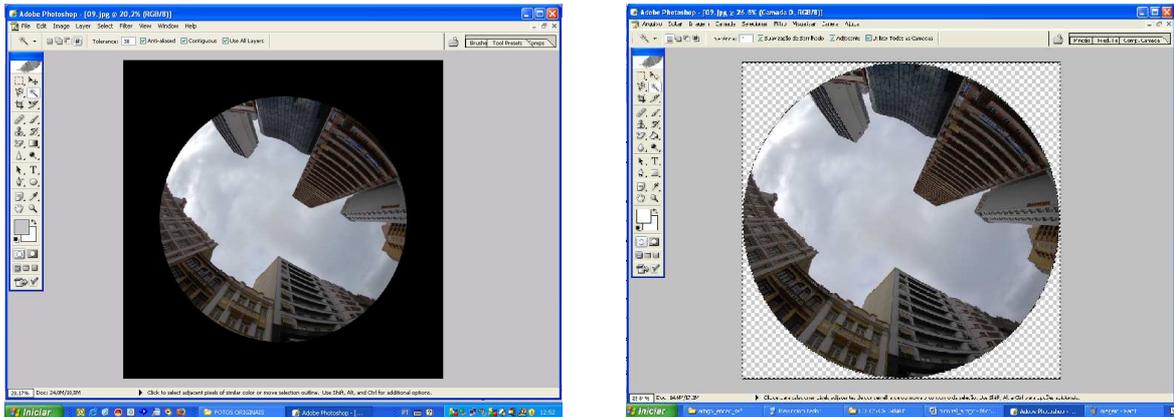


Figura 20 – Processo de recorte da imagem circular

Fonte: Autoria própria

Ainda nesta etapa fez-se a opção de retirar o céu, facilitando assim o processo de contraste no programa RayMan. Para isso foi selecionada a opção *Magic Wand Tool* (varinha mágica) e, com a tecla *Ctrl*, foram selecionadas as partes que se desejava retirar. A tolerância para esta ferramenta no exemplo utilizado foi de 30. O resultado pode ser conferido na Figura 21.



Figura 21 – Resultado do recorte da área de céu

Fonte: Autoria própria

A imagem foi salva em bitmap, formato necessário para ser importado pelo Rayman.

No programa Rayman na barra de ferramentas *Input*, foi selecionada a função *Sky View Factor*. Com a ferramenta *Open Horizon Limitation*, importou-se a imagem. Na área de trabalho, na janela *Draw*, foi selecionada a ferramenta *Monochrome*, que deixa as áreas de obstrução na cor preta (Figura 22). Desta forma, por meio de contraste branco e preto, é possível o cálculo do FVC. Assim, na janela *Cut off*, que lida com as propriedades das cores no sistema RGB, foram arrastadas as três barras até o limite máximo, de modo a aparecer a cor branca no RGB selecionado. Depois de um clique em *Cut off* e em *Close*, é possível a visualização do FVC. A etapa do processo de recorte do céu no programa de edição elimina etapas no Rayman e facilita o processo.

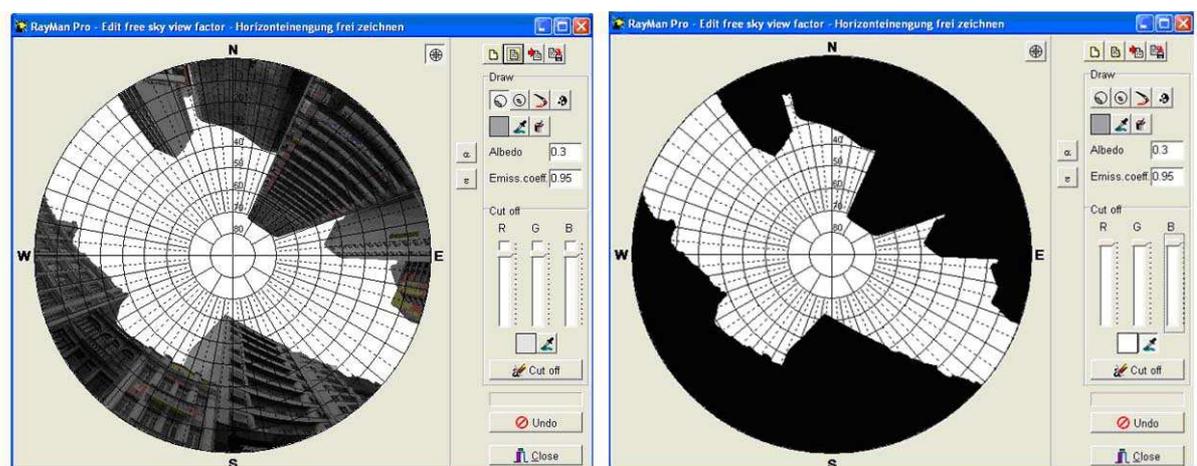


Figura 22 – Importação da imagem e contraste

Fonte: Autoria própria

Para finalizar, basta clicar em *New* localizado na janela *Calculation* (Figura 23). É aberta, então, uma janela com o resultado (Figura 24).

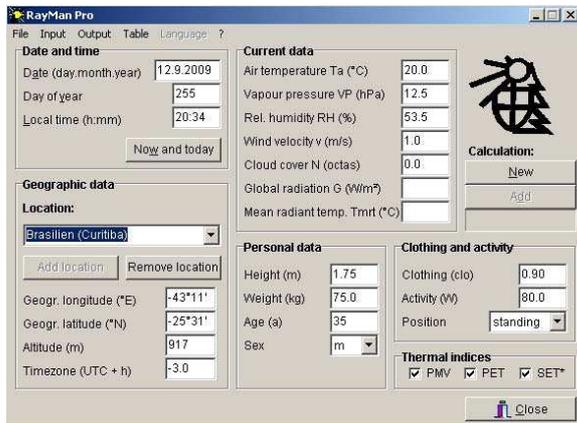


Figura 23 – Visualização do programa RayMan

Fonte: Autoria própria

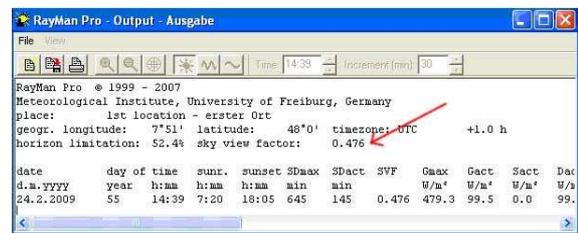


Figura 24 – Janela de saída de dados

Fonte: Autoria própria

O programa Rayman mostrou ser bastante útil quanto ao cálculo do FVC.

3.3 MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

As variáveis climáticas foram obtidas de acordo com a norma ISO 7726 (1998), que dispõe sobre os instrumentos para a medição de variáveis físicas.

O monitoramento das variáveis climáticas foi possível com o uso de duas estações meteorológicas da marca HOBO modelo H21-001 (Figura 25).



Figura 25 – Estação meteorológica HOBO (H21-001)

Fonte: Microdaq (2009)

Cada estação estava equipada com seguintes instrumentos (Quadro 5): sensor de temperatura do ar e umidade, piranômetro e sensor de direção e velocidade do vento (anemômetro).

	<p>Sensor de temperatura do ar e umidade (S-THB-M002)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: -40 °C a 75 °C (Ta) e 0 a 100% (UR) - Precisão: 0,2 °C (Ta) e ± 2,5% (UR)
	<p>Piranômetro de silício (S-LIB-M003)</p> <p>Mede a radiação solar considerando-se a faixa espectral de 300 a 1100 nm.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: 0 a 1280 W/m² - Precisão: ±10.0 W/m² ou ±5%.
	<p>Sensor de direção e velocidade do vento (S-WCA-M003)</p> <p>Velocidade do ar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: 0 a 44 m/s - Precisão: <ul style="list-style-type: none"> ± 0,5 m / s (± 1,1mph) ±3% (17 to 30 m/s) ±4% (30 to 47 m/s) <p>Direção do ar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: 0 a 358° - Precisão: ± 0,5 m / s

Quadro 5 – Instrumentos de medição

Fonte: Microdaq (2009)

Os sensores de temperatura do ar e umidade relativa foram fixados na altura de 110 cm, conforme ISO 7726 (1998). O piranômetro foi fixado à 160 cm, acima dos demais sensores e orientado para o Norte, para evitar sombras sobre o

mesmo. O anemômetro foi fixado à 200 cm, conforme recomendado por Campbell (1997).

Para se obter a temperatura radiante média (T_{rm}), foram utilizados termômetros de globo de cobre, com $\varnothing=2''$, pintados na cor RAL-7001 (THORSSON et al., 2007), como visualizado na Figura 26. Em cada estação, foram fixados dois termômetros de globo nas alturas de 60 cm e 110 cm, conforme ISO 7726 (1998), sendo incorporados nestes globos os instrumentos do Quadro 6. Para se obter a temperatura de globo, foi feita a média aritmética entre os dois registros. A T_{rm} foi calculada pela fórmula para convecção natural, definida pela ISO 7726 (1998, p.16).

	<p>Sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: -40 °C a 100 °C - Precisão: < ± 0.2 °C (0 °C a 50 °C)
	<p>Sensor de temperatura HOB0 Pro V2 logger (U23-004)</p> <p>Sensor interno</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: -40 °C a 100 °C - Precisão: < ± 0.2 °C (0 °C a 50 °C) <p>Sensor externo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: -40 °C a 100 °C - Precisão: < ± 0.2 °C (0 °C a 50 °C)

Quadro 6 – Instrumentos de medição acoplados nos globos de cobre

Fonte: Microdaq (2009)

As faixas de precisão dos instrumentos utilizados satisfizeram as recomendações da norma ISO 7726 (1998), ver Tabela 5.

Tabela 5 – Faixa de precisão dos instrumentos segundo a norma ISO 7726 (1998)

(continua)

Variáveis	Faixa para conforto	Precisão para conforto	Faixa para estresse	Precisão para estresse
Temperatura do ar (T_a)	10 a 40 °C	Desejada: $\pm 0,5$ °C Requerida: $\pm 0,2$ °C	-40 a 120 °C	Desejada: $\pm 0,5$ °C (0 a 50 °C) Requerida: $\pm 0,25$ °C (0 a 50 °C)

Tabela 5 – Faixa de precisão dos instrumentos segundo a norma ISO 7726 (1998)

(conclusão)

Variáveis	Faixa para conforto	Precisão para conforto	Faixa para estresse	Precisão para estresse
Temperatura radiante média (Trm)	10 a 40 °C	Desejada: ± 2 °C Requerida: $\pm 0,2$ °C	-40 a 150 °C	Desejada: ± 5 °C (0 a 50 °C) Requerida: ± 5 °C (0 a 50 °C)
Velocidade do ar (va)	0,05 a 1 m/s	Desejada: $\pm (0,05 + 0,05va)$ m/s Requerida: $\pm (0,02 + 0,07va)$ m/s	0,2 a 20 m/s	Desejada: $\pm (0,1 + 0,05va)$ m/s Requerida: $\pm (0,05 + 0,05va)$ m/s
Umidade absoluta (pa)	0,5 a 3,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa $ Tr - Ta < 10$ °C	0,5 a 6,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa $ Tr - Ta < 20$ °C

Fonte: ROSSI et al. (2009)

Para que fossem obtidos resultados precisos, os dados foram gravados de 1 em 1 segundo. Foi feita, então, uma média de todos os segundos para a composição do minuto.



Figura 26 – Estação HOBO (H21-001) e termômetros de globo no detalhe

Fonte: Autoria própria

Os índices de conforto utilizados neste estudo foram: PMV e PET. O cálculo de cada um deles foi feito pelo programa RayMan. Para a obtenção dos valores dos índices PMV e PET, foram considerados todos os dados, ou seja, de minuto em minuto. Os dados pessoais (idade, altura, peso) foram baseados nos dados de um homem “padrão” segundo a norma ISO 8896 (2004), sendo consideradas as seguintes características: idade 30 anos, altura 1,80 e peso 70 kg.

O monitoramento das variáveis climáticas ocorreu em treze dias, entre os meses de janeiro a agosto de 2009 (Quadro 7). No estabelecimento dos pares para o monitoramento das variáveis climáticas e posterior comparação entre eles, procurou-se pontos com distintas configurações urbanas. Assim, foram selecionados cânions urbanos com valores diversos de FVC, pontos em cruzamento de vias de pedestres, ponto em praça (com ausência árvores), etc.

Pto	Data da medição												
1													
2	09/01		01/04						17/06				
3		25/03							19/06				
4				08/04	06/05	03/06							
5							05/06						
6a								17/06					
6b													12/08
7	09/01								19/06				
8										13/07			
9				08/04									
10		25/03					05/06						
11											11/08	12/08	
12													
13			01/04										
14					06/05	03/06						11/08	
15													
16										13/07			
17								09/06					
18								09/06					

Quadro 7 – Pares e datas de medição

Fonte: Aatoria própria

Foram obtidos dados de diversas variáveis como a velocidade e a direção do vento, a radiação solar, a umidade relativa do ar, a temperatura do ar e a temperatura radiante média. Para esta pesquisa foi considerado um período de

quatro horas consecutivas de coleta de dados, estabelecendo-se dados horários das 12h00 às 15h00.

Em relação aos dias de medição, são necessárias duas ressalvas:

- No dia 06/05/2009, no ponto 4, não foram registrados dados relativos ao vento. Assim, esse dia foi descartado nas análises de conforto térmico, porém foi utilizado nas análises posteriores.
- Nos dias 11/08/2009 e 12/08/2009 foram monitorados o ponto 11, situado na Praça General Osório, em comparação com uma praça sem árvores (ponto 14) e com um cânion urbano (ponto 6b). No entanto, para esta pesquisa não foram considerados os dados do ponto 11 devido às particularidades deste. Assim, os dois últimos dias de medição foram incluídos apenas na etapa 6 (item 4.2.6), destinada à análise da relação entre FVC, ilha de calor e diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$), e no item 4.4, no qual é apresentado o fator de acessibilidade solar (FAS).

A seguir são mostradas as etapas referentes ao procedimento para a análise dos dados obtidos.

3.4 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E O FVC

A análise da relação entre as variáveis climáticas e o FVC compreende seis etapas.

- Etapa 1 - Análises de correlações entre os índices e as variáveis climáticas

A primeira etapa da análise dos dados consistiu em estabelecer a variável climática com melhor correlação com os índices de conforto selecionados. Desta forma, por meio do programa de estatística Statgraphics, foram obtidas correlações entre os índices PMV e PET e as variáveis microclimáticas (velocidade do vento, radiação solar, umidade do ar, temperatura do ar e temperatura radiante média). Para este objetivo, foram considerados os dados em minutos das 11h01 até às 15h00.

- Etapa 2 - Análise dos pares de medição

Baseando-se unicamente no conceito de FVC, partiu-se do pressuposto de que, sob condições diurnas, em pontos com maior abertura do céu, as variáveis T_a e T_{rm} sejam proporcionalmente maiores que em pontos com menor valor de FVC. Assim, para o período de medição, procurou-se verificar a existência de um comportamento padrão entre os valores médios de T_{rm} dos pares de medição e os respectivos valores de FVC.

- Etapa 3 - Seleção e análise de “dias comparáveis”

O objetivo dessa etapa foi analisar o comportamento térmico de pares monitorados e o nível de conforto térmico em dias selecionados, associando o valor de FVC a estas análises.

Uma vez que a análise climatológica de espaços abertos abrange uma diversidade de variáveis climáticas, sendo uma das mais impactantes a radiação solar recebida no ponto, utilizou-se a diferença de radiação entre os pares de medição, segundo a Equação 7, como parâmetro para a seleção de “dias comparáveis”.

O resultado é dado em diferenças percentuais entre o total de radiação solar incidente nos pares de medição.

$$\% \text{ VARIAC\~{A}O} = [(\Sigma I_{g2} - \Sigma I_{g1}) / \Sigma I_{g2}] \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde ΣI_{g2} é o total de radiação medido na estação 2, e ΣI_{g1} é o total de radiação medido na estação 1, sendo considerados os dados do período de monitoramento das 11h01 às 15h00.

Para os dias com diferença de radiação entre os pontos inferior a 30% foram traçados gráficos relacionando a diferença de T_{rm} entre os pontos (estação 2- estação 1) e os índices PMV e PET, calculados no programa Rayman. Em seguida, foram comparados os níveis de conforto calculado entre os pares. O valor de referência, 30%, foi determinado em função dos valores de radiação encontrados nos 13 dias de medição.

- Etapa 4 - Análise de Conforto Calculado

Nessa etapa objetivou-se a análise dos níveis de conforto térmico calculado de todos os pares de medição. A análise foi feita de forma comparativa, considerando o valor de FVC de cada ponto e os índices de conforto calculados pelo programa Rayman.

- Etapa 5 - Normalização de dados e análises

A etapa seguinte foi a normalização dos dados de Trm para que fosse possível comparar dias diferentes de monitoramento, evitando-se, assim, que as diferentes condições meteorológicas de cada dia mascarassem o efeito do FVC. A normalização de dados para uma mesma condição depende de um fator estabelecido por outra situação que permaneça inalterada em termos de exposição às condições climáticas: a estação meteorológica fixa. Nesse caso, utilizaram-se dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado no centro politécnico da Universidade Federal do Paraná. Devido à falta de dados referentes à temperatura radiante média na estação meteorológica fixa, tomaram-se como base os dados horários de temperatura do ar correspondente a cada dia de medição.

- Etapa 5.1 - Divisão em GRUPO 1, GRUPO 2 e GRUPO 3

Os dias de medição foram divididos em grupos, segundo os dados de temperatura do ar obtidos pelo INMET, correspondentes aos dias e horários de monitoramento. Assim, os 13 dias de medição foram divididos em três grupos: (1) grupo com temperaturas elevadas (acima de 23 °C), chamado de GRUPO 1; (2) grupo com temperaturas intermediárias (entre 20 a 23 °C), chamado de GRUPO 2; (3) grupo com temperaturas baixas (abaixo de 20 °C), chamado de GRUPO 3.

- Etapa 5.2 - Obtenção dos fatores de normalização

Considerando todos os dias do grupo 1, foi feita a média de Ta registrada pelo INMET para cada hora, resultando em uma média de Ta para às 12h00, 13h00, 14h00 e 15h00. Estes dados serviram de base para a divisão dos dados de Ta obtidos pelo INMET por estas médias. Repetiu-se este procedimento para os outros grupos. Obtiveram-se, então, os fatores de normalização para todos os horários, dias e grupos.

- Etapa 5.3 – Determinação da T_{rm} normalizada

Os dados medidos nos locais de monitoramento foram, então, multiplicados por cada fator de normalização correspondente, obtendo-se, assim, a T_{rm} normalizada. A partir destes novos dados de T_{rm} , foram obtidos os coeficientes de determinação entre FVC e T_{rm} normalizada para os três grupos.

Os procedimentos completos para a obtenção das temperaturas radiantes médias normalizadas constam no Apêndice A.

- Etapa 6 - Análise da relação entre FVC, ilha de calor diurna e diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$)

Foi feita para cada período de cada dia, a média das diferenças horárias entre o ponto e a estação meteorológica fixa (INMET). Destes dados analisou-se a correlação existente entre FVC e ilha de calor. Obteve-se, também, o coeficiente de determinação (R^2) entre as diferenças dos valores médios de T_{rm} obtidos por meio das medições e os valores médios de T_a registrados pelo INMET ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$), para o período de 4 horas e os valores de FVC correspondentes.

3.5 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO SOLAR E O FVC

Considerando-se a importância da quantidade de radiação solar para a determinação dos valores de T_{rm} , foram feitas interpretações da incidência solar em cada ponto, por meio de cartas solares plotadas sobre as imagens olho de peixe. Tanto as fotos olho de peixe como as cartas solares utilizadas possuem projeção eqüidistante, sendo as trajetórias solares traçadas individualmente para cada dia de medição com auxílio do programa Rayman.

3.6 PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO FATOR DE ACESSIBILIDADE SOLAR (FAS)

A etapa final consistiu em apresentar o fator de acessibilidade solar (FAS) como um parâmetro complementar ao FVC nas análises de clima urbano. O FAS

consiste na área desobstruída do céu que recebe influência da trajetória solar. Para a obtenção desse parâmetro, utilizou-se a carta solar sobreposta à foto olho de peixe, sendo o cálculo realizado com auxílio do programa AutoCAD. O resultado é dado em porcentagem.

O FAS é um parâmetro genérico, pois, deve-se considerar, na carta solar, a faixa de dias relativos ao período de interesse. Para o estudo em questão, foram consideradas todas as faixas, já que as medições abarcaram os meses de janeiro a agosto.

A Figura 27 contém um quadro resumo dos procedimentos metodológicos empreendidos na pesquisa. Nesse quadro estão inclusos os objetivos, procedimentos e ferramentas utilizadas nas ações desenvolvidas, de forma a responder ao objetivo proposto.

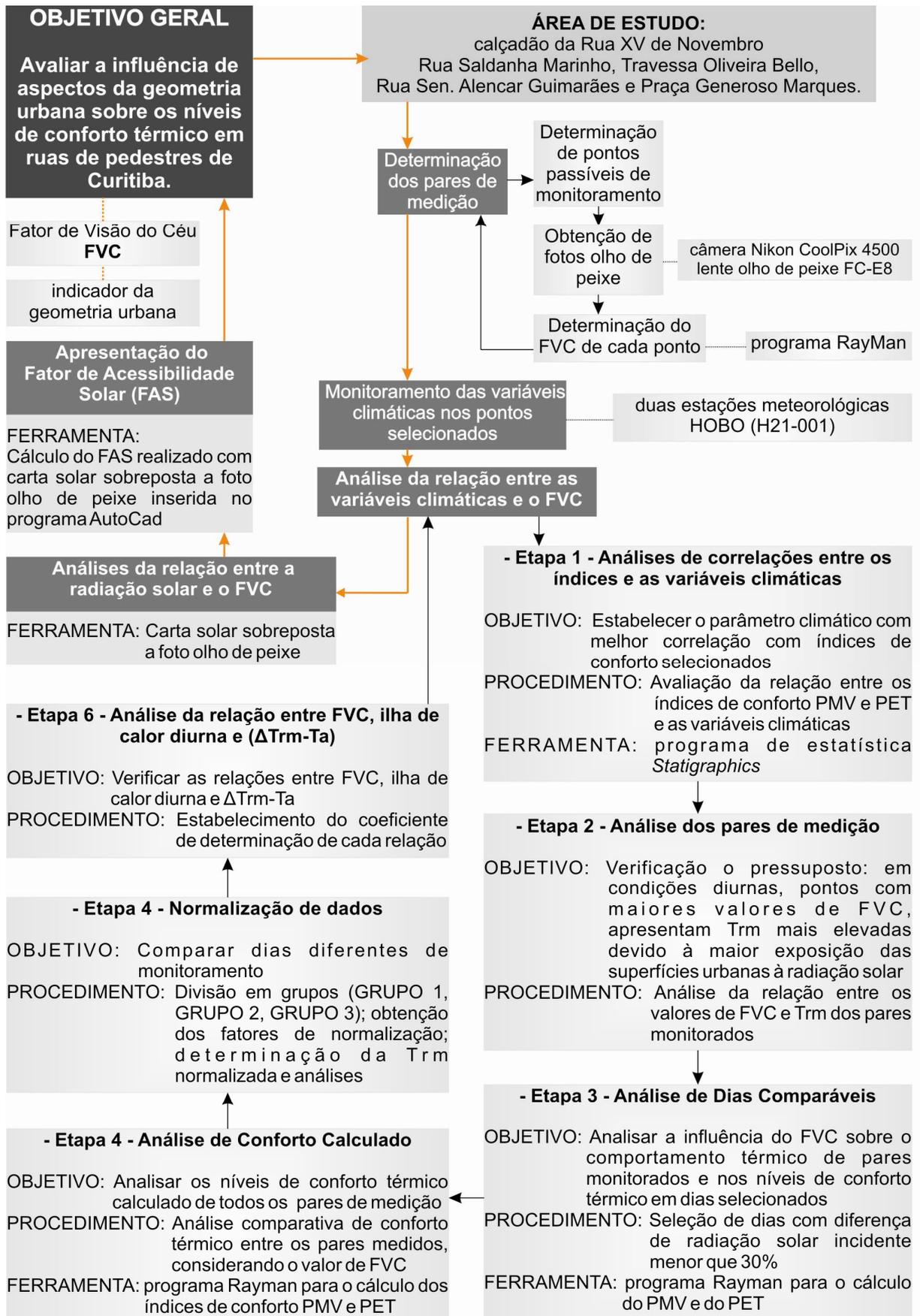


Figura 27 – Quadro resumo das ações desenvolvidas

Fonte: Autoria própria

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As diferentes técnicas empregadas para a análise dos dados buscam atender o objetivo proposto, isto é, avaliar a influência de aspectos da geometria urbana, mais especificamente o fator de visão do céu (FVC), sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres. Os resultados são auferidos a seguir e referem-se às medições que ocorreram em treze dias não consecutivos, entre os meses de janeiro a agosto de 2009. No total, o estudo verifica as condições microclimáticas de 15 situações urbanas distintas. Ao final deste capítulo, é apresentado o fator de acessibilidade solar (FAS) como parâmetro complementar ao FVC em estudos que investiguem a influência da configuração urbana no microclima.

4.1 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS E PARES DE MEDIÇÃO

Este estudo teve início com a determinação de pontos passíveis de monitoramento no calçadão da Rua XV de Novembro e em vias de pedestres próximas a esta (Rua Saldanha Marinho, Travessa Oliveira Bello, Rua Senador Alencar Guimarães e Praça Generoso Marques). Foram obtidas fotos olho de peixe dos pontos aptos a serem monitorados, e, posteriormente, calculados os fatores de visão do céu de cada ponto, conforme exposto no Capítulo 3. Ao todo, foram consideradas 18 localidades passíveis de monitoramento, totalizando 19 pontos, uma vez que o ponto 6 foi subdividido em dois pontos (6a e 6b). Deste total, selecionaram-se 15 pontos para medição, havendo repetição de alguns pontos. O resultado das imagens olho de peixe de cada ponto monitorado com o respectivo valor de FVC, além de informações complementares, constam na Tabela 6. O posicionamento das fotos é relativo ao norte verdadeiro. Percebem-se nas imagens, as diferentes configurações urbanas encontradas na região central de Curitiba.

Note que a altura média estimada das edificações refere-se à altura das edificações caso estas fossem uniformes. Esses dados foram obtidos com o auxílio do programa Rayman.

Tabela 6 – Caracterização dos pontos monitorados

(continua)

Ponto 2	Localização: Rua XV de Novembro - entre a Rua Pres. Faria e a Rua Riachuelo
	FVC = 0,20 Largura da via (W): 18 m Altura média estimada das edificações (H): 30 m Vegetação: Poucas árvores isoladas Frequência de monitoramento: Monitorado três vezes Observação: Primeira quadra do calçadão da Rua XV de Novembro
Ponto 3	Localização: Rua XV de Novembro - entre a Rua Riachuelo e a Rua Mons. Celso
	FVC = 0,32 Largura da via (W): 18 m Altura média estimada das edificações (H): 19 m Vegetação: Seqüência de árvores em toda sua extensão Frequência de monitoramento: Monitorado duas vezes Observação: A maioria dos edifícios nesta quadra possui importância histórica
Ponto 4	Localização: Cruzamento da Rua Mons. Celso e Rua XV de Novembro
	FVC = 0,34 Largura da via (W): - Altura média estimada das edificações (H): - Vegetação: Não há Frequência de monitoramento: Monitorado três vezes Observação: Sofre influência de obstruções localizadas nas esquinas
Ponto 5	Localização: Rua XV de Novembro - entre a Rua Mons. Celso e a Rua Mal. Floriano
	FVC = 0,22 Largura da via (W): 18 m Altura média estimada das edificações (H): 28 m Vegetação: Poucas árvores isoladas Frequência de monitoramento: Monitorado uma vez Observação: Nesta quadra há cinco quiosques ao longo da quadra

Tabela 6 – Caracterização dos pontos monitorados

(continua)

Ponto 6a	Localização: Rua XV de Novembro - entre a Rua Mal. Floriano e a Al. Dr. Muricy
	FVC = 0,26
	Largura da via (W): 25 m Altura média estimada das edificações (H): 32 m
	Vegetação: Não há
	Frequência de monitoramento: Monitorado uma vez
	Observação: No meio da quadra do ponto 6 há uma fonte d'água. Os pontos 6a e 6b estão em lados opostos da fonte.
Ponto 6b	Localização: Rua XV de Novembro - entre a Rua Mal. Floriano e a Al. Dr. Muricy
	FVC = 0,27
	Largura da via (W): 25 m Altura média estimada das edificações (H): 32 m
	Vegetação: Não há
	Frequência de monitoramento: Monitorado uma vez
	Observação: No meio da quadra do ponto 6 há uma fonte d'água. Os pontos 6a e 6b estão em lados opostos da fonte.
Ponto 7	Localização: Rua XV de Novembro - entre a Al. Dr. Muricy e a Rua Ébano Pereira
	FVC = 0,39
	Largura da via (W): 25 m Altura média estimada das edificações (H): 20 m
	Vegetação: Poucas árvores isoladas
	Frequência de monitoramento: Monitorado duas vezes
	Observação: Local com grande concentração de transeuntes
Ponto 8	Localização: Cruzamento da Trav. Oliveira Bello e Rua XV de Novembro
	FVC = 0,37
	Largura da via (W): - Altura média estimada das edificações (H): -
	Vegetação: Não há
	Frequência de monitoramento: Monitorado uma vez
	Observação: Sofre influência de obstruções localizadas nas esquinas

Tabela 6 – Caracterização dos pontos monitorados

(continua)

Ponto 9	Localização: Avenida Luis Xavier - entre a Rua Ébano Pereira e a Rua Vol. Pátria
	FVC = 0,29 Largura da via (W): 30 m Altura média estimada das edificações (H): 33 m Vegetação: Não há Freqüência de monitoramento: Monitorado uma vez Observação: É a única quadra que possui um pequeno trecho de circulação de veículos
Ponto 10	Localização: Cruzamento da Rua Vol. Pátria e Avenida Luis Xavier
	FVC = 0,30 Largura da via (W): 30 m Altura média estimada das edificações (H): 32 m Vegetação: Poucas árvores isoladas Freqüência de monitoramento: Monitorado duas vezes Observação: Ponto no entorno da Praça General Osório, com constantes episódios de manifestações artísticas
Ponto 13	Localização: Rua Saldanha - entre a Rua do Rosário e a Rua José Bonifácio
	FVC = 0,21 Largura da via (W): 9 m Altura média estimada das edificações (H): 21 m Vegetação: não há Freqüência de monitoramento: Monitorado uma vez Observação: Rua com pouco comércio local
Ponto 14	Localização: Praça Gen. Marques - em frente ao Paço Municipal
	FVC = 0,55 Largura da via (W): - Altura média estimada das edificações (H): - Vegetação: Não há Freqüência de monitoramento: Monitorado três vezes Observação: Caracteriza-se por ser uma praça seca, ou seja, embora haja espelhos d'água, não existem árvores. O ponto de referência da praça é o Paço Municipal

Tabela 6 – Caracterização dos pontos monitorados

(conclusão)

Ponto 16	Localização: Praça Gen. Marques - atrás do Paço Municipal
	FVC = 0,38
	Largura da via (W): - Altura média das edificações (H): -
	Vegetação: Poucas árvores isoladas
	Freqüência de monitoramento: Monitorado uma vez
	Observação: Comércio de lojas populares e fluxo de transeuntes inferior ao do calçadão da Rua de Novembro
Ponto 17	Localização: Trav. Oliveira Bello
	FVC = 0,21
	Largura da via (W): 18 m Altura média estimada das edificações (H): 29 m
	Vegetação: Não há
	Freqüência de monitoramento: Monitorado uma vez
	Observação: Orientação axial NW-SE
Ponto 18	Localização: Rua Senador Alencar Guimarães
	FVC = 0,30
	Largura da via (W): 18 m Altura média estimada das edificações (H): 20 m
	Vegetação: Não há
	Freqüência de monitoramento: Monitorado uma vez
	Observação: Orientação axial NW-SE

Fonte: Autoria própria

Procurou-se, no estabelecimento dos pares de medição, comparar diferentes situações urbanas, como por exemplo: cânions urbanos com diferenças consideráveis no valor de FVC, como os pares 2 e 7; pares com pouca diferença na quantidade de céu obstruído, como os pontos 8 e 16; comparação de cruzamento de vias com cânion e com praça seca, pares 4 e 9 e pares 4 e 14, respectivamente.

A Tabela 7 apresenta as diferenças de fator de visão do céu (FVC), em porcentagem, entre os pares de medição.

Tabela 7 – Diferenças de FVC entre os pares de medição

Data	Ponto	FVC	Diferença no valor de FVC %
09/01/2009	2	0,20	49
	7	0,39	
25/03/2009	10	0,30	6
	3	0,32	
01/04/2009	13	0,22	9
	2	0,20	
08/04/2009	4	0,34	15
	9	0,29	
06/05/2009	4	0,34	38
	14	0,55	
03/06/2009	4	0,34	38
	14	0,55	
05/06/2009	10	0,30	27
	5	0,22	
09/06/2009	17	0,21	30
	18	0,30	
17/06/2009	6a	0,26	23
	2	0,20	
19/06/2009	3	0,32	18
	7	0,39	
13/07/2009	8	0,37	3
	16	0,38	

Fonte: Autoria própria

Note que os últimos dias de coleta de dados (11/08/2009 e 12/08/2009) não aparecem na Tabela 7. No dia 11/08/2009 comparou-se a Praça General Osório (ponto 11) que apresenta uma quantidade considerável de árvores de médio e grande porte, com o ponto 14, praça sem vegetação arbórea. No dia 12/08/2009, repetiu-se o ponto 11, mas em comparação com o ponto 6b. No entanto, para o presente estudo, excluiu-se o ponto 11, considerando-se somente as configurações de praça seca (ponto 14) e de cânion urbano (ponto 6b). A decisão de não considerar o ponto da Praça General Osório deve-se ao fato de que, por ser uma praça com vegetação densa, as características microclimáticas deste local tornam-

se muito específicas. Assim, esses dias não aparecem nas análises que incluem pares de medição.

As medições tiveram início no dia 09/01/2009 nos pontos 2 (FVC 0,20) e 7 (FVC 0,39). Esses cânions urbanos foram escolhidos por apresentarem valores de FVC distintos, sendo o valor do ponto 7 quase o dobro do valor do ponto 2. Na medição do dia 25/03/2009, os pontos 10 (FVC 0,30) e 3 (FVC 0,32) foram selecionados por apresentarem valores de FVC próximos (diferença de 6%). Novamente, na medição seguinte (01/04/2009), procuraram-se pontos com valores de FVC semelhantes, mas que estivessem localizados em vias distintas. Desta forma, foram coletados dados climáticos do ponto 13 (FVC 0,22), situado na Rua Saldanha Marinho, e do ponto 2 (FVC 0,20) na Rua XV de Novembro. Ambas as vias possuem a mesma orientação axial (tendência E-W).

As medições dos dias 08/04/2009 e 06/05/2009 tiveram como objetivo comparar pontos com diferenças expressivas nas suas configurações urbanas. O ponto 4 (FVC 0,34) situado em um cruzamento de vias de pedestres, foi, então, medido simultaneamente com um ponto em cânion urbano (ponto 9, FVC 0,29) e com outro localizado em uma praça seca (ponto 14, FVC 0,55). A medição do dia 03/06/2009 repetiu os pontos da medição do dia 06/05/2009, uma vez que, nessa data, não foram obtidos dados relativos ao vento no ponto 4.

Os pontos 10 (FVC 0,30) e 5 (FVC 0,22) possuem valores de FVC com diferença de 27% e foram medidos no dia 05/06/2009. Enquanto o ponto 5 apresenta configuração urbana de cânion, o ponto 10 situa-se em um área mais aberta, no entorno da Praça General Osório, com configuração mais próxima de um cruzamento de vias.

No dia 09/06/2009, foram escolhidos pontos no entorno da Rua XV de Novembro e com orientação axial diferente desta. Assim, selecionaram-se o ponto 17 (FVC 0,21) situado na Travessa Oliveira Bello e o ponto 18 (FVC 0,30) na Rua Sen. Alencar Guimarães, ambos os pontos com a mesma orientação axial (NW-SE).

Nos dias 17/06/2009 e 19/06/2009 foram selecionados pontos na Rua XV de Novembro com características de cânion urbano, sendo medidos os pares 6a (FVC 0,26) e 2 (FVC 0,20) e os pares 3 (FVC 0,32) e 7 (FVC 0,39). O ponto 6 diferencia-se dos outros pontos por apresentar uma fonte d'água centralizada na quadra. Os pontos 6a e 6b estão em lados opostos desta.

As variáveis microclimáticas dos pontos 8 (FVC 0,37) e 16 (FVC 0,38) foram medidos no dia 13/07/2009 e embora possuam valores de FVC com diferença de 3%, possuem características distintas. O ponto 8 localiza-se em um local com configuração semelhante a de um cruzamento de vias, enquanto o ponto 16, ponto paralelo a Rua XV de Novembro, situa-se atrás do Paço Municipal, no entorno da Praça Generoso Marques.

Ressalta-se que, embora alguns pares apresentem valores de FVC semelhantes, suas configurações urbanas (regularidade na altura das edificações, ponto em cruzamento de vias, etc.) são distintas.

O monitoramento das variáveis microclimáticas ocorreu sempre em pares e simultaneamente em períodos de quatro horas (início às 11h01 e término às 15h00). No total, foram 13 dias de monitoramento ao longo dos meses de janeiro a agosto de 2009. A partir da coleta de dados microclimáticos de diferentes situações urbanas foram aplicados os procedimentos para análise das variáveis climáticas.

4.2 ANÁLISES DA RELAÇÃO ENTRE AS VÁRIAVEIS CLIMÁTICAS E O FVC

O método das medições em pares permite a comparação simultânea dos pontos, e, por conseguinte, a análise da influência das obstruções urbanas sobre os níveis de conforto térmico. Com a obtenção das variáveis microclimáticas (velocidade do vento, umidade do ar, temperatura do ar e temperatura radiante média), foi possível o cálculo dos índices de conforto PMV e PET no programa Rayman. A análise desses dados seguiu os seguintes procedimentos: análise de correlações entre os índices de conforto e as variáveis climáticas; análise dos pares de medição; análise de dias comparáveis; análise dos níveis de conforto calculado; análise de dados normalizados e análise da relação entre FVC, ilha de calor diurna, e diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$).

4.2.1 Análises de correlações entre os índices de conforto e as variáveis climáticas

A série de análises da relação entre as variáveis climáticas e o fator de visão do céu parte da escolha do parâmetro meteorológico com melhor correlação

com os índices de conforto selecionados. Foram feitas avaliações das relações entre os índices de conforto PMV e PET com as seguintes variáveis climáticas: velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa, temperatura do ar e temperatura radiante média. A Tabela 8 e a Tabela 9 apresentam os valores médios de cada variável, considerando o período de monitoramento (11h01 até 15h00), e os resultados das correlações (R).

Tabela 8 – Correlações entre o PMV e as variáveis climáticas

Data	Pto.	Velocidade do vento		Radiação Solar		Umidade Relativa		Ta		Trm	
		média	R	média	R	média	R	média	R	média	R
09/01/2009	7	1,0	-0,45	612	0,49	47	-0,46	28,5	0,45	35,6	0,70
	2	0,9	-0,16	674	0,38	44	-0,45	29,1	0,52	37,6	0,76
25/03/2009	10	1,7	-0,48	183	0,65	55	-0,85	24,1	0,85	25,7	0,84
	3	1,1	-0,45	521	0,41	54	-0,07	24,2	0,47	32,4	0,67
01/04/2009	13	1,0	-0,45	166	0,51	52	-0,06	27,4	0,89	27,7	0,86
	2	0,9	-0,78	117	-0,23	57	-0,42	25,4	0,5	29,4	0,08
08/04/2009	4	1,2	-0,59	465	0,51	53	-0,53	26,2	0,12	35,1	0,77
	9	1,3	-0,43	324	0,66	55	-0,38	25,4	0,61	30,1	0,81
03/06/2009	4	0,9	-0,34	423	0,65	34	-0,83	13,2	0,86	22,1	0,86
	14	0,8	-0,76	656	0,13	32	-0,60	14,2	0,61	23,9	-0,04
05/06/2009	10	1,0	-0,56	46	0,63	39	-0,82	19,6	0,86	19,4	0,86
	5	1,4	-0,73	80	0,76	37	-0,85	20,3	0,89	20,9	0,92
09/06/2009	17	0,8	-0,35	212	0,37	49	-0,69	21,4	0,84	24,3	0,81
	18	1,3	-0,51	315	0,31	49	-0,50	21,1	0,67	24,2	0,65
17/06/2009	6	1,6	-0,57	40	-0,52	60	-0,69	13,8	0,77	14,0	0,75
	2	1,2	-0,67	56	0,57	59	-0,57	14,0	0,64	14,5	0,65
19/06/2009	3	0,7	-0,72	63	-0,62	62	-0,74	17,6	0,76	18,4	0,76
	7	0,7	-0,63	169	0,12	62	-0,62	17,6	0,67	21,1	0,61
13/07/2009	8	1,0	-0,49	241	0,31	58	-0,56	16,2	0,66	21,0	0,69
	16	1,0	-0,24	603	0,72	55	-0,90	17,3	0,91	21,8	0,89
11/08/2009	14	1,1	-0,42	552	0,50	64	-0,79	15,1	0,82	23,0	0,81
12/08/2009	6	1,5	-0,73	83	-0,51	66	-0,78	15,8	0,80	16,9	0,80
Correlação média		1,1	-0,5	300	0,3	52	-0,6	20,4	0,7	24,5	0,7

Fonte: Autoria própria

Tabela 9 – Correlações entre o PET e as variáveis climáticas

Data	Pto.	Velocidade do vento		Radiação Solar		Umidade Relativa		Ta		Trm	
		média	R	média	R	média	R	média	R	média	R
09/01/2009	7	1,0	-0,45	612	0,49	47	-0,46	28,5	0,45	35,6	0,70
	2	0,9	-0,16	674	0,38	44	-0,45	29,1	0,52	37,6	0,76
25/03/2009	10	1,7	-0,48	183	0,65	55	-0,85	24,1	0,85	25,7	0,84
	3	1,1	-0,45	521	0,41	54	-0,07	24,2	0,47	32,4	0,67
01/04/2009	13	1,0	-0,45	165	0,51	52	-0,06	27,4	0,89	27,7	0,86
	2	0,9	-0,78	117	-0,23	57	-0,42	25,4	0,50	29,4	0,08
08/04/2009	4	1,2	-0,59	465	0,51	53	-0,53	26,2	0,12	35,1	0,77
	9	1,3	-0,43	324	0,66	55	-0,38	25,4	0,61	30,1	0,81
03/06/2009	4	0,9	-0,20	423	0,73	34	-1,86	13,2	0,90	22,1	0,93
	14	0,8	-0,69	656	0,23	32	-0,66	14,2	0,67	23,9	0,04
05/06/2009	10	1,0	-0,50	46	0,67	39	-0,86	19,6	0,89	19,4	0,89
	5	1,4	-0,71	80	0,77	37	-0,87	20,3	0,91	20,9	0,93
09/06/2009	17	0,8	-0,32	212	0,38	49	-0,68	21,4	0,85	24,3	0,85
	18	1,3	-0,52	315	0,32	49	-0,48	21,1	0,65	24,2	0,68
17/06/2009	6	1,6	-0,42	40	-0,60	60	-0,79	13,8	0,87	14,0	0,86
	2	1,2	-0,51	56	0,68	59	-0,73	14,0	0,80	14,5	0,81
19/06/2009	3	0,7	-0,63	63	-0,69	62	-0,83	17,6	0,84	18,4	0,84
	7	0,7	-0,50	169	0,23	62	-0,59	17,6	0,65	21,1	0,73
13/07/2009	8	1,0	-0,41	241	0,41	58	-0,52	16,2	0,63	21,0	0,79
	16	1,0	-0,14	603	0,74	55	-0,95	17,3	0,96	21,8	0,94
11/08/2009	14	1,1	-0,30	552	0,55	64	-0,87	15,1	0,89	23,0	0,89
12/08/2009	6	1,5	-0,67	83	-0,56	66	-0,84	15,8	0,86	16,9	0,85
Correlação média		1,1	-0,5	300	0,3	52	-0,8	20,4	0,8	24,5	0,8

Fonte: Autoria própria

No tocante às variáveis velocidade do vento e umidade relativa do ar, observa-se que as relações destas com as demais variáveis são sempre inversas. A correlação média da umidade relativa com o índice PMV foi de -0,6, sendo mais significativa para o índice PET ($R = -0,8$). Considerando a velocidade do vento, as correlações mostram que nem sempre o vento é um fator amenizador da sensação de calor em dias com temperaturas elevadas, já que as correlações em alguns dias

foram baixas, como no ponto 2, medido no dia 09/01/2009. A correlação média da velocidade do vento com os índices de conforto PMV e PET foi de -0,5.

A partir das correlações dos índices de conforto com a temperatura do ar (T_a) e com a temperatura radiante média (T_{rm}), percebem-se duas tendências distintas, tanto para o índice PMV como para o índice PET. Em geral, principalmente nos dias de monitoramento com temperaturas mais elevadas, a correlação com a T_{rm} sobressaiu entre as demais variáveis, inclusive em relação a T_a , como no dia 09/01/2009. Em contrapartida, nos dias com temperaturas mais baixas, as correlações dos índices PMV e PET com as variáveis T_a e T_{rm} apresentaram valores semelhantes, como no dia 17/06/2009.

Nota-se, inclusive, que até o mês de abril, quando a T_a e a T_{rm} obtiveram valores mais altos, a correlação entre estas variáveis e o PMV foi idêntica às correlações entre as mesmas e o PET.

Desta forma, embora a T_a seja relevante para a determinação dos níveis de conforto térmico, escolheu-se a T_{rm} para este estudo, por haver uma melhor correlação desta com os índices de conforto selecionados, principalmente em dias com temperaturas elevadas. Esta constatação corrobora com a afirmação de Matzarakis, Mayer e Rutz (2002), ao ressaltarem que durante o período de verão, a T_{rm} é a variável climática mais importante na equação de balanço térmico, conforme já citado no Capítulo 2. A temperatura radiante média serviu, inicialmente, de parâmetro para a análise dos pares de medição.

4.2.2 Análise dos pares de medição

Espera-se que, em condições diurnas, pontos com maiores valores de FVC apresentem T_{rm} mais elevadas devido à maior exposição das superfícies urbanas à radiação solar. Assim, as análises que se seguem partem deste pressuposto. A Tabela 10 apresenta as diferenças percentuais de FVC entre os pares de medição, além das diferenças (em °C) entre as médias de T_a e T_{rm} do período selecionado.

Na medição do dia 09/01/2009, o valor de FVC do ponto 7 (FVC 0,39) foi 49% maior que o valor de FVC do ponto 2 (FVC 0,20). A diferença das médias de T_{rm} entre estes pontos foi de 2 °C, sendo a maior T_{rm} verificada no ponto 7. Para

estas situações urbanas, o pressuposto foi verificado de forma positiva. Da mesma maneira, no dia 25/03/2009, o ponto com maior valor de FVC (ponto 3, FVC 0,32) apresentou, também, maior média de Trm, sendo de 6,7 °C a diferença em relação ao ponto mais obstruído (ponto 10, FVC 0,30). Em contrapartida, no dia 01/04/2009, quando foi monitorado o ponto 13 (FVC 0,22), localizado na Rua Saldanha Marinho, em comparação com o ponto 2 (FVC 0,20), situado na Rua XV de Novembro, o maior valor de Trm foi registrado no ponto 2, cujo valor de FVC é 9% menor que o ponto 13. Neste caso, a velocidade do vento exerceu influência significativa na determinação dos níveis de conforto. Conforme a Tabela 8 e a Tabela 9, no ponto 2, monitorado no dia 01/04/2009, a maior correlação dos índices PMV e PET foi com a velocidade do vento ($R=-0,78$), sendo a correlação dos índices de conforto com a Trm praticamente nula no ponto 2 ($R= 0,08$).

Tabela 10 – Diferenças de FVC, Ta e Trm entre os pares de medição

Data	Ponto	FVC	Dif FVC %	Ta °C	Dif Ta °C	Trm °C	Dif Trm °C
09/01/2009	2	0,20	49	28,5	0,6	35,6	2,0
	7	0,39		29,1		37,6	
25/03/2009	10	0,30	6	24,1	0,1	25,7	6,7
	3	0,32		24,2		32,4	
01/04/2009	13	0,22	9	27,4	-1,9	27,7	1,8
	2	0,20		25,4		29,4	
08/04/2009	4	0,34	15	26,2	-0,8	35,1	-5,1
	9	0,29		25,4		30,1	
06/05/2009	4	0,34	38	23,7	0,2	31,2	1,8
	14	0,55		23,8		33,0	
03/06/2009	4	0,34	38	13,2	0,9	22,1	1,8
	14	0,55		14,2		23,9	
05/06/2009	10	0,30	27	19,6	0,7	19,4	1,5
	5	0,22		20,3		20,9	
09/06/2009	17	0,21	30	21,4	-0,3	24,3	-0,1
	18	0,30		21,1		24,2	
17/06/2009	6a	0,26	23	13,8	0,2	14,0	0,6
	2	0,20		14,0		14,5	
19/06/2009	3	0,32	18	17,6	-0,1	18,4	2,6
	7	0,39		17,6		21,1	
13/07/2009	8	0,37	3	16,2	1,1	21,0	0,8
	16	0,38		17,3		21,8	

Fonte: Autoria própria

Na medição do dia 08/04/2009 foram abrangidos o ponto 4 (FVC 0,34) e o ponto 9 (FVC 0,29), caracterizados por um cruzamento de vias e por um cânion

urbano, respectivamente. O ponto situado no cruzamento, com maior valor de FVC, apresentou T_{rm} mais elevada. Nos dias 06/05/2009 e 03/06/2009, foram monitorados os mesmos pontos 4 (FVC 0,34) e 14 (FVC 0,55), e percebe-se que a mesma diferença de T_{rm} (1,8 °C) foi mantida entres estes dias, sendo que o ponto 14, caracterizado por estar exposto a radiação solar durante todo o período de medição, obteve maior média de T_{rm} .

No dia 05/06/2009, o ponto 5 (FVC 0,22) cujo FVC era menor que o par de medição correspondente (ponto 10, FVC 0,30) apresentou T_{rm} 1,5 °C mais elevada, isto é, não verifica-se a correspondência esperada entre o valor de FVC e o valor de T_{rm} . Esta situação decorre da questão de sombreamento e albedo, explicada no item 4.3.

No dia 09/06/2009, a diferença de T_{rm} entre os pontos 17 (FVC 0,21) e 18 (FVC 0,30) foi insignificante (0,1 °C), embora a diferença nos valores de FVC tenha sido de 32%. No dia 17/06/2009, o ponto 6a (FVC 0,26) e o ponto 2 (FVC 0,20) apresentam diferença no valor de FVC de 30%, sendo pouca a diferença de T_{rm} entre esse par (0,5 °C). Assim como na medição do dia 05/06/2009, as duas medições subseqüentes, dias 09/06/2009 e 17/06/2009, embora tenham registrado pouca diferença de T_{rm} entre os pontos medidos, não corroboraram com o pressuposto especulado inicialmente. Esta constatação é verificada novamente na medição do dia 13/07/2009. O ponto 8 (FVC 0,37) e o ponto 16 (FVC 0,38) apresentam pouca diferença no valor de FVC, e, por conseguinte, a diferença de T_{rm} (0,8 °C), maior no ponto 16, também foi insignificante.

No dia 19/06/2009, o ponto 7 (FVC 0,39) com valor de FVC 18% maior que o ponto 2 (FVC 0,20), apresentou T_{rm} 2,5 °C maior que este ponto.

Os dias 11/08/2009 e 12/08/2009 não fazem parte da avaliação em pares.

Analisando de maneira sucinta a relação do FVC com a T_a , percebe-se, de maneira geral, que a diferença de T_a entre os pares de medição foi sutil, em geral, abaixo de 1 °C. Os dias 01/04/2009 e 13/07/2009 foram os que apresentaram maior diferença de T_a entre os pontos medidos (1,9 °C e 1,1 °C, respectivamente) e, no entanto, há pouca diferença no valor de FVC entre os pares.

Em geral, os dados apresentados foram coerentes com o pressuposto de que o ponto com maior valor de FVC apresentaria, conseqüentemente, maior valor de T_{rm} . Dentre os 13 dias medidos, as exceções foram os dias:

- 01/04/2009: dia anômalo em decorrência da influência da velocidade do vento;
- 05/06/2009: influência do sombreamento gerado pelas obstruções no ponto 5;
- 09/06/2009, 17/06/2009 e 13/07/2009: dias com diferenças pouco significativas nos valores de Trm.

Diante dos resultados, percebe-se que há uma tendência em relação aos valores de FVC e de Trm. Para uma análise mais detalhada, procurou-se entre os dias de monitoramento, aqueles nos quais o efeito da radiação não fosse superior ao efeito do FVC, sendo estabelecidos “dias comparáveis”.

4.2.3 Análise de dias comparáveis

O objetivo desta seção é analisar a influência do FVC sobre o comportamento térmico dos pontos monitorados em “dias comparáveis”, ao passo em que se analisam os níveis de conforto térmico. Em razão de algumas divergências verificadas no item anterior (4.2.2), buscaram-se entre os dias de monitoramento aqueles com menor diferença de radiação solar incidente entre os pontos, sendo de 30% o valor de referência. Por meio da Equação 7 (Capítulo 3), obteve-se a diferença relativa de radiação solar entre os pontos e o resultado, em porcentagem, pode ser visualizado na Tabela 11.

Tabela 11 – Diferenças percentuais de radiação solar incidente entre os pares de medição

(continua)

Data	Ponto	FVC	Média de Trm °C	Total de Radiação* W/m ²
09/01/2009	2	0,20	35,6	2449
	7	0,39	37,6	2696
Diferença de radiação solar incidente 9%				
25/03/2009	10	0,30	25,7	731
	3	0,32	32,4	2083
Diferença de radiação solar incidente 65%				
01/04/2009	13	0,22	27,7	662
	2	0,20	29,4	469
Diferença de radiação solar incidente -41%				

Tabela 11 – Diferenças percentuais de radiação solar incidente entre os pares de medição

(conclusão)

Data	Ponto	FVC	Média de Trm °C	Total de Radiação* W/m ²
08/04/2009	4	0,34	35,1	1859
	9	0,29	30,1	1297
Diferença de radiação solar incidente -43%				
06/05/2009	4	0,34	31,2	2006
	14	0,55	33,0	2440
Diferença de radiação solar incidente 18%				
03/06/2009	4	0,34	22,1	1693
	14	0,55	23,9	2626
Diferença de radiação solar incidente 36%				
05/06/2009	10	0,30	19,4	183
	5	0,22	20,9	319
Diferença de radiação solar incidente 43%				
09/06/2009	17	0,21	24,3	848
	18	0,30	24,2	1261
Diferença de radiação solar incidente 33%				
17/06/2009	6	0,26	14,0	160
	2	0,20	14,5	222
Diferença de radiação solar incidente 28%				
19/06/2009	3	0,32	18,4	253
	7	0,39	21,1	678
Diferença de radiação solar incidente 63%				
13/07/2009	8	0,37	21,0	966
	16	0,38	21,8	2411
Diferença de radiação solar incidente 60%				

*Total de radiação recebida por hora em cada ponto.

Fonte: Autoria própria

Os pares com menores diferenças de radiação foram, por ordem crescente dessas diferenças, os dos dias 09/01/2009, 06/05/2009 e 17/06/2009. Devido à ausência de dados relativos à velocidade do vento, descartaram-se as medições do dia 06/05/2009, e optou-se por analisar os outros dois dias.

Os Gráficos 3 e 5 correspondem às diferenças entre os valores de Trm de cada ponto (par de estações) e os valores de PMV, considerando-se os dados horários¹⁴ das 12h00 às 15h00.

No dia 09/01/2009, as medições ocorreram no ponto 2 (FVC 0,20) e no ponto 7 (FVC 0,39). Nota-se a seguinte relação entre os valores do PMV com a Trm: quando a Trm é maior no ponto 7, a diferença é positiva e os valores do PMV neste

¹⁴ Os dados horários do dia 09/01/2009 referem-se ao horário de verão.

ponto são maiores, como pode ser visto no horário das 13h05 (Gráfico 6). De maneira análoga, quando a temperatura do ponto 2 é maior, diferença negativa, os valores do PMV, para este ponto, são maiores, como é visto no horário das 12h06 até às 12h30. Ao longo do período de monitoramento, a predominância de temperaturas mais altas no local com menor obstrução à abóbada celeste (ponto 7) é nítida, sendo que ocorre uma inversão de Trm mais considerável no período próximo às 12h20. Em relação ao PMV nos pontos 2 e 7, durante a maior parte do dia, os valores ficaram na faixa entre 1,5 e 2,5 (moderado estresse térmico).

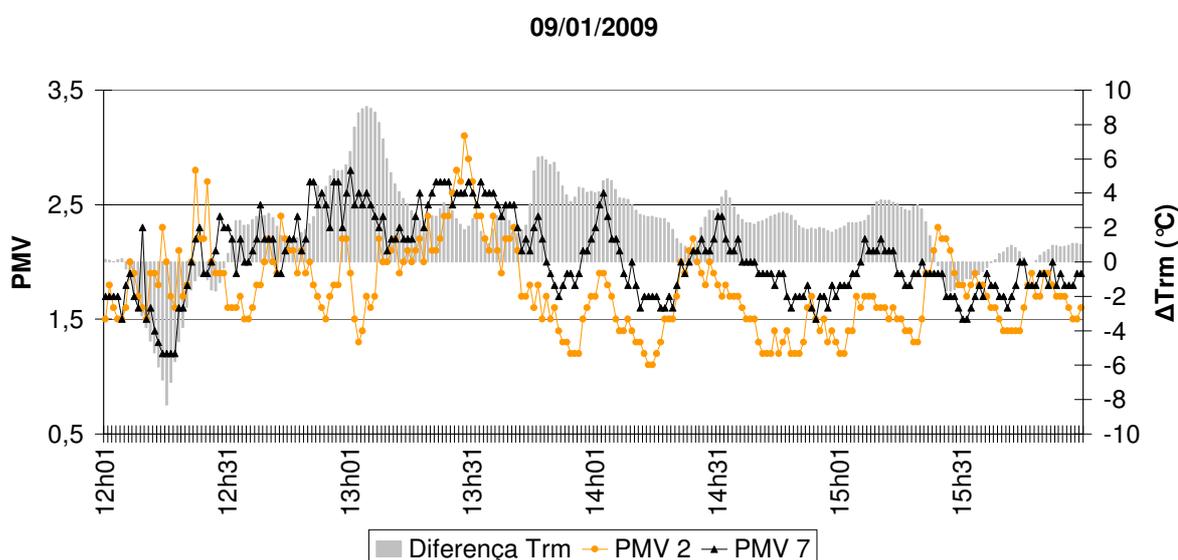
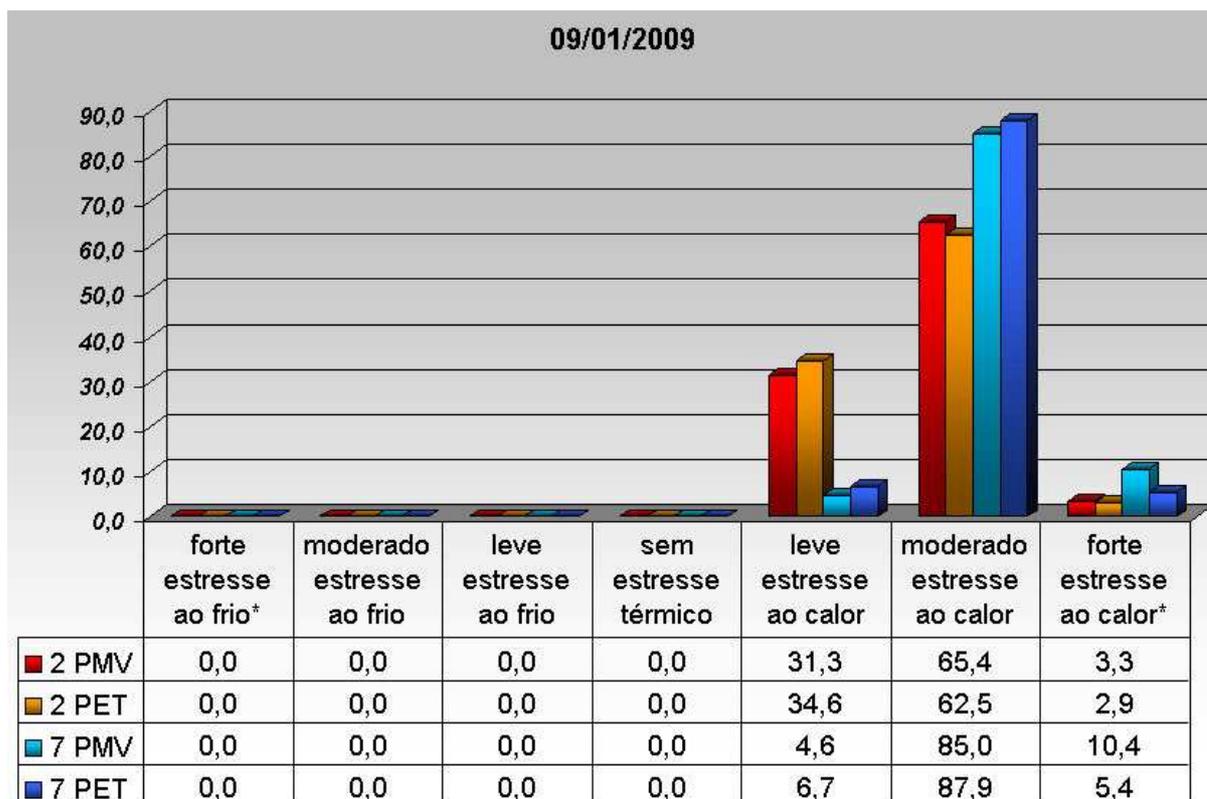


Gráfico 6 – Relação entre a diferença de Trm (ponto 7 – ponto 2) e o índice PMV

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 7 representa o grau de estresse térmico nos pontos 2 e 7 para os índices calculados PMV e PET. Como verificado anteriormente, em ambos os pontos houve maior ocorrência no grau de moderado estresse ao calor, sendo que o ponto 7, cujo FVC é maior, registrou maior desconforto que o ponto 2, considerando os valores calculados de PMV e PET. Ressalta-se que as diferenças entre os graus de estresse fisiológico foram mais acentuadas para o índice PET.



* somatório do grau forte e extremo estresse

Gráfico 7 – Grau de estresse fisiológico em votos percentuais (09/01/2009)

Fonte: Autoria própria

Nas análises dos índices calculados PMV e PET para o ponto 2, houve uma diferença próxima a 30% entre o grau de leve estresse ao calor, para o grau de moderado estresse ao calor. No ponto 7, considerando-se os índices calculados, ocorreu uma predominância significativa de mais de 80% no grau de moderado estresse ao calor.

Na medição ocorrida no dia 17/06/2009, observa-se que o ponto 6a (FVC 0,26), local com menor obstrução à abóbada celeste, apresentou valores de Trm mais baixos que o ponto 2 (FVC 0,20) em quase todo o período de medição. No entanto, a diferença de Trm entre os pontos foi insignificante (0,6 °C conforme Tabela 10), sendo positiva para o ponto 2. Por conseguinte, os valores de PMV dos pontos estão visualmente próximos (Gráfico 8), exceto em momentos específicos, como às 12h06.

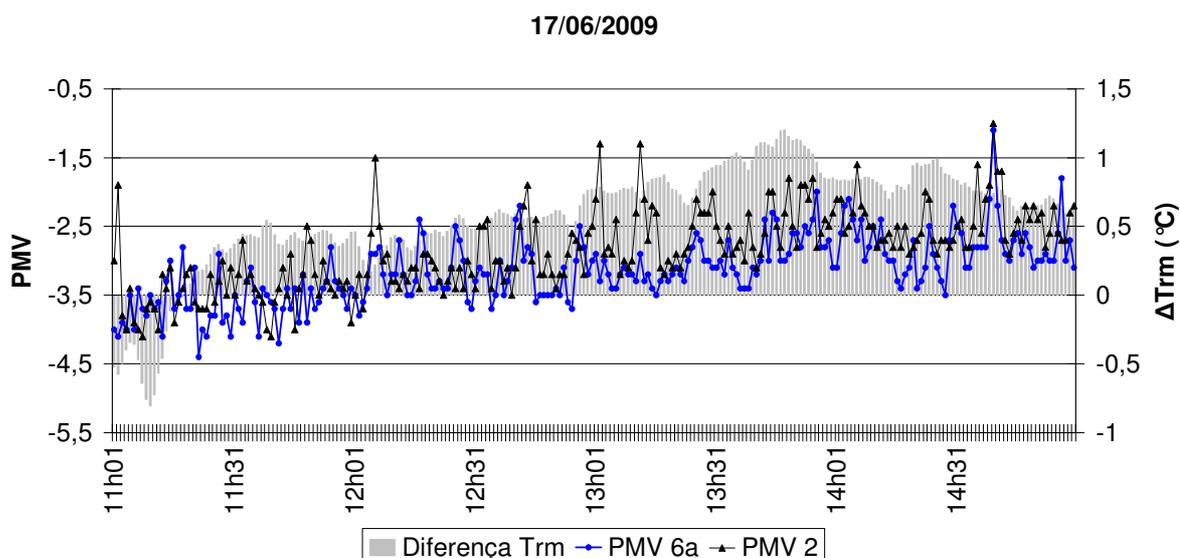
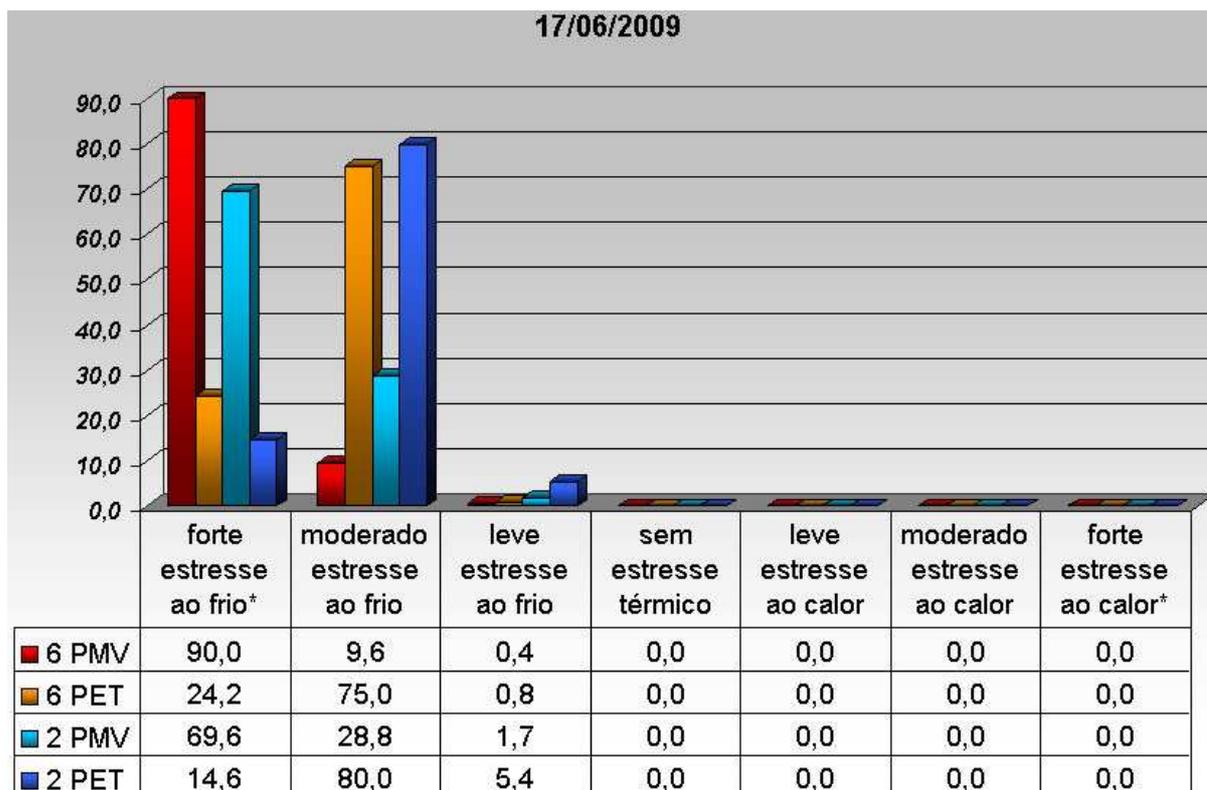


Gráfico 8 – Relação entre a diferença de Trm (ponto 6a – ponto 2) e o índice PMV

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 9 mostra que, na abordagem do índice PMV, a maior concentração de votos calculados é na faixa de forte e extremo estresse ao frio (90% no ponto 6a e 69,6% no ponto 2), enquanto, para o índice PET, a predominância é em moderado estresse ao frio (75% no ponto 6a e 80% no ponto 2). Não foram registrados votos na faixa de conforto pelos índices calculados.



* somatório do grau forte e extremo estresse

Gráfico 9 – Grau de estresse fisiológico em votos percentuais (17/06/2009)

Fonte: Autoria própria

Por meio de uma análise conjunta dos Gráficos 7 e 9, percebe-se que no dia em que a temperatura era mais elevada, caso do dia 09/01/2009, os índices PMV e PET apresentaram maior semelhança entre si, enquanto que no dia com temperaturas mais baixas, 17/06/2009, houve uma diferença considerável entre os votos calculados por cada índice. Esta análise corrobora com a verificação citada no item 4.2.1, segundo a qual, até o mês de abril, quando a T_a e a T_{rm} registraram valores mais altos, as correlações entre estas variáveis e os índices PMV e PET foram idênticas. Para o restante dos dias monitorados, foram feitas análises do nível de conforto calculado.

4.2.4 Análise do nível de conforto calculado

As Tabelas 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 referem-se à análise de conforto calculado pelos índices PMV e PET (dados em porcentagem) para os demais pares de medições e permitem relacionar o FVC com os níveis de conforto.

No dia 25/03/2009 registraram-se temperaturas elevadas, sendo a média de T_{rm} no ponto 10 (FVC 0,30) de 25,7 °C e de 32,4 °C no ponto 3 (FVC 0,32) (ver Tabela 8). Logo, conforme Tabela 12, verifica-se que o ponto 10, com menor valor de FVC apresentou maior conforto que o ponto 3, sendo que a predominância de conforto calculado para os índices PMV e PET no ponto 10 é de mais de 80%. No ponto 3, em relação ao índice PMV, houve uma distribuição de certa forma equilibrada entre os graus de conforto (51,7%) e o de leve estresse ao calor (48,3%). Porém, na análise do índice PET, esta diferença é de quase 40% entre estes parâmetros.

Tabela 12 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (25/03/2009)

	Data	25/03/2009			
		Índices		PET	
		Ponto	PMV	PMV	PET
		10	3	10	3
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	leve estresse ao frio	7,1	0,0	3,8	0,0
	sem estresse térmico	84,2	51,7	86,7	30,4
	leve estresse ao calor	8,8	48,3	9,6	69,6
	moderado estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria

No dia 01/04/2009 (Tabela 13), foram medidos pontos com FVC semelhantes e obteve-se um resultado parecido nos pontos em relação à

concentração de votos percentuais. No cálculo dos índices PMV e PET, os pontos 13 (FVC 0,22) e 2 (FVC 0,20) situaram-se predominantemente na faixa de leve estresse ao calor, com mais de 90% no ponto 13 e mais de 80% no ponto 2. A média de Trm nesses dois pontos esteve próxima de 28 °C. No ponto 2, local com maior obstrução, registrou-se maior número de votos em conforto térmico.

Tabela 13 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (01/04/2009)

	Data	01/04/2009			
	Índices	PMV		PET	
	Ponto	13	2	13	2
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	leve estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	sem estresse térmico	4,2	19,6	6,3	13,8
	leve estresse ao calor	91,3	80,4	90,4	86,3
	moderado estresse ao calor	4,6	0,0	3,3	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: A autoria própria

No dia 08/04/2009 (Tabela 14), o desconforto foi por calor. No ponto 4 (FVC 0,34), para os índices PMV e PET, uma pequena parcela estaria em conforto (cerca de 6%), a maioria (cerca de 70%) estaria em leve estresse térmico e mais de 20% estariam em desconforto moderado. Nota-se ainda que neste ponto uma pequena parcela encontrou-se em forte estresse ao calor. No ponto 9 (FVC 0,29), não houve tanta diferença entre os votos calculados de conforto para o de leve estresse térmico (diferença de 6,3% para o PMV e 16,2% para o índice PET), sendo poucos os votos em moderado estresse por calor (3,3% para o índice PMV e 5,8% para o índice PET) . A média de Trm foi de 35,1 °C no ponto 4 e 30,1 °C no ponto 9, e por isso a maior taxa em desconforto térmico ocorre no local de maior FVC (ponto 4), configurado como cruzamento de ruas de pedestres.

Tabela 14 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (08/04/2009)

	Data	08/04/2009			
	Índices	PMV		PET	
	Ponto	4	9	4	9
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	leve estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	sem estresse térmico	6,3	45,2	6,7	39,0
	leve estresse ao calor	71,3	51,5	64,6	55,2
	moderado estresse ao calor	21,7	3,3	28,3	5,8
	forte estresse ao calor	0,8	0,0	0,4	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autoria própria

No dia 03/06/2009 (Tabela 15) ocorreu variação considerável na sensação estimada de conforto ao longo dia. No ponto 4 (FVC 0,34), considerando o índice PMV, a maior concentração de votos calculados foi em moderado estresse ao frio (40%). O restante dividiu-se em forte estresse (22,5%), leve estresse (23,3%) e conforto (2,1%). Este mesmo ponto, na análise a partir do índice PET, recebeu maior concentração de votos em leve estresse ao frio (44,6%). A discrepância entre os índices pode ser verificada também no ponto 14 (FVC 0,55), pois, enquanto para o índice PMV a maior concentração está em moderado estresse (72,5%), no cálculo do índice PET, a predominância está em leve estresse ao frio (77,9%). O par de medições deste dia englobou FVCs diferentes, sendo o maior valor médio de Trm verificado no ponto 14, com diferença de 1,8 °C a mais que no ponto 4 (Tabela 10). Desta forma, o ponto 14 por estar localizado em um espaço menos obstruído, resultou em menor desconforto por frio que o ponto 4.

Tabela 15 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (03/06/2009)

	Data	03/06/2009			
	Índices	PMV		PET	
	Ponto	4	14	4	14
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	12,1	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	22,5	8,8	21,3	0,0
	moderado estresse ao frio	40,0	72,5	25,4	19,6
	leve estresse ao frio	23,3	14,6	44,6	77,9
	sem estresse térmico	2,1	4,2	8,3	2,5
	leve estresse ao calor	0,0	0,0	0,4	0,0
	moderado estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: A autoria própria

No dia 05/06/2009 (Tabela 16), foram comparados os pontos 10 (FVC 0,30) e 5 (FVC 0,22), ou seja, FVCs com 27% de diferença de um ponto para outro.

Tabela 16 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (05/06/2009)

	Data	05/06/2009			
	Índices	PMV		PET	
	Ponto	10	5	10	5
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	32,1	37,5	1,7	7,5
	leve estresse ao frio	65,4	50,8	87,9	57,5
	sem estresse térmico	2,5	11,7	10,4	35,0
	leve estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: A autoria própria

Neste dia, na maior parte do período de medição, a faixa de conforto predominante para os índices PMV e PET foi em leve estresse ao frio. Considerando a faixa de sem estresse térmico, nota-se que o ponto 5, possui maior percentagem em conforto do que o ponto 10. Apesar do ponto 5 apresentar menor valor de FVC, a Trm registrada neste ponto foi mais elevada que no ponto 10.

No dia 09/06/2009 (Tabela 17), o local com menor FVC, ponto 17 (FVC 0,21) apresentou maior percentagem em conforto térmico do que o ponto menos obstruído, ponto 18 (FVC 0,30). A diferença média dos valores de Ta entre os pontos foi de 0,3 °C e menor ainda em relação à Trm (0,1 °C). Assim, embora as diferenças de temperatura entre os pontos sejam insignificantes, a diferença dos votos em conforto térmico entre os pares foi relevante; cerca de 30% no índice PMV e quase 20% no índice PET.

Tabela 17 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (09/06/2009)

	Data	09/06/2009			
		Índices		PET	
		Ponto	PMV	17	18
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	0,0	1,3	0,0	0,0
	leve estresse ao frio	38,8	65,0	21,7	44,2
	sem estresse térmico	60,0	33,8	73,8	54,6
	leve estresse ao calor	1,3	0,0	4,6	1,3
	moderado estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Aatoria própria

No dia 19/06/2009, foram monitorados os pontos 3 (FVC 0,32) e 7 (FVC 0,39). Os níveis de conforto calculados registraram pouca diferença entre os pares. Na Tabela 18, pode ser visto que a faixa predominante de conforto, para ambos os índices, é de leve estresse ao frio, principalmente para o índice PET.

Tabela 18 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (19/06/2009)

	Data	19/06/2009			
	Índices	PMV		PET	
	Ponto	3	7	3	7
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	0,4	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	38,8	30,4	10,0	0,4
	leve estresse ao frio	58,8	57,9	86,3	78,3
	sem estresse térmico	2,1	11,3	3,8	20,0
	leve estresse ao calor	0,0	0,4	0,0	1,3
	moderado estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: A autoria própria

Na medição do dia 13/07/2009 (Tabela 19) foram comparados os pontos 8 (FVC 0,37) e 16 (FVC 0,38).

Tabela 19 – Grau de estresse fisiológico calculado relativo aos índices PMV e PET (13/07/2009)

	Data	13/07/2009			
	Índices	PMV		PET	
	Ponto	8	16	8	16
Grau de estresse fisiológico	extremo estresse ao frio	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao frio	5,0	10,8	0,0	0,0
	moderado estresse ao frio	64,6	25,0	37,9	20,8
	leve estresse ao frio	28,8	60,8	54,6	62,5
	sem estresse térmico	1,7	3,3	7,5	16,7
	leve estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	moderado estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	forte estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0
	extremo estresse ao calor	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: A autoria própria

Observa-se que, no ponto 16, o grau de estresse térmico esteve concentrado na faixa de leve estresse térmico ao frio, enquanto, para o ponto 8, os índices apresentaram variações. Para o índice PMV, 64,6% dos votos calculados estavam em moderado estresse, enquanto para o índice PET, 54,6% verificaram-se em leve estresse térmico. Assim, embora haja semelhança do FVC nesses locais, a resposta de conforto entre os índices foi diferente.

Nas análises de conforto calculado é possível verificar que, em dias com temperaturas mais elevadas, pontos com menor obstrução da abóbada celeste acarretam em maior desconforto por calor. Em dias com temperaturas mais baixas, a situação de conforto é mais provável em pontos menos obstruídos. Ressalta-se, também, as grandes variações de temperaturas no ponto situado em cruzamento de ruas de pedestres (ponto 4), com tendência para desconforto térmico.

4.2.5 Análise de dados normalizados

Para que fosse possível uma análise geral entre FVC e Trm, considerando todos os dias de medição, os dados horários foram normalizados em relação aos dados horários da estação meteorológica fixa. Desta forma, utilizaram-se como referência os dados de temperatura do ar obtidos pelo INMET, correspondentes aos dias e horários de monitoramento. Assim, os 13 dias de medição foram divididos em três grupos:

1. grupo com temperaturas elevadas (acima de 23 °C), chamado de GRUPO 1;
2. grupo com temperaturas intermediárias (entre 20 a 23 °C), chamado de GRUPO 2;
3. grupo com temperaturas baixas (abaixo de 20 °C), chamado de GRUPO 3.

Os procedimentos para a obtenção das temperaturas radiantes médias normalizadas a partir dos fatores de normalização constam no Apêndice A.

A Tabela 20 contém os dados resumidos das variáveis climáticas de cada ponto (valor médio) para o período das quatro horas de medição, incluindo a Trm normalizada.

Tabela 20 – Variáveis climáticas e Trm normalizada

	Data	Ponto	FVC	Veloc. do vento m/s	Rad. Solar (W/m ²)	UR (%)	Ta (°C)	Trm (°C)	Trm normalizada (°C)
GRUPO 1	09/01/2009	2	0,20	1,0	612	47	28,5	35,6	33,4
	09/01/2009	7	0,39	0,9	674	44	29,1	37,6	35,3
	25/03/2009	10	0,30	1,7	183	55	24,1	25,7	23,8
	25/03/2009	3	0,32	1,1	521	54	24,2	32,4	35,0
	01/04/2009	13	0,22	1,0	166	52	27,4	27,7	27,6
	01/04/2009	2	0,20	0,9	117	57	25,4	29,4	29,4
	08/04/2009	4	0,34	1,2	465	53	26,2	35,1	35,0
	08/04/2009	9	0,29	1,3	324	55	25,4	30,1	30,0
GRUPO 2	06/05/2009	4	0,34	*	502	52	23,7	31,2	30,1
	06/05/2009	14	0,55	1,8	610	51	23,8	33,0	31,8
	05/06/2009	10	0,30	1,0	46	39	19,6	19,4	19,8
	05/06/2009	5	0,22	1,4	80	37	20,3	20,9	21,3
	09/06/2009	17	0,21	0,8	212	49	21,4	24,3	24,8
	09/06/2009	18	0,30	1,3	315	49	21,1	24,2	24,7
GRUPO 3	03/06/2009	4	0,34	0,9	423	34	13,2	22,1	27,2
	03/06/2009	14	0,55	0,8	657	32	14,2	23,9	29,7
	17/06/2009	6a	0,26	1,6	40	60	13,8	14,0	15,2
	17/06/2009	2	0,20	1,2	56	59	14,0	14,5	15,9
	19/06/2009	3	0,32	0,7	63	62	17,7	18,4	15,5
	19/06/2009	7	0,39	0,7	169	62	17,6	21,0	17,5
	13/07/2009	8	0,37	1,0	242	58	16,2	21,0	19,8
	13/07/2009	16	0,38	1,0	603	55	17,3	21,8	20,6
	11/08/2009	14	0,55	1,1	552	64	15,1	23,0	24,8
	12/08/2009	6b	0,27	1,5	83	66	15,8	16,9	15,4

Fonte: Autoria própria

Com o propósito de verificar a correlação do FVC com a Trm normalizada, foram traçados gráficos de dispersão do GRUPO 1 (Gráfico 10), GRUPO 2 (Gráfico 11) e GRUPO 3 (Gráfico 12).

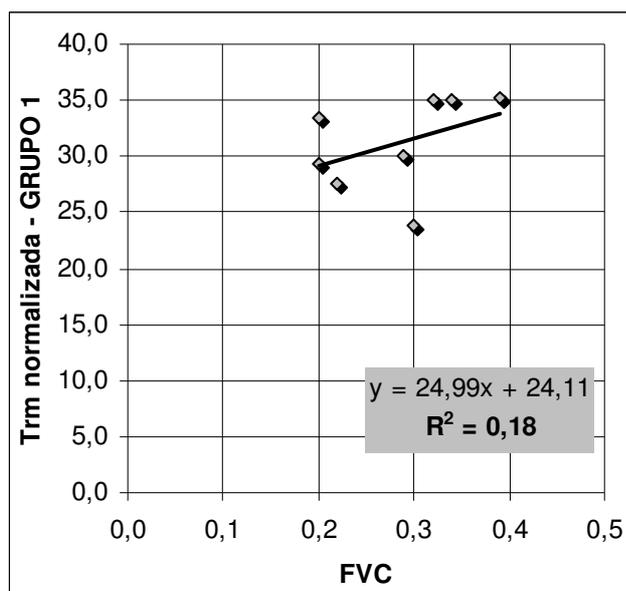


Gráfico 10 – Gráfico de Dispersão entre FVC e Trm normalizada – GRUPO 1

Fonte: Autoria própria

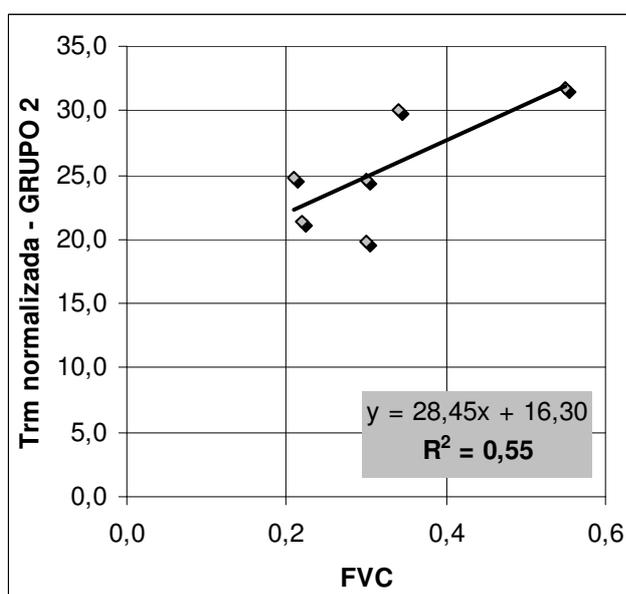


Gráfico 11 – Gráfico de Dispersão entre FVC e Trm normalizada – GRUPO 2

Fonte: Autoria própria

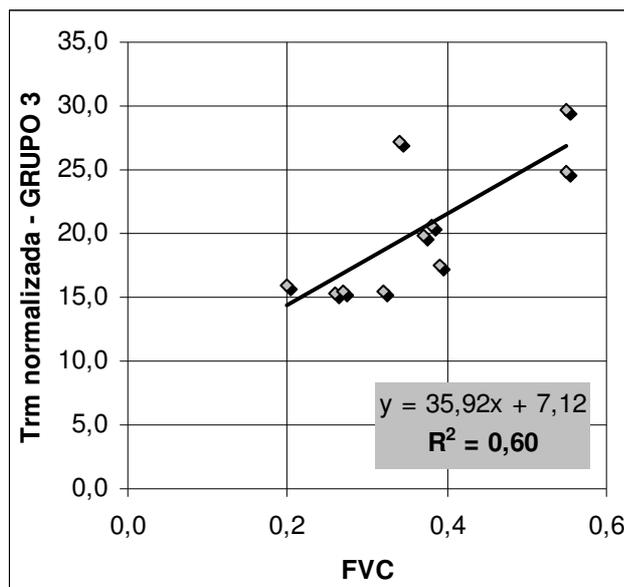


Gráfico 12 – Gráfico de Dispersão entre FVC e Trm normalizada – GRUPO 3

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 10 mostra uma correlação fraca entre o FVC e a Trm normalizada em dias com temperaturas mais elevadas (acima de 23 °C), sendo de 0,18 o coeficiente de determinação (R^2). Em dias com temperaturas intermediárias, entre 20 a 23 °C (Gráfico 11), o coeficiente de determinação foi de 0,55. Esta relação é mais expressiva em dias com temperaturas abaixo de 20 °C (Gráfico 12), sendo o $R^2 = 0,60$. Assim, conclui-se que, conforme diminuem os valores de Trm normalizada, as correlações desta variável com o FVC tendem a ser mais significativas. Percebe-se, também, que para os três grupos apresentados, as correlações são positivas e as linhas de tendência são ascendentes, isto é, conforme aumenta o valor de FVC, aumenta o valor de Trm.

Adicionalmente à análise de Trm normalizada em relação à estação de referência (INMET), foram feitas análises da relação entre FVC, ilha de calor diurna e diferenças de temperatura (Δ_{Trm-Ta}).

4.2.6 Análise da relação entre FVC, ilha de calor diurna e diferenças de temperatura

Para a verificação da existência de ilha de calor nos locais de experimento (calçada da Rua XV de Novembro e entorno), foram obtidas as diferenças entre os valores médios de T_a obtidos nos locais de monitoramento com as médias de T_a registradas pelo INMET, para todos os dias e para o período das quatro horas correspondentes às medições (12h00, 13h00, 14h00 e 15h00). Os valores das ilhas de calor e frescor diurnas podem ser visualizados na Tabela 21. Nesta, verifica-se, também, as diferenças dos valores médios de T_{rm} obtidos por meio das medições e os valores médios de T_a medidos pelo INMET ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$), durante o período de monitoramento correspondente.

Tabela 21 – FVC, Ilha de Calor e Diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$)

DATA	Ponto	FVC	Ilha Calor °C	$\Delta_{T_{rm}-T_a}$ °C
09/01/2009	2	0,20	1,5	8,6
09/01/2009	7	0,39	2,1	10,6
25/03/2009	10	0,30	0,7	2,2
25/03/2009	3	0,32	0,7	8,9
01/04/2009	13	0,22	2,0	2,3
01/04/2009	2	0,20	0,1	4,1
08/04/2009	4	0,34	0,9	9,8
08/04/2009	9	0,29	0,0	4,7
06/05/2009	4	0,34	1,3	8,8
06/05/2009	14	0,55	1,4	10,6
03/06/2009	4	0,34	0,6	9,5
03/06/2009	14	0,55	1,6	11,3
05/06/2009	10	0,30	-1,6	-1,8
05/06/2009	5	0,22	-0,9	-0,3
09/06/2009	17	0,21	0,2	3,1
09/06/2009	18	0,30	-0,1	3,0
17/06/2009	6a	0,26	-0,4	-0,3
17/06/2009	2	0,20	-0,2	0,3
19/06/2009	3	0,32	-0,8	-0,1
19/06/2009	7	0,39	-0,9	2,5
13/07/2009	8	0,37	-0,3	4,5
13/07/2009	16	0,38	0,8	5,3
11/08/2009	14	0,55	0,7	8,6
12/08/2009	6b	0,27	-1,1	-0,1

Fonte: Autoria própria

No diagrama de dispersão entre o FVC e a ilha de calor diurna (Gráfico 13), a correlação foi baixa, quase nula ($R^2 = 0,10$). Já em relação às diferenças de temperatura (Δ_{Trm-Ta}) e o FVC, o coeficiente de determinação foi de 0,35, com correlação correspondente de 0,59 (Gráfico 14). Esta constatação sinaliza que a Trm , por levar em conta os efeitos da radiação solar, está mais relacionada ao FVC do que a Ta .

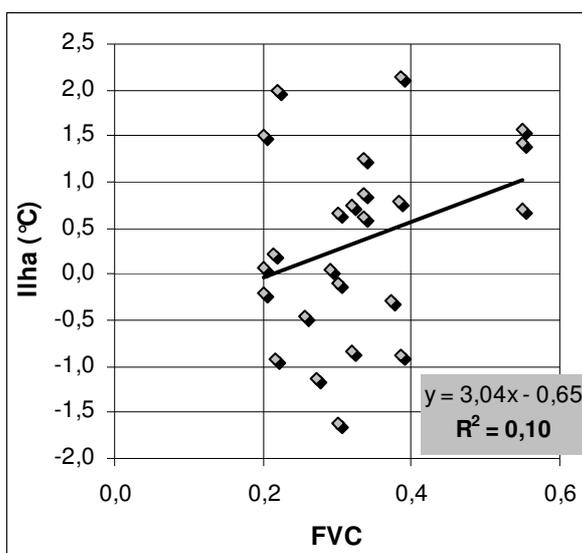


Gráfico 13 – Gráfico de dispersão entre FVC e Ilha de Calor Diurna

Fonte: Autoria própria

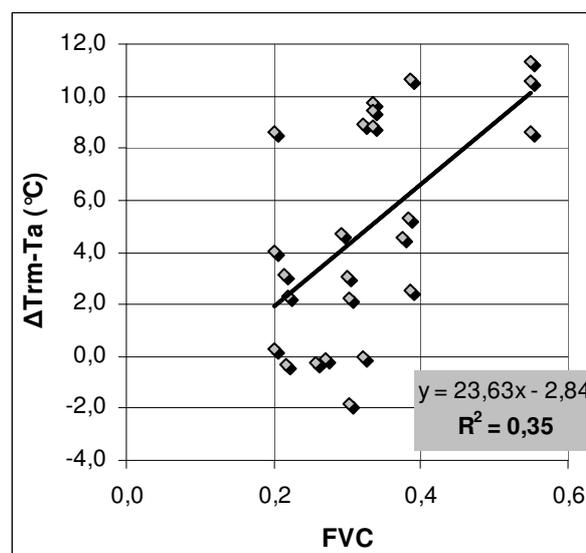


Gráfico 14 – Gráfico de dispersão entre FVC e Δ_{Trm-Ta}

Fonte: Autoria própria

Ainda em relação à análise de Trm e FVC, foram agrupados dados de Δ_{Trm-Ta} em pontos com mesmo valor de FVC, isto é, pontos repetidos durante as medições. Desta maneira, para os pontos 2 (FVC 0,20); 3 (FVC 0,32); 4 (FVC 0,34); 7 (FVC 0,39); 10 (FVC 0,30) e 14 (FVC 0,55), foram extraídos valores médios de Trm para cada um desses dias (Tabela 22).

Tabela 22 – FVCs agrupados e Diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$)

Ponto	FVC	$\Delta_{T_{rm}-T_a}$ (°C)
2	0,20	4,3
3	0,32	4,4
4	0,34	9,4
5	0,22	-0,3
6a	0,26	-0,3
6b	0,27	-0,1
7	0,39	6,6
8	0,37	4,5
9	0,29	4,7
10	0,30	0,2
13	0,22	2,3
14	0,55	10,2
16	0,38	5,3
17	0,21	3,1
18	0,30	3,0

Fonte: Autoria própria

Embora o agrupamento de dados não seja a situação ideal, para o presente estudo, o agrupamento das diferenças de valores médios de T_{rm} medidos *in loco* com as médias de T_a obtidas pelo INMET se justifica por ser a configuração urbana o parâmetro central da pesquisa, não sendo consideradas outras variáveis, como por exemplo, o albedo. Nesse caso, o coeficiente de determinação foi de 0,51 (Gráfico 15), com correlação correspondente de 0,71. É interessante notar que o ponto mais isolado em relação à linha de tendência é o ponto 4 (FVC 0,34), com $\Delta_{T_{rm}-T_a}$ de 9,4 °C, caracterizado como um cruzamento de vias de pedestres.

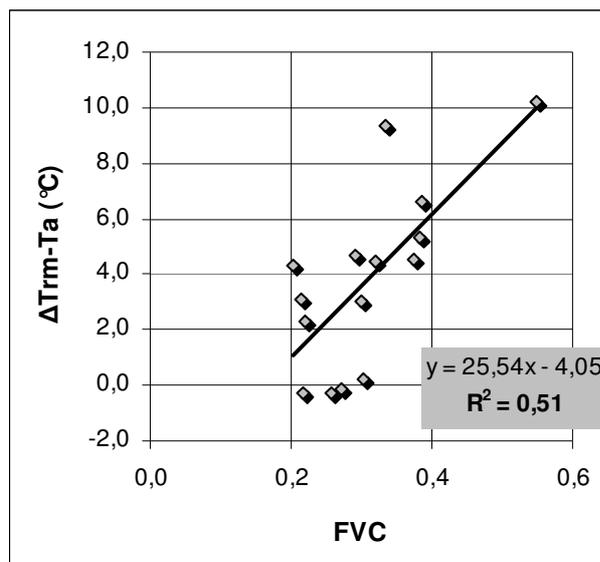


Gráfico 15 – Gráfico de dispersão entre FVC e Ilha de Calor Diurna (dados agrupados)

Fonte: Autoria própria

As análises demonstram que o FVC não é necessariamente determinante para sensação de conforto no período diurno em razão da diversidade de variáveis climáticas que influem na determinação da Ta e da Trm. Todavia, quando considerado somente o FVC, independente de outras condicionantes, percebe-se que o R^2 é mais significativo (0,51).

Sabe-se que uma das questões determinantes para os valores de Ta e Trm, é a quantidade de radiação incidente no local observado, sendo importante a análise da relação entre a radiação solar e o FVC.

4.3 RELAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO SOLAR E O FVC

A temperatura radiante média é uma importante variável no que diz respeito aos índices de conforto térmico (ver Tabelas 5 e 6), estando diretamente relacionada à radiação solar. Em condições diurnas, conforme verificado nas análises dos pares de medição (item 4.2), o fator de visão do céu, quando analisado como um parâmetro isolado, não é capaz de prever as condições térmicas de um determinado local, uma vez que a quantidade de radiação solar influencia sobremaneira os valores de Trm. No entanto, uma análise conjunta do FVC e da

radiação solar pode fornecer resultados mais precisos quanto ao nível de conforto térmico.

A carta solar sobreposta à foto olho de peixe indica o período de incidência solar no ponto durante todo o ano. A análise da trajetória solar nos pontos monitorados abrangeu o período dos meses de janeiro, março, abril, junho, julho e agosto.

A Figura 28 mostra a trajetória solar do ponto 2 (FVC 0,20) e do ponto 7 (FVC 0,39), monitorados no dia 09/01/2009. Nota-se que o ponto 2 recebe sol das 9h00 até às 16h00. Considerando-se o período de medição, das 11h01 até às 15h00, o total de radiação incidente nesse ponto foi de 2449 W/m² (ver Tabela 11). No ponto 7, o período de incidência de radiação solar abrange o intervalo das 8h00 até às 16h00, sendo considerável o somatório de radiação incidente no período de monitoramento (2696 W/m²). Nestes dois pontos, os valores de FVC são diferentes, sendo um o dobro do outro, sendo que o ponto menos obstruído, ponto 7, recebe uma hora de sol a mais que o ponto 2.

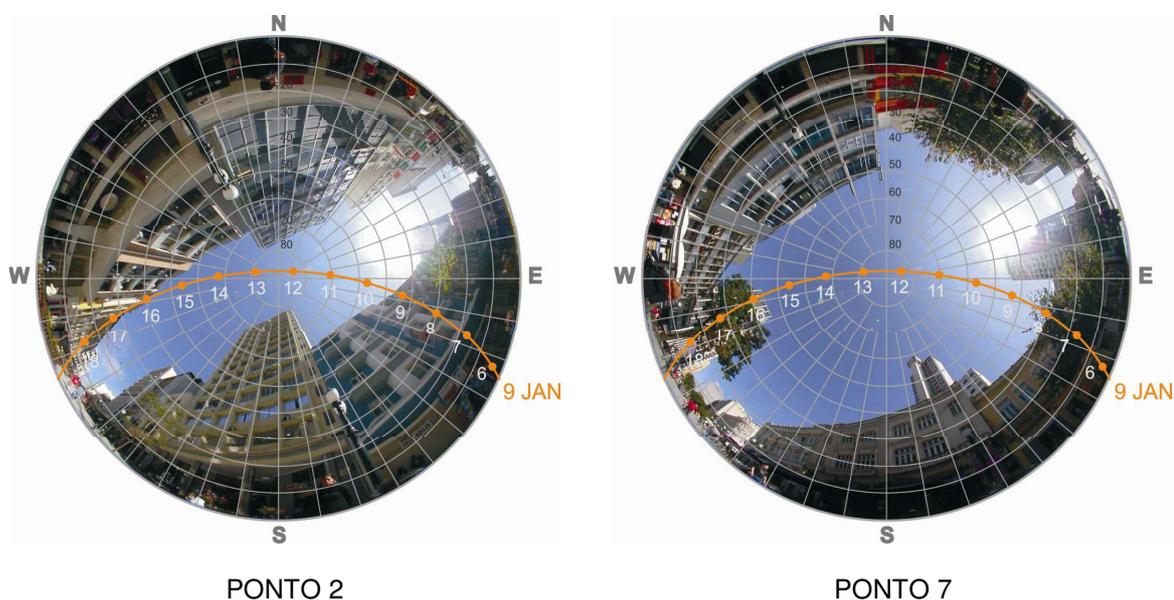


Figura 28 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 2 e 7

Fonte: Autoria própria

No dia 25/03/2009, as medições foram realizadas nos pontos 10 (FVC 0,32) e 3 (FVC 0,30). A Figura 29 mostra que, durante todo o período de monitoramento, o ponto 3 recebe incidência solar, enquanto o ponto 10 sofre

influência do sombreamento gerado pelas obstruções do entorno (edifícios e vegetação).

Nos pontos 10 e 3, apesar dos valores de FVC serem semelhantes, em decorrência da geometria urbana, há 65% de diferença nos valores de radiação solar incidente nos pontos (Tabela 11). A quantidade de radiação incidente no ponto 10 foi de 731 W/m^2 , enquanto no ponto 3 foi de 2083 W/m^2 .

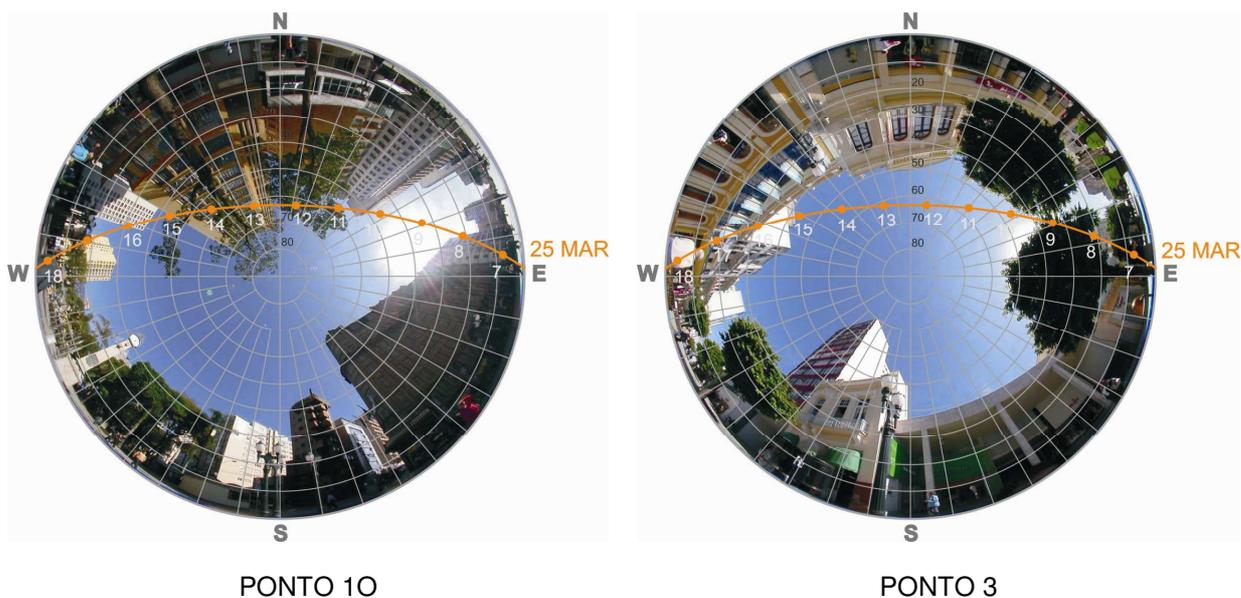


Figura 29 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 10 e 3

Fonte: Autoria própria

A Figura 30 apresenta a sobreposição da carta solar nas fotos olho de peixe dos pontos 13 (FVC 0,22) e 2 (FVC 0,20), monitorados no dia 01/04/2009. Observa-se que o ponto 13, até às 12h00, permanece desobstruído e, portanto, sem sombreamento.

No ponto 2, o mesmo ocorre até às 10h30. Considerando-se o período de monitoramento, enquanto o ponto 13 recebe uma hora de sol (11h01 até 12h00), o ponto 2 não recebe incidência solar direta. Assim, embora os valores de FVC nos pontos sejam semelhantes, o período de radiação incidente é maior no ponto 13 ($I_g = 662 \text{ W/m}^2$) do que no ponto 2 ($I_g = 469 \text{ W/m}^2$).

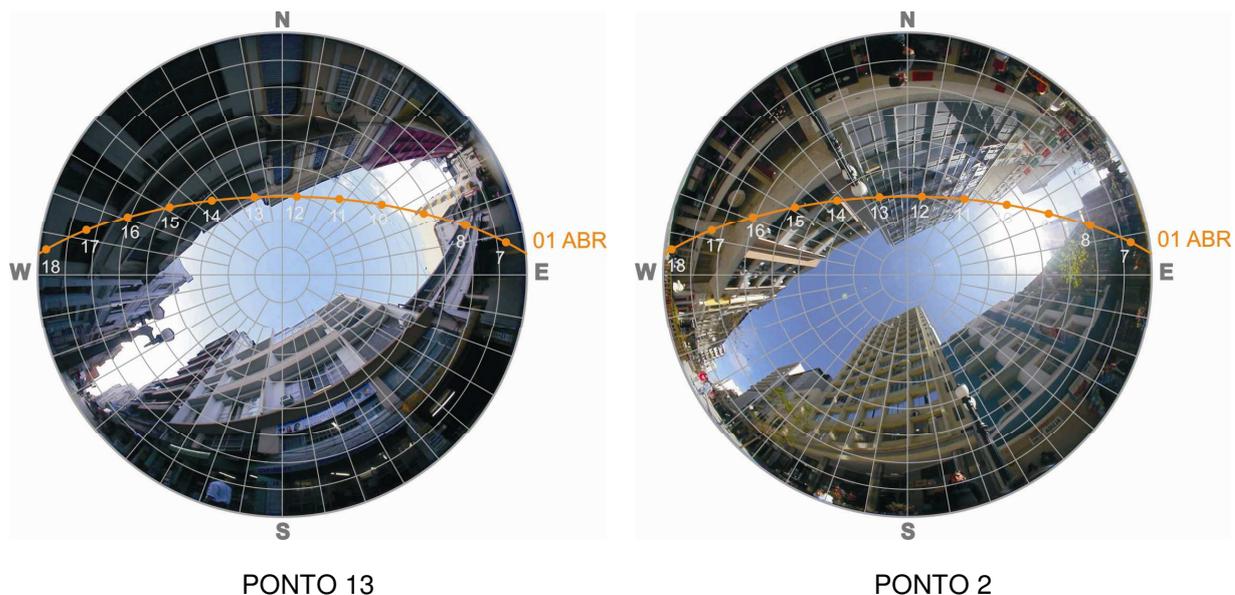


Figura 30 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 13 e 2

Fonte: Autoria própria

As medições do dia 08/04/2009 ocorreram nos pontos 4 e 9. Conforme a Figura 31, o ponto 4 (FVC 0,34) recebe radiação solar, aproximadamente, até às 14h30, resultando em trinta minutos de sombreamento durante a medição.

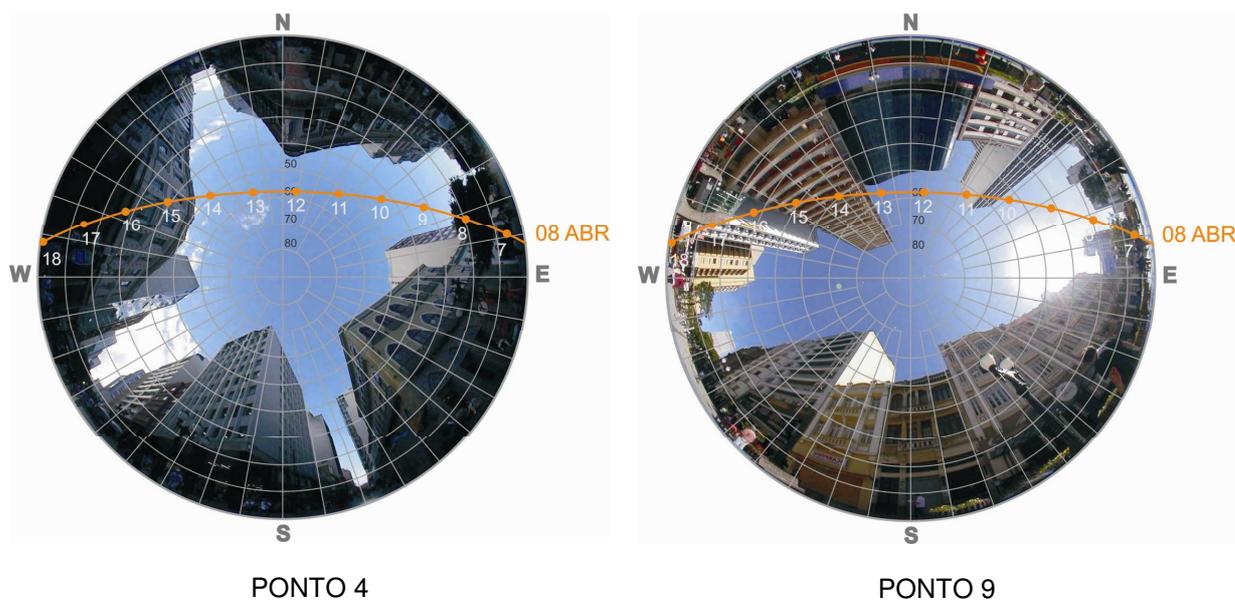


Figura 31 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 4 e 9

Fonte: Autoria própria

Já o ponto 9 (FVC 0,29) recebe radiação solar no intervalo das 11h00 até às 13h00. Novamente os valores de FVC são semelhantes nestes pontos, embora o perfil das obstruções seja diferente, assim como o total de radiação recebida ($I_g = 1859 \text{ W/m}^2$, ponto 4 e $I_g = 1297 \text{ W/m}^2$, ponto 9).

As variáveis climáticas do ponto 4 foram medidas novamente no dia 03/06/2009, mas em comparação com o ponto 14 (Figura 32). As configurações urbanas destes pontos são bem distintas, pois enquanto o ponto 4 (FVC 0,34) situa-se em um cruzamento, o ponto 14 (FVC 0,55) situa-se em uma praça seca.

O ponto 4 encontra-se em situação de sombreamento logo no início da medição (11h01) até às 12h00 e, novamente, após às 14h30. O ponto 14 sofre influência da radiação solar direta durante todo o período de monitoramento. Estas situações urbanas refletem no total de radiação incidente, sendo de 1693 W/m^2 no ponto 4 e de 2626 W/m^2 no ponto 14.

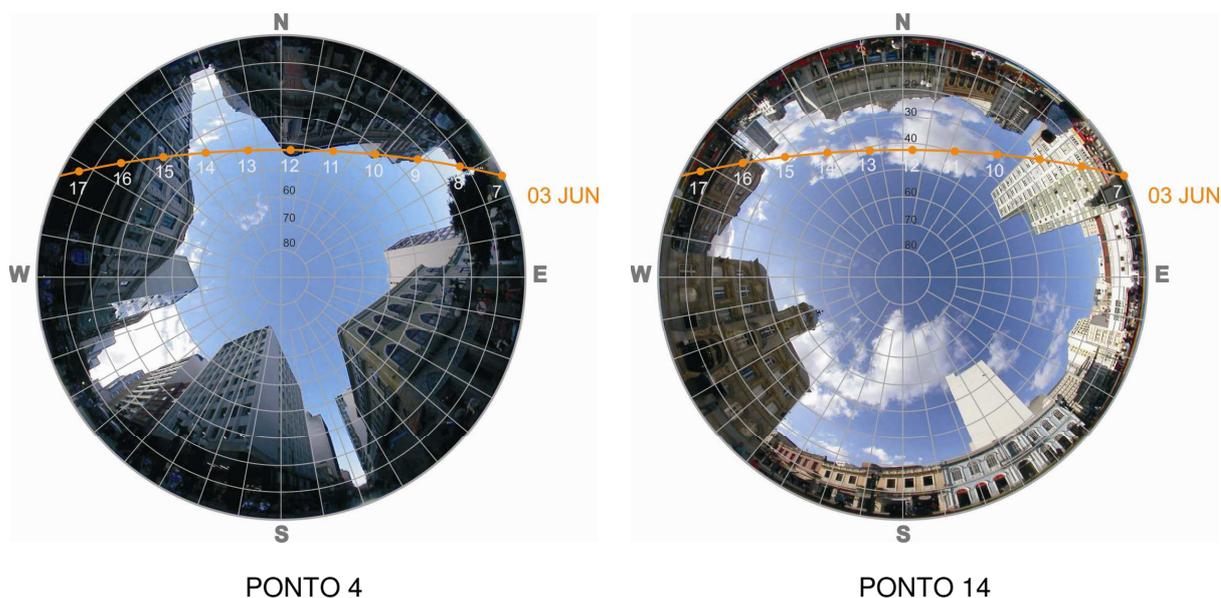


Figura 32 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 4 e 14

Fonte: Autoria própria

No dia 05/06/2009, as medições ocorreram no ponto 10 (FVC 0,30) e no ponto 5 (FVC 0,22), conforme Figura 33. No ponto 10, durante todo o dia, há influências das obstruções e o ponto permanece na sombra ($I_g = 183 \text{ W/m}^2$).

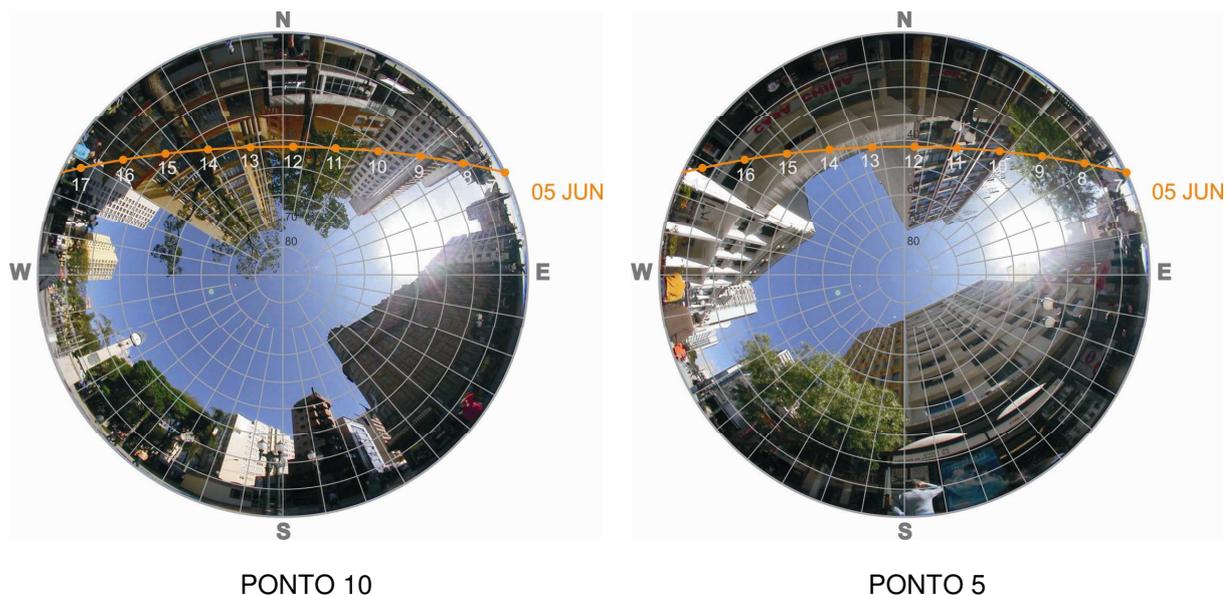


Figura 33 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 10 e 5

Fonte: Autoria própria

No ponto 5, no período das 8h00 até às 9h00, a radiação solar é interceptada parcialmente por vegetação, no período restante, o ponto permanece na sombra. Soma-se a este fato, a questão da influência da radiação solar refletida pelas edificações, uma vez que a largura da via no ponto 5 é menor do que no ponto 10. Desta forma, o ponto 5 recebe maior quantidade de radiação solar ($I_g = 319 \text{ W/m}^2$) que o ponto 10, embora o valor do FVC seja menor.

Os pontos 17 e 18 (Figura 34) apresentam orientação em relação ao norte distinta dos demais pontos (NW-SE). O ponto 18 (FVC 0,30) é menos obstruído que o ponto 17 (FVC 0,21). As medições nestes pontos ocorreram no dia 09/06/2009. O ponto 17 recebe radiação solar por, aproximadamente, quarenta minutos (período das 13:50 até as 14:30), sendo o total de radiação de 848 W/m^2 . O ponto 18, recebe radiação solar no intervalo das 11h00 até às 12h20 e, posteriormente, no intervalo das 14h30 até o final do monitoramento. No período de medição, a quantidade de radiação solar foi de 1261 W/m^2 .

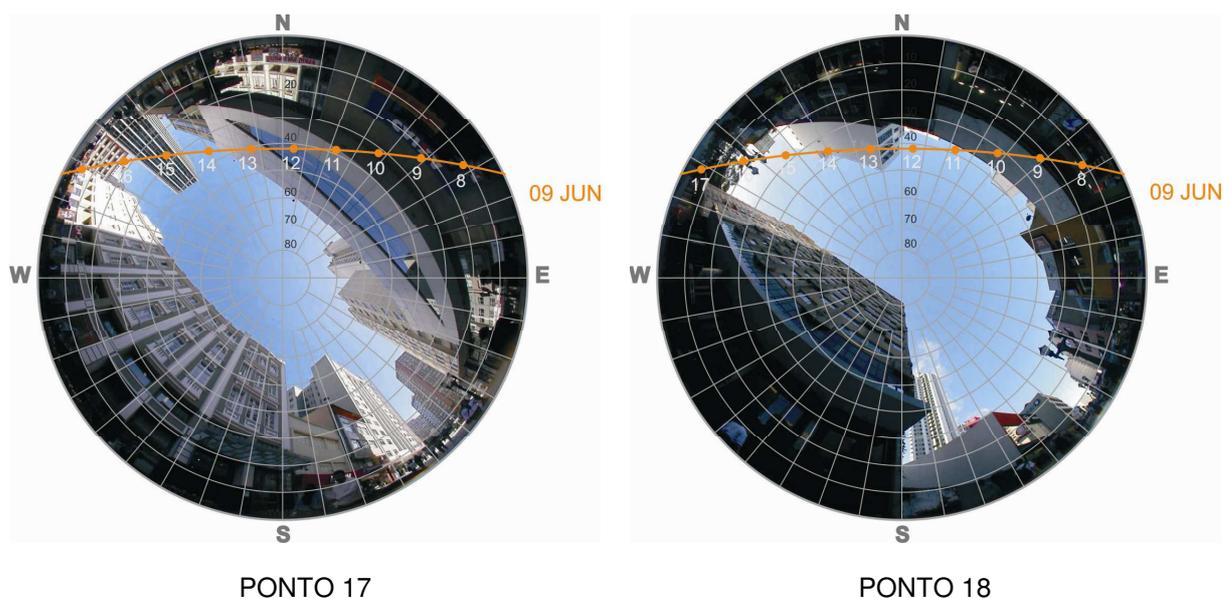


Figura 34 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 17 e 18

Fonte: Autoria própria

O ponto 6a (FVC 0,26) e o ponto 2 (FVC 0,20), foram locais de medição no dia 17/06/2009 (Figura 35) e verifica-se que, durante todo o período de monitoramento, ambos permanecem na sombra, sem influência direta da radiação solar.

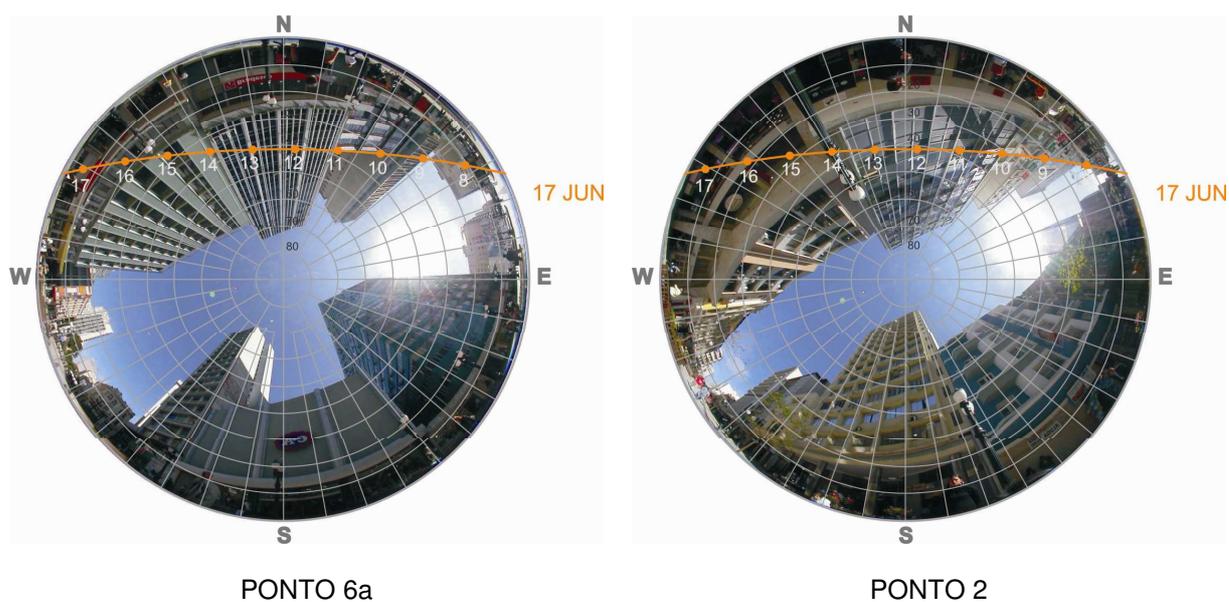


Figura 35 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 6a e 2

Fonte: Autoria própria

A diferença de radiação solar incidente nos pontos 6a ($I_g = 160 \text{ W/m}^2$) e 2 ($I_g = 222 \text{ W/m}^2$) é de 28%, sendo maior no ponto 2. Este fato demonstra a contribuição da abóbada celeste (radiação difusa) e as influências das reflexões da radiação recebida na área vertical edificada (em função do albedo).

O ponto 3 (FVC 0,32) e o ponto 7 (FVC 0,39) possuem valores de FVC semelhantes e foram medidos no dia 19/06/2009. Na análise da trajetória solar, percebe-se que, enquanto o ponto 3 permanece na sombra durante as quatro horas de coleta de dados, o ponto 7 recebe radiação solar direta das 11h01 até às 12h30 (Figura 36). Assim, a radiação solar neste ponto ($I_g=678 \text{ W/m}^2$), foi maior que no ponto 3 ($I_g=253 \text{ W/m}^2$).

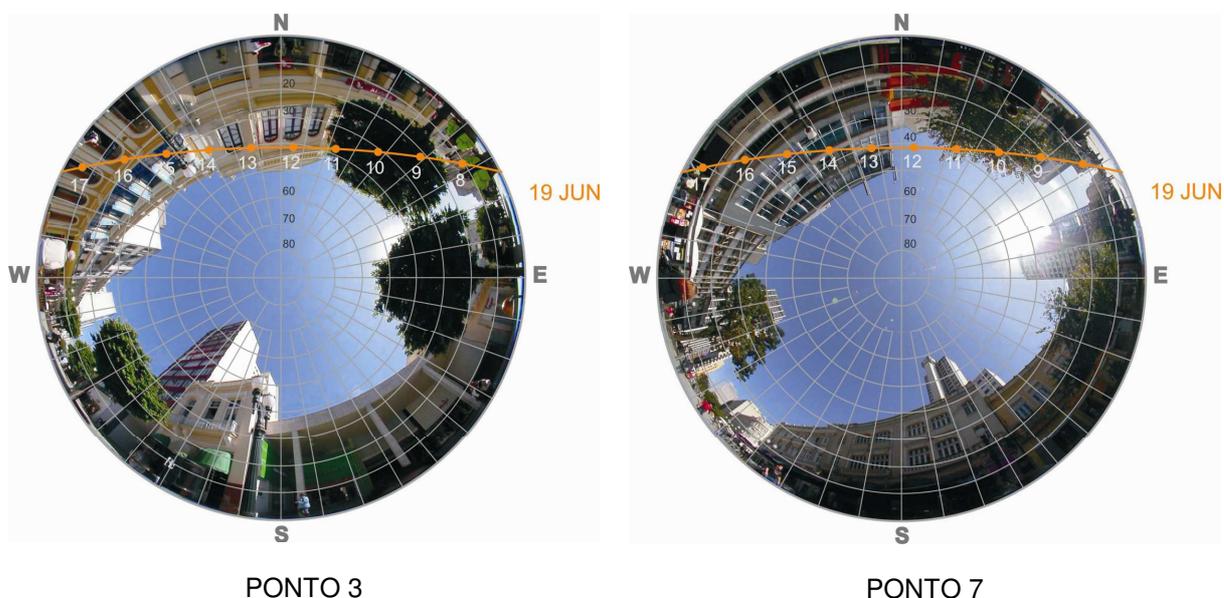


Figura 36 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 3 e 7

Fonte: Autoria própria

No dia 13/07/2009, as medições concentraram-se no ponto 8 (FVC 0,37) e ponto 16 (FVC 0,38). O valor de FVC nestes pontos é semelhante, embora a configuração urbana seja distinta. No ponto 8, durante o período de medição, há sombreamento no intervalo das 12h00 até às 13h00, e das 13h30 até o restante do dia, totalizando $I_g = 966 \text{ W/m}^2$. Já o ponto 16 permanece na sombra durante a parte da manhã, até às 12h00, enquanto no período da tarde, o ponto recebe radiação solar direta ($I_g = 2411 \text{ W/m}^2$), conforme Figura 37.

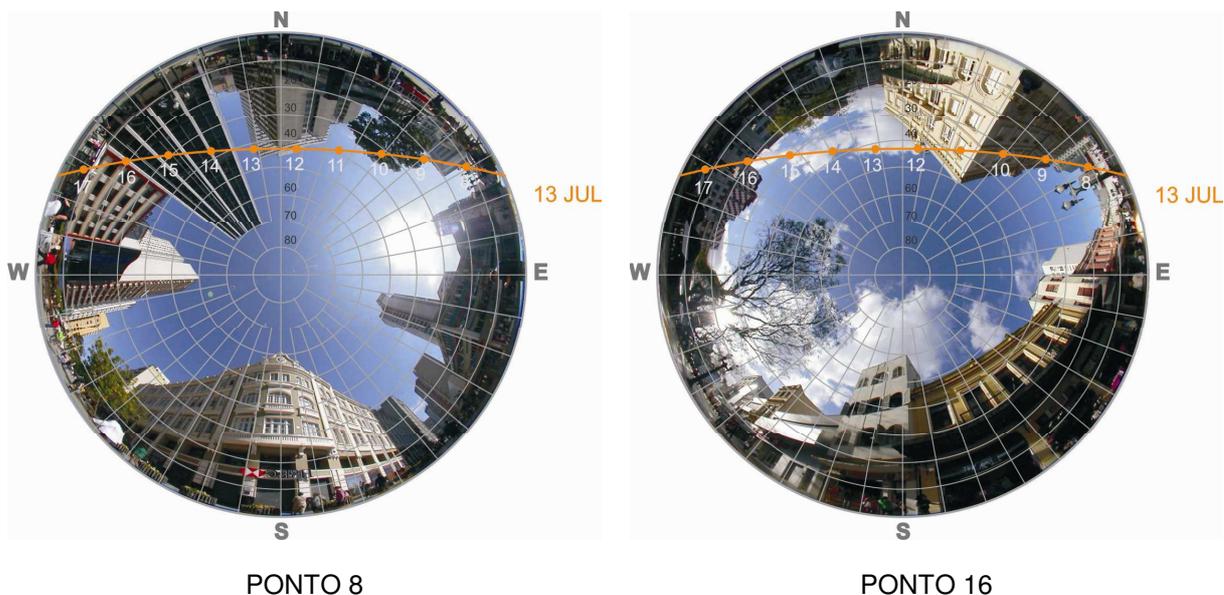


Figura 37 – Foto olho de peixe com carta solar para os pontos 8 e 16

Fonte: Autoria própria

Na análise da carta solar sobreposta a foto olho de peixe, é atestado que, embora o FVC possa auxiliar na definição da forma urbana, este é um parâmetro limitado para descrever as irregularidades da geometria urbana, muito embora seja um avanço quando comparado a simplificação da relação H/W. Pois a radiação solar pode atingir de maneiras distintas pontos com valores de FVCs semelhantes, como ocorrido nas medições dos dias 25/03/2009, 01/04/2009, 08/04/2009 e 13/07/2009. Assim, verifica-se que a questão da acessibilidade solar adquire grande importância em se tratando de estudos de conforto térmico em espaços abertos. Por conseguinte, de modo a complementar o FVC, foi desenvolvido o conceito de fator de acessibilidade solar (FAS).

4.4 FATOR DE ACESSIBILIDADE SOLAR (FAS)

O acesso solar está relacionado à quantidade de radiação incidente em um ponto, sendo, portanto, um critério importante para auxiliar na determinação dos níveis de conforto, representados neste estudo pelos índices PMV e PET. De modo a expressar quantitativamente o potencial de acesso solar em cada ponto, foi desenvolvido o fator de acessibilidade solar (FAS).

O fator de acessibilidade solar pode ser definido como a porcentagem de área visível do céu com influência da trajetória solar, relacionando-se, portanto, ao cobrimento das horas de sol. Este fator é obtido com a sobreposição da carta solar sobre a foto olho de peixe e com a quantificação da área desobstruída com disponibilidade para acesso solar. Na Figura 38, o FAS corresponde à mancha na cor laranja.

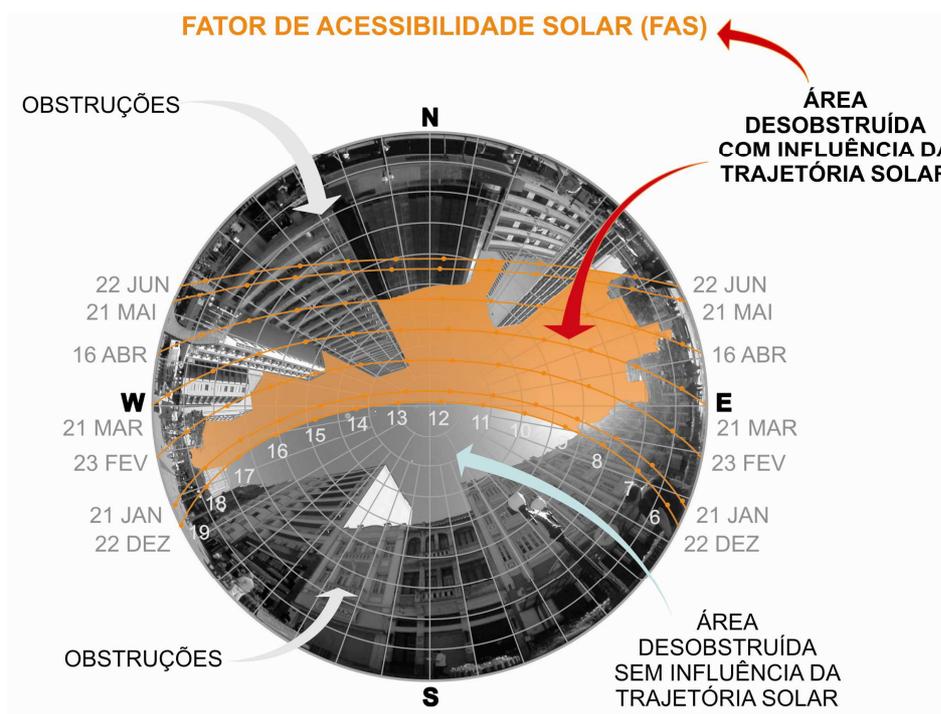
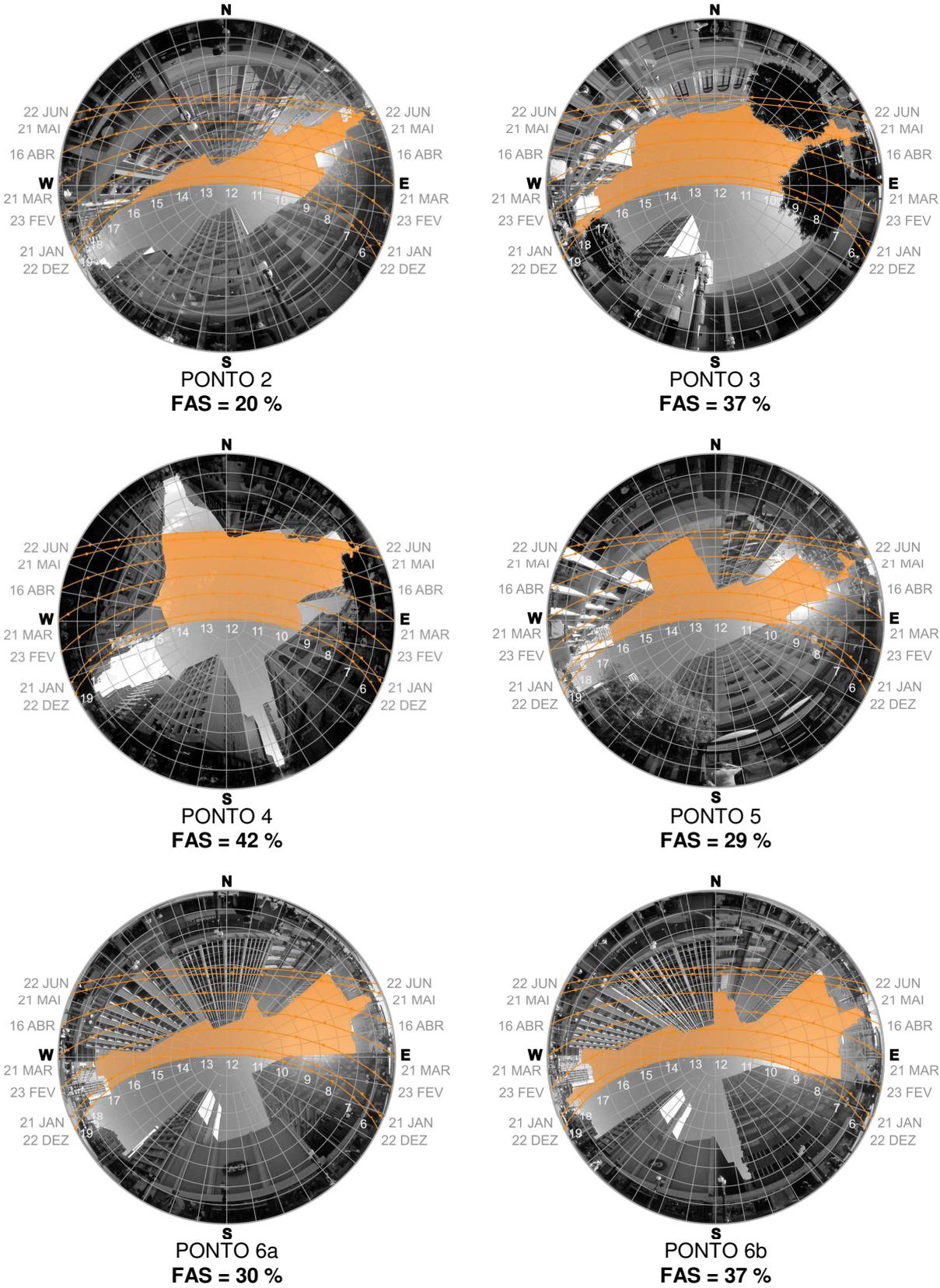


Figura 38 – Fator de acessibilidade solar

Fonte: Autoria própria

O FAS é um parâmetro genérico, pois a utilização do diagrama (faixas correspondentes aos dias e horários) deve ser relativa à época do ano de interesse, abrangida pela pesquisa. No presente estudo, devido ao fato deste englobar todos os meses compreendidos na carta solar e de forma a tornar a ferramenta a mais genérica possível, foi considerada a trajetória do sol em todos os meses e horários.

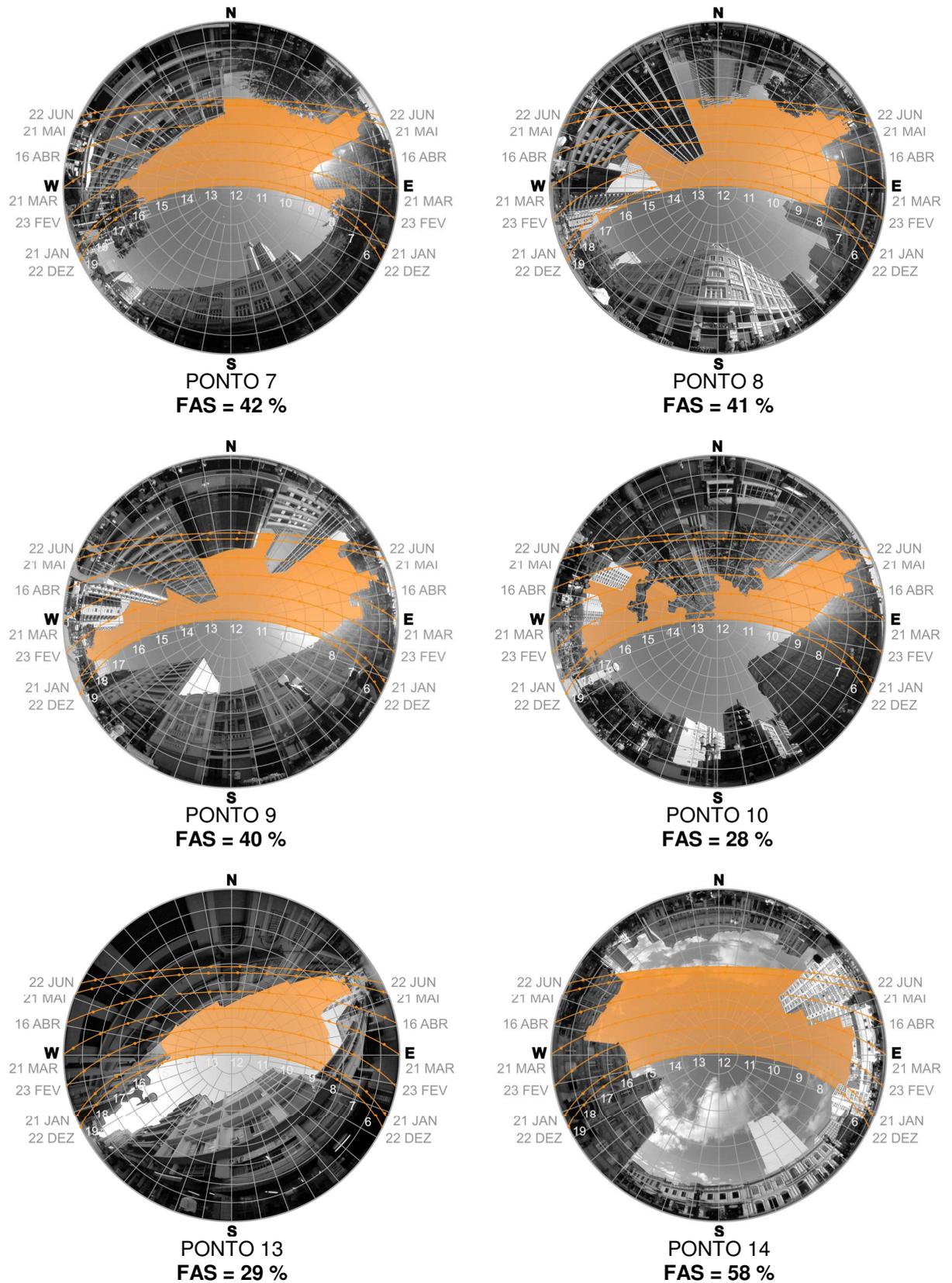
O cálculo do fator de acessibilidade solar, realizado com o auxílio do programa AutoCAD, foi feito para todos os pontos medidos. O resultado pode ser visualizado na Figura.



(continua)

Figura 39 – Fator de acessibilidade solar dos pontos monitorados

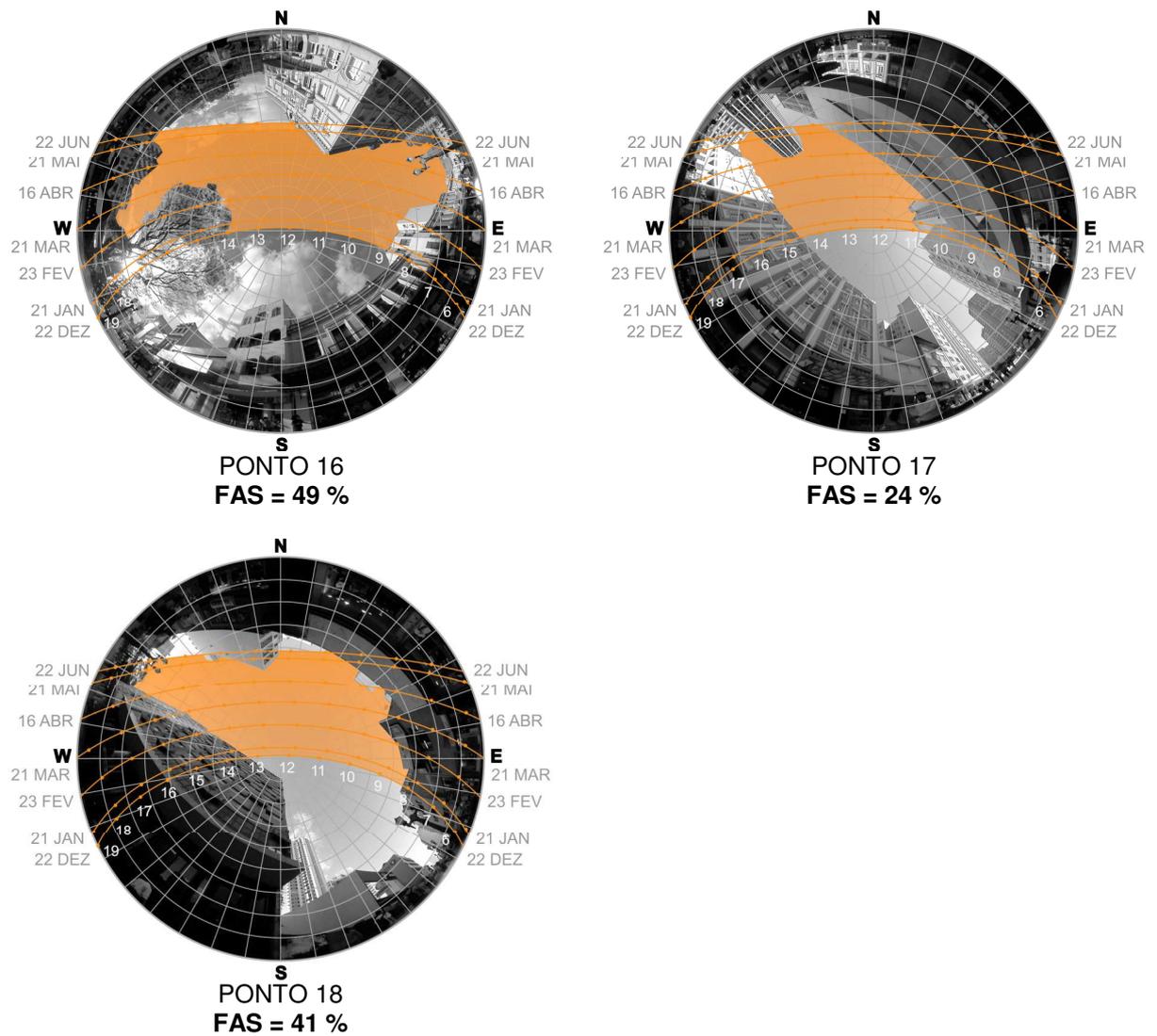
Fonte: Autoria própria



(continua)

Figura 39 – Fator de acessibilidade solar dos pontos monitorados

Fonte: Autoria própria



(conclusão)

Figura 39 – Fator de acessibilidade solar dos pontos monitorados**Fonte: A autoria própria**

A Tabela 23 apresenta os valores do FAS, do FVC, da Ilha de calor e das diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{\text{rm}}-T_a}$).

Tabela 23 – Relação entre FAS, FVC, Ilha de Calor e ΔT_{rm-Ta}

Ponto	Data de medição	Fator de acessibilidade solar - FAS (%)	Fator de visão do céu - FVC (adimensional)	Ilha Calor (°C)	ΔT_{rm-Ta} (°C)
2	09/01/2009	20	0,20	1,5	8,6
2	01/04/2009	20	0,20	0,1	4,1
2	17/06/2009	20	0,20	-0,2	0,3
3	25/03/2009	37	0,32	0,7	8,9
3	19/06/2009	37	0,32	-0,8	-0,1
4	08/04/2009	42	0,34	0,9	9,8
4	06/05/2009	42	0,34	1,3	8,8
4	03/06/2009	42	0,34	0,6	9,5
5	05/06/2009	29	0,22	-0,9	-0,3
6a	17/06/2009	30	0,26	-0,4	-0,3
6b	08/12/2009	37	0,27	-1,1	-0,1
7	09/01/2009	42	0,39	2,1	10,6
7	19/06/2009	42	0,39	-0,9	2,5
8	13/07/2009	41	0,37	-0,3	4,5
9	08/04/2009	40	0,29	0,0	4,7
10	25/03/2009	28	0,30	0,7	2,2
10	05/06/2009	28	0,30	-1,6	-1,8
13	01/04/2009	29	0,22	2,0	2,3
14	03/06/2009	58	0,55	1,6	11,3
14	06/05/2009	58	0,55	1,4	10,6
14	08/11/2009	58	0,55	0,7	8,6
16	13/07/2009	49	0,38	0,8	5,3
17	09/06/2009	24	0,21	0,2	3,1
18	09/06/2009	41	0,30	-0,1	3,0

Fonte: Autoria própria

Em confronto com o FVC, o FAS apresentou correlações ligeiramente mais baixas com a ilha de calor e com as diferenças de temperatura (ΔT_{rm-Ta}). Na correlação do FAS com a Ilha de Calor o R^2 foi de 0,09 (Gráfico 16), apresentando resultados menos expressivo em contraste com o FVC, cujo R^2 foi de 0,10. Na correlação do FAS com o ΔT_{rm-Ta} , o R^2 foi de 0,34 (Gráfico 17), apresentando, novamente, uma correlação mais baixa em relação ao FVC ($R^2 = 0,35$).

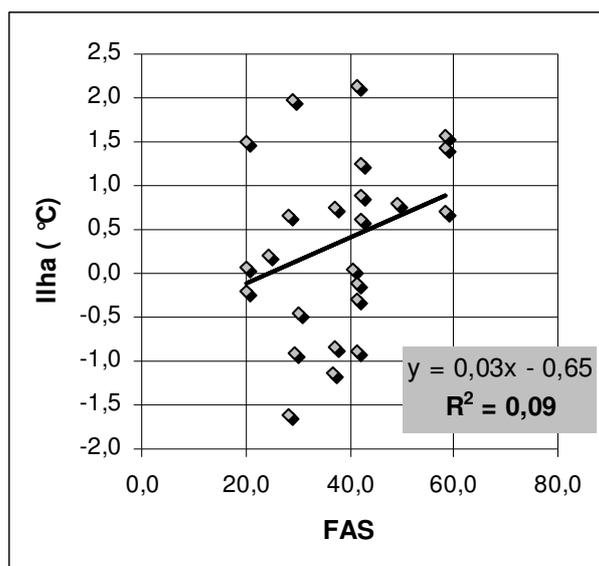


Gráfico 16 – Gráfico de dispersão entre FAS e ilha de calor

Fonte: Autoria própria

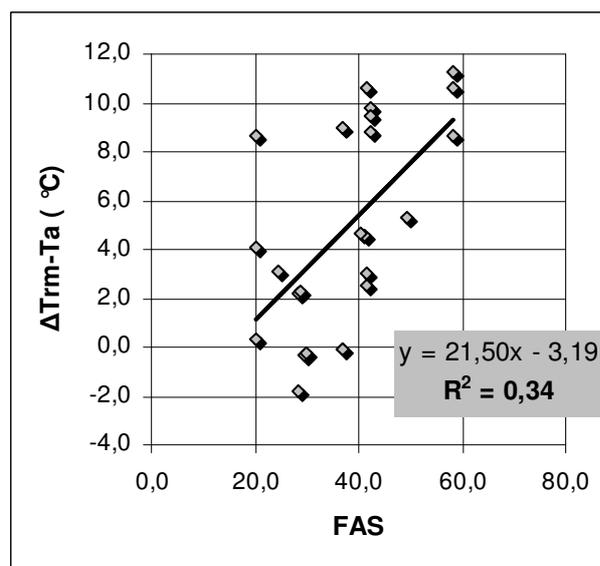


Gráfico 17 – Gráfico de dispersão entre FAS e ΔT_{rm-Ta}

Fonte: Autoria própria

De modo a verificar uma possível melhora na capacidade de predição em comparação com a regressão linear simples, foi realizada uma regressão múltipla. Para isso, considerou-se a ilha de calor as diferenças de temperatura (ΔT_{rm-Ta}) como variáveis dependentes e o FVC e o FAS como variáveis independentes (Tabela 24).

Tabela 24 – Coeficientes de correlação (R) obtidos a partir das análises de regressão simples e múltipla

Variáveis	Ilha de calor	ΔT_{rm-Ta}
FVC (regressão simples)	0,32	0,59
FAS (regressão simples)	0,30	0,58
FVC e FAS (regressão múltipla)	0,31	0,60

Fonte: Autoria própria

Os resultados mostraram que não é necessária a regressão múltipla, uma vez que as ambas as variáveis estão interrelacionadas, sendo redundante adotar o FVC e o FAS simultaneamente. Ainda assim, devido ao fato do FVC possibilitar a quantificação de área visível do céu disponível, mas não a quantidade do potencial de acessibilidade solar, o FAS torna-se uma ferramenta auxiliar para o conhecimento do cobrimento das horas de sol.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento tecnológico e o domínio técnico permitiram a verticalização das cidades, transformando a morfologia dos grandes centros urbanos. A modificação do espaço natural altera o microclima local, sendo percebidas, de maneira geral, inadequações climáticas. O desenho urbano pode ser concebido de maneira a favorecer o conforto humano. O presente estudo buscou o entendimento da influência de aspectos da geometria urbana, representada nesse estudo pelo fator de visão do céu (FVC), sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres na área central de Curitiba.

A metodologia utilizada compreendeu esforços no sentido de responder a seguinte pergunta: qual a relação entre a geometria urbana e os níveis de conforto térmico em ruas de pedestre de Curitiba? As medições ocorreram em 13 dias, totalizando 15 situações urbanas. O período de monitoramento abrangeu o horário das 11h01 até às 15h00.

Os resultados encontrados permitiram a constatação da relevância da temperatura radiante média (T_{rm}), principalmente em dias quentes. Em dias com temperaturas mais baixas, observa-se que a temperatura do ar (T_a) e a T_{rm} são igualmente importantes. Em relação aos índices de conforto Voto Médio Estimado (PMV) e Temperatura Fisiológica Equivalente (PET), estes apresentaram maior correspondência entre si em dias com temperaturas mais altas. Embora não tenha sido verificado um padrão entre o FVC e a T_{rm} , pode-se dizer que há uma tendência em relação ao valor de FVC e a variável, isto é, à medida que o valor de FVC diminui, ou seja, à medida que há mais obstruções no entorno do ponto considerado, também diminuem os valores de T_{rm} .

Nas análises dos níveis de conforto térmico verificou-se que, em dias com temperaturas mais elevadas, pontos com menor obstrução da abóbada celeste, ou seja, com maior valor de FVC, acarretam em maior desconforto por calor. No entanto, estes mesmos pontos podem apresentar melhor situação de conforto em dias com temperaturas mais baixas. Foi percebido, também, que no ponto situado em cruzamento de ruas de pedestres, houve variações consideráveis nos graus de estresse fisiológico durante o período de monitoramento, havendo tendência para desconforto térmico. Faz-se a ressalva de que o programa Rayman, utilizado no

cálculo dos índices térmicos, considera um momento particular, ou seja, o programa não leva em conta o histórico térmico e a expectativa dos transeuntes.

Nas análises das relações entre os valores de FVC e os valores de T_{rm} normalizadas observa-se que conforme diminuem os valores de T_{rm} normalizadas, as correlações desta variável com o FVC tendem a ser mais expressivas. Percebe-se, também, que para os três grupos apresentados (grupo com temperaturas do ar acima de 23 °C, grupo com temperaturas entre 20 °C e 23 °C e grupo com temperaturas abaixo de 20 °C), as correlações são positivas e as linhas de tendência são ascendentes, isto é, conforme aumenta o valor de FVC, aumenta o valor de T_{rm} .

A análise da diferença da T_a obtida *in loco* pela T_a registrada pela estação meteorológica de referência (INMET) permitiu a verificação de ilhas de calor em dias com temperaturas mais elevadas e ilhas de frescor em dias com temperaturas mais baixas nos locais monitorados. No entanto, a análise de regressão linear simples, para o FVC e a ilha de calor, apontou para uma correlação nula. Já a análise de regressão linear para as diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$) apresentou maior coeficiente de determinação, corroborando com a decisão da escolha da T_{rm} como parâmetro para este estudo.

As análises ainda demonstram que, devido à influência de outros parâmetros climáticos, o FVC não é necessariamente determinante para sensação de conforto térmico no período diurno. Porém, quando considerado somente o FVC (agrupamento de dados de $\Delta_{T_{rm}-T_a}$ em pontos que foram monitorados mais de uma vez), independente de outras condicionantes, percebe-se que a correlação é relativamente alta ($R = 0,71$).

A T_{rm} possui relação direta com a quantidade de radiação solar incidente, o que demonstra a importância do desenho urbano para a determinação dos níveis de conforto. Na análise da carta solar, foi possível verificar uma limitação do FVC, pois este parâmetro quantifica a área de céu disponível, não havendo relação direta com a questão do acesso solar. Assim, a radiação solar pode atingir de maneiras distintas pontos com valores de FVC semelhantes. Cabe ressaltar a influência da radiação difusa relacionada à contribuição da abóbada celeste, na determinação dos valores de T_{rm} .

Nesse sentido, o fator de acessibilidade solar (FAS) por estar relacionado ao cobrimento das horas de sol adquire relevância. As correlações do FAS com a

ilha de calor diurna e com as diferenças de temperatura ($\Delta_{T_{rm}-T_a}$) foram ligeiramente mais baixas que as correlações do FVC com as mesmas. Todavia, justifica-se o uso do fator de acessibilidade solar por haver maior coerência em usar a parte da foto em que há potencial de ganhos solares (em vez da foto inteira), no período diurno.

Deve-se observar que enquanto a maioria das cidades apresenta maior desconforto por calor, para a cidade de Curitiba faz-se necessário considerar medidas de conforto visando diminuir o desconforto por frio.

Desta maneira, no tocante ao conforto térmico das ruas pedonais de Curitiba, deve-se levar em conta que cânions com maiores valores de FVCs terão mais acesso solar e, portanto, temperaturas mais confortáveis do que espaços com restrição à quantidade de céu visível. Além do fato da forma dos cânions influenciarem nos fluxos de vento, o qual está diretamente relacionado à sensação térmica dos transeuntes.

Conforme verificado na literatura, a orientação axial E-W é recomendada quando objetiva-se maior ganho solar. Conforme Ali-Toudert (2005), as orientações intermediárias embora ofereçam menos ganho solar que a orientação E-W, ainda proporcionam potencial para acesso solar e luz natural. As orientações da Rua XV de Novembro e da Rua Saldanha Marinho, mais voltadas para E-W, contribuem para amenizar a sensação de frio no inverno. As quadras com maior espaçamento entre as edificações (quadras 6,7,9 e 10) contribuem para esta questão. No entanto, em dias com temperaturas elevadas, estes locais estão sujeitos a um maior desconforto por calor do que cânions urbanos com maior profundidade, os quais podem proporcionar sombra e abrandar o estresse térmico. Desta forma, sugere-se que para cânions mais abertos, sejam implantadas galerias (ALI-TOUDERT, 2005). A mitigação dos efeitos de altas temperaturas também pode ser conseguida com a inserção de árvores ao longo da via.

O uso de estações meteorológicas portáteis permitiu o registro de diversas variáveis entre elas a temperatura do ar, a velocidade do vento, a umidade do ar e a temperatura radiante média. A partir destes dados, foi possível o cálculo dos índices térmicos PMV e PET, propiciando responder ao problema de pesquisa.

A partir do conhecimento de faixas ideais de temperaturas, poderia ser proposto um limite à altura das edificações, com o objetivo de tornar o espaço mais termicamente confortável. Desta forma, é importante citar as limitações desta pesquisa.

Ressalta-se que a vantagem do método de pares é permitir a comparação de duas situações urbanas simultaneamente. No entanto, para que se possa caracterizar o microclima do local de medição e estabelecer faixas ideais de temperatura, é necessário um volume maior de medições. Assim, a questão da amostragem constitui-se na primeira limitação do procedimento metodológico aplicado. O estudo em questão foi realizado paralelamente a uma pesquisa de conforto térmico que busca uma definição das faixas de conforto em espaços abertos para Curitiba. Para essa pesquisa de doutorado, foram aplicados questionários, enquanto as estações medidoras registravam os dados. Assim, as medições exigiram a colaboração de outras pessoas para a guarda das estações e aplicação de questionários.

Além disso, o número de medições dependeu da ocorrência de dias estáveis. Estudos em clima urbano dependem de condições climáticas estáveis para monitoramento, o que, por si só, restringe o trabalho de pesquisadores. Desta forma, embora não tenha sido possível estabelecer uma caracterização climática dos pontos, foi possível apontar tendências. Ressalta-se a possibilidade de utilização do FAS como um indicador do acesso solar de determinado local, contribuindo para a caracterização climática deste.

Em relação à sugestão para futuras pesquisas, recomenda-se:

- estabelecer um maior número de medições, inclusive monitorando os mesmos pontos em épocas distintas;
- caso não seja possível a utilização de diversas estações meteorológicas portáteis, recomenda-se a realização de métodos combinados, como por exemplo; a utilização de pontos fixos combinados com transectos móveis, reconhecendo-se as dificuldades e limitações desta técnica;
- outra possibilidade é a utilização de programas computacionais específicos para a realização de simulações microclimáticas, ou ainda o uso de sistemas com dados de base 3d acoplados a um sistema de informação geográfica, utilizando-se dos dados medidos nesta etapa para fins de calibração do modelo computacional.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas. **Projeto de norma 02:136.01.001** – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Partes de 3, 2004.

ALCOFORADO, Maria J. Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. Alguns apontamentos. **Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia**, Lisboa, v. XXXIV, n. 67-68, p. 83-94, 1999. Disponível em: <http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/1999-6768/6768_09.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2009.

ALI-TOUDERT, Fazia. **Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate**. 2005. 206f. Tese (Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg) – Universität Freiburg, Freiburg, 2005. Disponível em: <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078/pdf/Diss_Freidok_Ali_Toudert_Fazia.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2009.

ALI-TOUDERT, Fazia; MAYER, Helmut. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v.41, n.2, p.94-108, 2006.

ALMEIDA, Vanderson. Adoção de parques e praças gera economia de R\$ 1 milhão ao ano. **Gazeta do povo**, Curitiba, 28 jan. 2009. Vida e Cidadania. Disponível em: <<http://portal.rpc.com.br/gazetadopovo/vidaecidadania/conteudo.phtml?tl=1&id=851473&tit=Adocao-de-parques-e-pracas-gera-economia-de-R-1-milhao-ao-ano>>. Acesso em: 21 jul. 2009.

ANDRADE, Henrique. O Clima Urbano – Natureza, Escalas de Análises e Aplicabilidade. **Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia**, Lisboa, v. XL, n. 80, p. 67-91, 2005. Disponível em: <http://www.ceg.ul.pt/finisterra/numeros/2005-80/80_05.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2009.

ARNFIELD, John. Review: two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, n. 23, p. 1-26, 2003.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta: ASHRAE , 1997.

ASIMAKOPOULOS, D. N. Climate and climate change. In: SANTAMOURIS, Matheos (Org) et al. **Energy and climate in the urban built environment**. Londres: James and James Science Publishers, 2001. p. 19-32.

ASSIS, Eleonora S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 9, p. 20-25, 2007.

ASSIS, Eleonora S.; LIMA, Henrique G.; SANTOS, Iara G. A graphical method for the sky view factor calculation in the urban heat island studies. In: 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 20., 2003, Santiago. **Proceedings...**Santiago: PLEA, 2003. s.n.p.

ASSIS, Eleonora. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2005, Maceió. **Anais...**Maceió: ENCAC-ELACAC, 2005. p. 92-101.

Associação Comercial do Paraná. Calçadão da XV vai brilhar de novo. Curitiba, nov. de 2007. Disponível em <http://www.acpr.com.br/index.php?ID_MATERIA=932&ID_TEMPLATE=118&a=noticia.php>. Acesso em: 20 jan. 2009.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

BARBOSA, Milton. **Influência do paisagismo e tecnologia construtiva no clima e qualidade de espaços residenciais com exemplo na Vila Tecnológica de Curitiba**. 2008. 157f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação Em Tecnologia) – UTFPR, Curitiba, 2008.

BLANCHET, Izabelle. **Análise bioclimática dos parâmetros de conforto térmico humano e sua relação com os índices termo-higrométricos e a forma urbana do bairro do Bigorriho em Curitiba**. 2004.128f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UFPR, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba, 2004.

BOURBIA, F.; AWBI, H. Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate Part 2: Shading simulations. **Renewable Energy**, v. 29, n.2, p. 291–301, 2004.

BRADLEY, Andrew V.; THORNES, John E.; CHAPMAN, Lee. A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. **Atmos. Sci. Lett.** (Royal Meteorological Society), v.2, p. 155–165, 2001.

BROWN, Michael; GRIMMOND, Sue; RATTI, Carlo. Comparison of Methodologies for Computing Sky View Factor in Urban Environments. In: International Symposium on Environmental Hydraulics, 2001, Tempe, AZ, EUA. **Proceedings...** Tempe, AZ: ISEH / IAHR, 2001. Disponível em: <http://senseable.mit.edu/papers/pdf/2001_Brown_Grimmond_Ratti_ISEH.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

BUSTOS ROMERO, Marta A. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo: P. W, 1988.

CAMPBELL, S. **Application Note**: Weather Station Siting and Installation Tools. 1997.

CHAPMAN, Lee et al. Potential applications of thermal fisheye imagery in urban environments. *Geoscience and Remote Sensing Letters*. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n. 1, p. 56-59, 2007.

CHAPMAN, Lee. Towards a tree-view factor. Why do urban climatologists dislike trees? **IAUC Newsletter**, v. 25, p. 4-6, 2007.

CHAPMAN, Lee; THORNES, John E. Real-time sky-view factor calculation and approximation. **J. Atmos. Oceanic. Technol.**, v. 21, n.5, p. 730-742, 2004.

CHAPMAN, Lee; THORNES, John E.; BRADLEY, Andrew V. Rapid determination of canyon geometry parameters for use surface radiation budgets. **Theoretical Appl. Climatol.**, v. 69, n.1-2, p. 81-89, 2001.

CHUDNOVSKY, A.; BEN-DOR, E.; SAARONI, H. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. **Energy and Buildings**, v. 36, n.11, p.1063-1074, 2004.

CORREA, Erica N. et al . Evaluación del factor de visión de cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemisféricas. Influencia de la configuración del cañón urbano en la disponibilidad del recurso solar. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v.9, p. 43-48, 2005.

COSTA, Angelina D. L.; LABAKI, L. C.; ARAÚJO, Virginia M. D. Medições de campo na area urbana: o desafio da padronização. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 1, p. 26-31, 2007.

DANNI, Ines Moresco. **Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa em Porto-Alegre em janeiro de 1982**: contribuição ao estudo do clima urbano. 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, Ines Moresco. Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. **RA'EGA O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 3, p. 229-253, 1999.

DIMOUDI, Argiro; NIKOLOPOULOU, Marialena. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v.35, n.1, p. 69-76, 2003.

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). Curitiba, 2007. 429f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – UFPR, Curitiba, 2007.

ELIASSON, Ingegärd. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 48, p. 31-44, 2002.

ELIASSON, Ingegärd. Urban Nocturnal Temperatures, Street Geometry and Land Use. **Atmos. Environ.**, v. 30, p. 379-392, 1996.

ENDLICHER, Wilfried (Org.) et al. Heat Waves, Urban Climate and Human Health. In: MARZLUFF, JOHN et al. **Urban ecology**: an international perspective on the interaction between humans and nature. Nova York: Springer, 2008. p. 269-278.

ERELL, Evyatar; WILLIAMSON, Terence. The spatial variability of air temperature in the urban canopy layer. In: 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, 2, 2007, Grécia. **Proceedings**...Grécia: PALENC, 2007. p. 304-306.

FANGER, Povl Ole. **Thermal Comfort**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.

FILL, Heinz D; SUGAI, Martha R. V. B.; HILU, Andrey. Caracterização Climatológica da Região Metropolitana de Curitiba. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n. 28, jan. 1999, p. 17-21.

FLANNERY, Tim. **Os senhores do clima**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2007

FOLLAND, C.K. et al. Observed climate variability and change. In: HOUGHTON, J. T. (Org) et al. **Climate Change 2001**, The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, p. 101-181, 2001.

FONTES, Maria S. G. de C.; DELBIN, Simone. Efeito climático de uma área verde no ambiente Urbano. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu: ANTAC**, 2002, p. 971-980

FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli R. **Manual de Conforto Térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GÁL, Tamás et al. Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment. **ACTA CLIMATOLOGICA ET CHOROLOGICA** , p. 17-26, 2004.

GHIAUS, Cristian et al. Urban environment influence on natural ventilation potential. **Building and Environment** , v. 41, n.4, p. 395–406, 2006.

GIRALT, Rômulo P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres – RS**. Porto Alegre, 2006. 237 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano Regional) – PROPUR – UFRGS. 2006.

GIRIDHARAN, Renganathan. et al. Impact of on-site variables on the influence of vegetation in lowering outdoor temperature in High-rise high-density environments. In: The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 23, 2006, Geneva, Switzerland. **Proceedings...Geneva: PLEA**, 2006. s.n.p.

GIVONI, Baruch. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Nova York: Van Nostrand Reinold, 1998.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, 1998.

GRIMMOND, Sue et al. Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. **Int. J. Climatol.** , v. 21, n. 7, p. 903–913, 2001.

HÖPPE, Peter. Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 661-665, 2002.

HÖPPE, Peter. The Physiological Equivalent Temperature: a index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**. n.43. p. 71-75, 1999.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 21 jun. 2009.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Informações meteorológicas**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php> >. Acesso em 2 ago. 2009.

IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change. **Mudança do Clima 2007: A base das ciências físicas**. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Paris, 2007. Disponível em: <http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/IPCC%20mudan%C3%A7as%20climaticas.pdf > Acesso em: 1 ago. 2009.

ISO 7726 **Ergonomics of the Thermal Environment**: Instruments of measuring physycal quantities. ISO, 1998.

ISO 7730 **Ergonomics of the Thermal Environment**: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Suíça: ISO, 2005.

ISO 8896 **Ergonomics of the Thermal Environment**: Determination of metabolic rate. Suíça: ISO, 2004.

ISO 9920 **Ergonomics of the Thermal Environment**: Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. ISO, 2007.

JOHANSSON, Erik. **Urban design and outdoor thermal comfort in warm climates** – studies in Fez and Colombo, 2006. Thesis (PhD in architecture), Housing Development & Management, Lund University, Lund, Sweden, 2006.

JOHNSON, Glenn T.; WATSON, Ian D. The determination of view-factors in urban canyons. **Journal of Applied Climate and Meteorology**, v. 23. p. 329-335, 1984.

KONDOH, A.; NISHIYAMA, J. Changes in hydrological cycle due to urbanization in the suburb of Tokyo Metropolitan area, Japan. **Advances in Space Research**, v.26, n.7, p.1173-1176, 2000.

KRÜGER, Eduardo L.; DUMKE, Eliane M. S. Estudo bioclimático sobre o planejamento urbano de Curitiba. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais do IX ENCAC**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v. 1. p. 1-10.

KRÜGER, Eduardo L.; PEARLMUTTER, David; BERLINER, Pedro. Efeito da evapotranspiração em modelo reduzido de um arranjo urbano sob condições desérticas. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais do IX ENCAC**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v. 1. p. 1-10.

LAMBERTS, Roberto; ANDREASI, Wagner. A. **Tópicos avançados de conforto térmico**. Florianópolis, 2003. Disponível em: <www.dec.ufms.br/lade/docs/cft/tact.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2009.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antonio A. P. **Apostila didática**: Conforto Térmico e Stress Térmico. Florianópolis, 2002. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Apconf.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2009.

LANDSBERG, Helmut E. **The urban climate**. Nova York: Academic Press, 1981.

LOEWEN, Andrea B. Alberti e Vitruvius. **Projeções**, São Paulo, v. 19/20, p. 37-46, Jan./Dez. 2002. Disponível em: <http://www.saofrancisco.edu.br/edusf/publicacoes/RevistaProjecoos/Volume_03/uploadAddress/proje%C3%A7oes-7%5B6375%5D.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2009.

LOIS, Erica; LABAKI, Lois 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 nas Metrôpoles** – o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1985. 244p.

MASCARÓ, Lucia. **Ambiência Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzatto, 1996.

MATZARAKIS, Andreas; MAYER, Helmut ; RUTZ, Frank. Radiation and thermal comfort. In: V. B. Katsoulis (Ed.) In: 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 2002, Univ. of Ioannina, Ioannina, Grécia. **Proceedings...** Disponível em: <http://www.mif.uni-freiburg.de/matzarakis/papers/Radiation_6hellenic.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

MAYER, Helmut; MATZARAKIS, Andreas. Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. In: Int. Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island. Fujisawa, Japan. **Proceedings...**1998, p.155-168. 1998.

MENDONÇA, Francisco; DUBREUIL, Vincent. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba - PR). **RA EGA** (UFPR), v. 9, p. 25-36, 2005.

MICRODAQ. Disponível em: <<http://www.microdaq.com>>. Acesso em: 1 ago. 2009

MINELLA, Flavia O. ; TAMURA, Cintia A. Apresentação de método fotográfico para a obtenção do fator de visão do céu. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal. **Anais...** Natal : ANTAC, 2009. p. 1-10.

MOIN, Uddim M.; TSUTSUMI, Jun-ichiro. Rapid Estimation of Sky View Factor and Its Application to Human Environment. **Journal of the Human-Environment System**, v.7, n.2, p.83-87, 2004.

MONTEIRO, Carlos A. F. (Org.). Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, Carlos A. F.; MENDONÇA, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-68.

MONTEIRO, Carlos A. F. Clima. In: **Grande Região Sul**, Geografia do Brasil, v. IV, Tomo I. Rio de Janeiro: IBGE, 1963.

MONTEIRO, Leonardo M.; ALUCCI, Marcia P. Índices de Conforto Térmico para Espaços Abertos Parte II: revisão histórica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, Maceió, **Anais...** Maceió: ENCAC, 2005. p. 1221-1230.

MORENO, Mayra M.; LABAKI, Lucia C. Parâmetros para implantação efetiva de áreas verdes em bairro de autoconstrução. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, 2006. p. 614-623.

NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanization Prospects: The 2007 revision**. New York: UN; 2008.

NUNEZ, M.; OKE, T. R. The Energy Balance of an Urban Canyon. **J. Appl. Meteorol.** v.16, p. 11–19, 1977.

OKE, Tim R. **Boundary Layer Climates**. Londres: Metheun, 1978.

OKE, Tim R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1 p. 237-254, 1981.

OKE, Tim R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **IOM Report, TD**. in press, World Meteorological Organization, Geneva, 2006.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima**. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, Paulo M. P. **Cidade Adequada ao Clima: a Forma Urbana como Instrumento de Controle do Clima Urbano**. Brasília: UnB, 1988.

ORLANSKI, Isidoro. Rational subdivision of scales for atmospheric process. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v. 56, p. 527-530, 1975.

PEARLMUTTER, David. Street canyon geometry and microclimate: Designing for urban comfort under arid conditions. In: Maldonado E. and Yannas S. (eds.). *Environmentally Friendly Cities, PLEA 1998*, Lisboa, Portugal, jun. 1998. **Anais...**Lisboa, Portugal: PLEA, 1998. p. 163-166.

PERTSCHI, Susanne Cristine. **Aspectos do campo térmico da área urbana de São José dos Pinhais/PR: situação de verão**. 2005. 172 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PINTO, Rui. **A Rua XV de Novembro – Patrimônio Cultural do Estado**. Disponível em: <<http://www.memorial.mp.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=38>>. Acesso em: 21 jul. 2009.

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: III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica – CONNEPI, 3, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CONNEPI, 2008.s.n.p.

ROSSI, Francine A. et al. Conforto Térmico em Espaços Abertos: resultados de um estudo piloto em Curitiba. In: X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ANTAC, 2009. p. 1-10.

ROSSI, Francine. **Análise da influência da ocupação do solo na variação da temperatura em diferentes localidades da cidade de Curitiba**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Tecnologia) – UTFPR. Disponível em: <<http://www.ppgte.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/2004/rossi.pdf>> Acesso em 21 nov. 2008.

RUAS, Álvaro C. **Avaliação de conforto térmico - Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2001.

SAKAMOTO, Luiza L. S. **Relação entre a temperatura do ar e a “configuração do céu” na área central da metrópole paulistana: análise de dois episódios diários**. 1994. 200f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANTAMOURIS, Matheos (Org) et al. **Energy and climate in the urban built environment**. Londres: James and James Science Publishers, 2001.

SARTORI, Maria G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, p. 27-49, 2003.

SARTORI, Maria. G. B. **Clima e Percepção**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia/FFLCH/USP, São Paulo, 2000.

SCUDO, G.; ELSA, F.. Thermal comfort in urban spaces: streets and courtyards. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 18, 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: PLEA 2001. p. 7-9.

SOLOMON, Susan et al. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. **PNAS**, v. 106, n. 6, p. 1704–1708, 2009.

SOO-GON, H.; SUN-HYE, M.; JUNG-HO, H. **Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea**. In: IBPSA Building Simulation, 2007, Beijing, China, 2007. Disponível em: <http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p573_final.pdf > Acesso em 01 set. 2008.

SOUZA, Léa C. L. Thermal environment as a parameter for urban planning. **Energy Sustainable Development**, v. XI n.4, p. 44-53, 2007.

SOUZA, Léa C. L. et al. Ambiente Térmico do Pedestre. **Revista Minerva**, v. 5, p. 121-127, 2008.

SOUZA, Léa C. L.; RODRIGUES, Daniel S.; MENDES, José F. G. Expandindo um SIG-D para aplicação em conforto ambiental em nível urbano. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 8, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003. p. 669-676.

STEYN, D. G. et al. The determination of sky-view factors in urban environments using video imagery. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 3, p. 759–764, 1986.

SUGA, Mauro. **Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos**: estudo realizado nos eixos estruturais de Curitiba. 2005. 211 f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação Em Tecnologia) – UTFPR. Disponível em: <<http://www.ppgte.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/2005/Suga.pdf>> Acesso em 21 nov. 2008.

SVENSSON, Marie K. Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. **Meteorol. Appl.**, v. 11, p. 201–211, 2004.

THORSSON, S. et al. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Climatology**. n.27. p.1983-1993, 2007.

UNESCO, Comissão Nacional. **Megacidades** – o nosso futuro global, 2007. Disponível em: <<http://www.progeo.pt/aipt/>> Acesso em: 1 ago. 2009.

UNGER, János. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. **Clim Res**, v. 27, p. 253–264, 2004.

UNIVERSITY OF FREIBURG. Meteorological Institute. **RayMan**: modelling of mean radiant temperature in urban structure, calculation of thermal indices. version 2.0, 2007.

UPMANIS, Hillevi; CHEN, Deliang. Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban – park temperature - differences – A case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden. **Clim Res**, v. 13, p. 125-139, 1999.

XAVIER, Antonio A. P. **Condições de Conforto Térmico para estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis**.1999. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1999.

YAMASHITA, S. et al. On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama river basin, Japan. **Atmos. Environ.**, v. 20, p. 681–686, 1986.

APÊNDICE A: PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS DE TRM NORMALIZADA

Os dias 09/01/2009, 25/03/2009, 01/04/2009 e 08/04/2009 correspondem ao GRUPO 1. Conforme Tabela 25, a média de Ta registrada pelo INMET, para estes dias e para o período das quatro horas de medição foi de 25,3 °C. Verificou-se, também, a margem de diferença entre a média de Ta registrada em cada dia e a média de Ta de todos os dias do GRUPO 1.

Tabela 25 – Médias horárias de Ta registradas pelo INMET (GRUPO 1)

HORA	09/01/2009	25/03/2009	01/04/2009	08/04/2009	Média horária
12h00	26,1	23,0	23,9	24,8	24,4
13h00	26,9	23,3	25,2	25,4	25,2
14h00	27,5	23,7	26,4	26,0	25,9
15h00	27,5	24,0	26,1	25,4	25,7
Média do período de medição	27,0	23,5	25,4	25,4	25,3
Margem de diferença	1,7	-1,8	0,1	0,1	

Fonte: A autoria própria

As médias horárias de todos os dias de medição foram divididas pelo valor de Ta de cada dia e horário de medição, obtendo-se assim os fatores de normalização (Tabela 26).

Tabela 26 – Fatores de normalização (GRUPO 1)

HORA	09/01/2009	25/03/2009	01/04/2009	08/04/2009
12h00	0,94	1,06	1,02	0,99
13h00	0,94	1,08	1,00	0,99
14h00	0,94	1,09	0,98	1,00
15h00	0,94	1,07	0,99	1,02
Média	0,94	1,08	1,00	1,00

Fonte: A autoria própria

Os dados horários de Trm obtidos durante as medições foram, então, multiplicados por cada fator de normalização correspondente, resultando nas temperaturas radiantes médias normalizadas.

A Tabela 27 corresponde aos dados normalizados do GRUPO 1 e foi organizada segundo os valores do somatório de radiação do período de medição.

Tabela 27 – Dados normalizados de Trm (GRUPO 1)

HORA	Trm normalizada (°C)							
	FVC 0,39 09/01/09 ponto 7 est 2	FVC 0,20 09/01/09 ponto 2 est 1	FVC 0,32 25/03/09 ponto 3 est 2	FVC 0,21 08/04/09 ponto 4 est 1	FVC 0,29 08/04/09 ponto 9 est 2	FVC 0,30 25/03/09 ponto 10 est 1	FVC 0,22 01/04/09 ponto 13 est 1	FVC 0,20 01/04/09 ponto 2 est 2
12h00	38,2	38,1	36,4	36,7	29,6	22,7	29,0	30,7
13h00	38,9	35,1	37,9	35,6	35,1	22,6	27,1	30,5
14h00	32,9	30,4	35,9	37,4	27,5	22,7	26,5	29,1
15h00	31,0	29,9	29,7	30,4	27,7	27,3	27,8	27,3
Média	35,3	33,4	35,0	35,0	30,0	23,8	27,6	29,4
Somatório radiação (W/m ²)	2696	2449	2083	1859	1297	731	662	469

Fonte: Autoria própria

O GRUPO 2, correspondente ao dias com temperaturas intermediárias, engloba os dias 06/05/2009, 05/06/2009 e 09/06/2009. Conforme Tabela 28, a média de temperatura do ar, segundo dados do INMET, foi de 21,6 °C, sendo a margem de diferença maior para o dia 06/05/2009 (0,8 °C).

Tabela 28 – Médias horárias de Ta registradas pelo INMET (GRUPO 2)

HORA	06/05/2009	05/06/2009	09/06/2009	Média horária
12h00	21,5	19,9	20,1	20,5
13h00	22,4	21,2	21,0	21,5
14h00	22,8	22,2	21,6	22,2
15h00	23,1	21,5	22,3	22,3
Média do período de medição	22,4	21,2	21,2	21,6
Margem de diferença	0,8	-0,4	-0,4	

Fonte: Autoria própria

Os fatores de normalização do GRUPO 2 constam na Tabela 29.

Tabela 29 – Fatores de normalização (GRUPO 2)

HORA	06/05/2009	05/06/2009	09/06/2009
12h00	0,95	1,03	1,02
13h00	0,96	1,01	1,02
14h00	0,97	1,00	1,03
15h00	0,97	1,04	1,00
Média	1,0	1,0	1,0

Fonte: Aatoria própria

Os dados normalizados de Trm, decorrentes dos fatores de normalização e dos valores de Trm obtidos a partir dos monitoramentos, podem ser visualizados na Tabela 30. Novamente os dados estão organizados de forma decrescente segundo os valores do somatório de radiação.

Tabela 30 – Dados normalizados de Trm (GRUPO 2)

HORA	Trm normalizada (°C)					
	FVC 0,55 06/05/09 ponto 14 est 2	FVC 0,21 06/05/09 ponto 4 est 1	FVC 0,50 09/06/09 ponto 18 est 2	FVC 0,21 09/06/09 ponto 17 est 1	FVC 0,22 05/06/09 ponto 5 est 2	FVC 0,30 05/06/09 ponto 10 est 1
12h00	32,0	30,9	24,9	22,3	19,1	17,6
13h00	31,6	31,8	22,8	23,3	20,2	19,0
14h00	31,3	31,7	25,7	26,4	22,1	20,1
15h00	32,3	25,9	25,4	27,2	23,9	22,3
Média	31,8	30,1	24,7	24,8	21,3	19,8
Somatório radiação (W/m ²)	2440	2006	1261	848	319	183

Fonte: Aatoria própria

O GRUPO 3 compreende os dias com temperaturas menores que 20 °C, sendo estes os dias 03/06/2009, 17/06/2009, 19/06/2009, 13/07/2009, 11/08/2009 e 12/08/2009. De acordo com a Tabela 31, a média de Ta para estes dias foi de 15,5 °C. O dia com maior margem de diferença (-2,9 °C) foi também o dia mais frio, com média de Ta de 12,6 °C, segundo dados do INMET.

Tabela 31 – Médias horárias de Ta registradas pelo INMET (GRUPO 3)

HORA	03/06/09	17/06/09	19/06/09	13/07/09	11/08/09	12/08/09	Média horária
12h00	10,3	12,6	16,9	14,4	12,5	15,1	13,6
13h00	12,4	13,9	18,4	16,1	14,0	16,3	15,2
14h00	13,2	14,9	19,0	17,8	15,1	17,7	16,3
15h00	14,6	15,6	19,7	17,9	16,0	18,9	17,1
Média do período de medição	12,6	14,2	18,5	16,5	14,4	17,0	15,5
Margem de diferença	-2,9	-1,3	3,0	1,0	-1,1	1,44	

Fonte: Autoria própria

Os fatores de normalização do GRUPO 3 constam na Tabela 32 .

Tabela 32 – Fatores de normalização (GRUPO 3)

HORA	03/06/2009	17/06/2009	19/06/2009	13/07/2009	11/08/2009	12/08/2009
12h00	1,32	1,08	0,81	0,95	1,09	0,90
13h00	1,22	1,09	0,82	0,94	1,09	0,93
14h00	1,23	1,09	0,86	0,92	1,08	0,92
15h00	1,17	1,10	0,87	0,96	1,07	0,91
Média	1,24	1,09	0,84	0,94	1,08	0,92

Fonte: Autoria própria

O GRUPO 3 é formado por 6 dias de monitoramento. No entanto, as situações urbanas analisadas são 10, uma vez que nos dias 11/08/2009 e 12/08/2009 foram descartadas as medições da Praça General Osório. As Tabelas 33, 34 e 35 correspondem aos dados normalizados de Trm, divididas conforme os valores do somatório de radiação. A Tabela 33 corresponde aos dias com valores maiores de radiação, sendo agrupados os pontos 14 (03/06/2009), 16 (13/07/2009) e 14 (11/08/2009).

Tabela 33 – Dados normalizados de Trm (GRUPO 3), radiação maior que 2000 W/m²

HORA	Trm normalizada (°C)		
	FVC 0,55 03/06/2009 ponto 14 est 2	FVC 0,38 13/07/2009 ponto 16 est 2	FVC 0,55 11/08/2009 ponto 14 est 2
12h00	36,1	16,0	19,7
13h00	30,9	18,9	23,0
14h00	28,0	22,2	25,5
15h00	24,0	25,2	31,2
Média	29,7	20,6	24,8
Somatório radiação (W/m ²)	2626	2411	2208

Fonte: Autorial própria

A Tabela 34 corresponde ao GRUPO 3, e engloba os pontos 4 (03/06/2009), ponto 8 (13/07/2009) e ponto 7 (19/06/2009). O somatório de radiação nestes dias foi maior no ponto 4 com 1692,5 W/m² e menor no ponto 7 com 677,60 W/m².

Tabela 34 – Dados normalizados de Trm (GRUPO 3), radiação entre 400 W/m² e 2000 W/m²

HORA	Trm normalizada (°C)		
	FVC 0,21 03/06/2009 ponto 4 est 1	FVC 0,37 13/07/2009 ponto 8 est 1	FVC 0,39 19/06/2009 ponto 7 est 2
12h00	15,9	25,2	24,0
13h00	33,5	16,2	15,1
14h00	37,1	20,9	15,5
15h00	22,1	16,9	15,6
Média	27,2	19,8	17,6
Somatório radiação (W/m ²)	1692	966	678

Fonte: Autorial própria

Na Tabela 35 encontram-se os dados normalizados dos dias do GRUPO 3 com radiação inferior a 400 W/m².

Tabela 35 – Dados normalizados de Trm (GRUPO 3), radiação menor que 400 W/m²

HORA	Trm normalizada (°C)			
	FVC 0,27 12/08/2009 ponto 6b est 2	FVC 0,32 19/06/2009 ponto 3 est 1	FVC 0,20 17/06/2009 ponto 2 est 2	FVC 0,26 17/06/2009 ponto 6a est 1
12h00	14,2	13,8	13,7	13,6
13h00	14,9	14,9	15,4	14,8
14h00	15,9	16,3	16,8	15,8
15h00	16,7	17,0	17,6	16,8
Média	15,4	15,5	15,9	15,2
Somatório radiação (W/m ²)	332	253	222	160

Fonte: Aatoria própria

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)