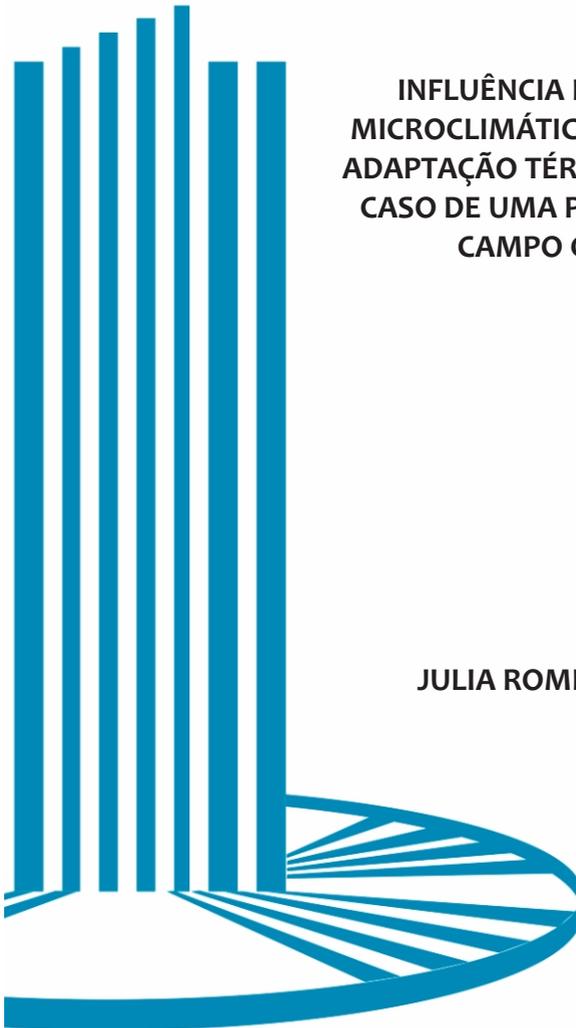


FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO FINAL DE CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE



INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS NO CONFORTO E ADAPTAÇÃO TÉRMICA: O ESTUDO DE CASO DE UMA PRAÇA PÚBLICA EM CAMPO GRANDE-MS

JULIA ROMERO LUCHESE

**CAMPO GRANDE
2016**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E
URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS
NO CONFORTO E ADAPTAÇÃO TÉRMICA: O ESTUDO
DE CASO DE UMA PRAÇA PÚBLICA EM CAMPO
GRANDE-MS**

JULIA ROMERO LUCCHESI

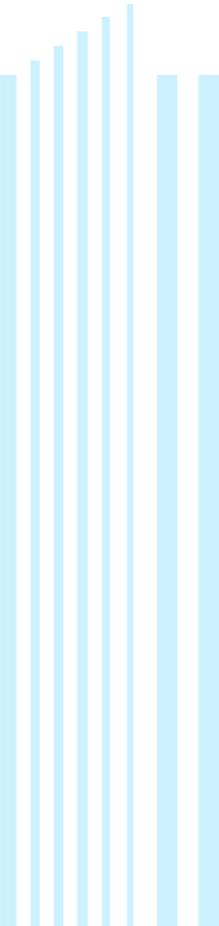
Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi

CAMPO GRANDE
MARÇO / 2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por Julia Romero Lucchese, aprovada pela Comissão Julgadora em 31 de março de 2016, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi – Orientador
FAENG/UFMS

Profa. Dra. Ana Paula Milani – Membro Titular
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Hamilton Germano Pavão – Membro Titular
INFI/UFMS



"A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último melhorar a humanidade."

Nikola Tesla

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Nilce e Claudio, pela vida e por toda a dedicação. Gostaria de estender os agradecimentos à minha irmã, Cecília, e à toda a minha família, que sempre me apoiou e incentivou, principalmente em relação aos estudos. Ainda, ao meu namorado, Mark, pela paciência e pelas revisões de inglês.

Gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador, o professor Dr. Wagner Augusto Andreasi, pela confiança no meu trabalho e pelos valiosos ensinamentos. Agradeço também pela oportunidade de integrar o Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE), onde aprendi muito.

Agradeço a parceria dos colegas de mestrado, e companhia dos colegas do LADE: Veronica, Fernando, Tássio, Stumpo, e dedicação das colegas Natacha e Larissa na cansativa coleta de dados em campo.

Obrigada ao professor Dr. Maurício Jonas Ferreira pela orientação na parte de climatologia.

Ao professor Dr. Richard de Dear pelas valiosas sugestões no projeto de pesquisa deste trabalho.

À Fundação Municipal de Cultura (FUNDAC), por autorizar a realização do experimento de campo em praça pública.

E à todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	12
3. ESTRUTURA DO TRABALHO	13
4. REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1. Alterações no clima urbano	14
4.1.1. Ilhas de calor urbanas	16
4.1.2. Mudanças climáticas globais	18
4.2. Climatologia e planejamento urbano	19
4.3. Mitigação do aquecimento urbano	21
4.3.1. Microescala	22
4.3.2. Escala local	25
4.4. Conforto térmico humano	26
4.4.1. Adaptação térmica	27
4.4.2. O estudo do conforto térmico em áreas abertas	31
4.4.3. Índices de avaliação do conforto térmico	36
4.4.4. Normalização.....	39
5. METODOLOGIA	41
5.1. Área de estudo	41
5.1.1. Praça Ary Coelho.....	43
5.2. Coleta de dados.....	47
5.2.1. Monitoramento microclimático.....	49
5.2.2. Questionário de conforto térmico	51
5.2.2.1. Variáveis pessoais	52
5.2.2.2. Adaptação térmica	54

5.2.2.3. Parâmetro subjetivo	55
5.3. Modelo RayMan v.1.2 (cálculo dos índices PMV e PET).....	55
5.4. Calculadora UTCI (cálculo do índice UTCI).....	57
5.5. Equações de regressão (VST-Andreasi Y_{DS} e TEP).....	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
6.1. Variáveis pessoais.....	59
6.2. Índices de avaliação de conforto térmico.....	60
6.2.1. PMV (Voto Médio Predito).....	60
6.2.2. VST-Andreasi (Andreasi, 2009).....	61
6.2.3. PET (Temperatura Equivalente Fisiológica).....	61
6.2.4. UTCI (Índice Termo-Climático Universal).....	62
6.2.5. Y_{DS} (Sensação de Conforto Térmico).....	62
6.2.6. TEP (Temperatura Equivalente Percebida).....	63
6.2.7. Calibração regional de PET.....	64
6.3. Monitoramento microclimático.....	66
6.3.1. Temperatura do ar e temperatura radiante média	67
6.3.2. Umidade relativa do ar.....	69
6.3.3. Velocidade do vento.....	71
6.3.4. Sombreamento.....	72
6.4. Adaptação térmica.....	75
6.4.1. Adaptação comportamental.....	75
6.4.2. Percepção de controle.....	76
6.4.3. Experiência passada e expectativa.....	78
6.4.4. Tempo de exposição.....	81
6.4.4.1. Horas de desconforto estimadas.....	81
6.5. Considerações de projeto para espaços abertos em CG/MS.....	85
7. CONCLUSÕES.....	88
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	90
REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICE A: MODELO DE QUESTIONÁRIO.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relação cíclica entre fatores abordados no capítulo.	14
Figura 2. Esquema da Ilha de Calor Urbana.	16
Figura 3. Esquema das principais causas da ilha de calor.	17
Figura 4. Parâmetros de adaptação psicológica.	30
Figura 5. Mapa climático Köppen-Geiger da América do Sul.	41
Figura 6. Temperatura do ar e umidade relativa em Campo Grande.	42
Figura 7. Temperatura do ar média sazonal em Campo Grande.	42
Figura 8. Vista aérea da praça.	43
Figura 9. Vista aérea da praça.	43
Figura 10. Perfil do entorno da Praça Ary Coelho.	44
Figura 11. Planta de situação da Praça Ary Coelho.	45
Figura 12. Área de estudo 1.	46
Figura 13. Área de estudo 2.	46
Figura 14. Área de estudo 3.	47
Figura 15. Área de estudo 4.	47
Figura 16. Abordagens escolhidas para cada nível de avaliação.	48
Figura 17. Estação microclimática BABUC-A.	50
Figura 18. BABUC-A no local do experimento.	50
Figura 19. Questionário aplicado.	52
Figura 20. Entrevista com respondente sentado, parado.	53
Figura 21. Entrevista com respondente em pé, realizando atividade leve.	53
Figura 22. Inserção de dados no modelo RayMan 1.2.	56
Figura 23. Cálculo do Fator Visão do Céu (SVF).	56
Figura 24. Calculadora UTCL.	57
Figura 25. Referência dos diferentes índices de isolamento de roupa.	59
Figura 26. Distribuição dos votos de acordo com cada índice.	63
Figura 27. Frequência de VST em função de PET (n = 524).	64
Figura 28. Frequência de votos de desconforto por intervalo PET.	66
Figura 29. VST em relação a diferentes valores de umidade relativa.	70
Figura 30. VST em relação a diferentes velocidades do vento.	72
Figura 31. Votos de sensação em relação a PET (por sombreamento).	74
Figura 32. Estratégias de adaptação para o calor e porcentagem de votos.	76
Figura 33. Votos de sensação em relação a PET (autonomia).	77
Figura 34. Correlação entre VSTs médios e PET.	79
Figura 35. Respostas relacionadas ao tempo de permanência.	81

Figura 36. Horários de desconforto no inverno.....	82
Figura 37. Horários de desconforto na primavera.....	83
Figura 38. Horários de desconforto no verão.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estratégias de mitigação do aquecimento urbano.	22
Tabela 2. Parâmetros de adaptação psicológica	30
Tabela 3. Estudos de conforto térmico urbano no Brasil.	33
Tabela 4. Estudos de conforto térmico urbano no mundo.	34
Tabela 5. Principais resultados de estudos recentes.	35
Tabela 6. Escala sétima de conforto térmico PMV	37
Tabela 7. Escala de sensação térmica	37
Tabela 8. Características técnicas dos sensores utilizados.	50
Tabela 9. Características requeridas e desejáveis.....	51
Tabela 10. Escala de sensação térmica aplicada no questionário.....	55
Tabela 11. Índice de isolamento de roupa e taxa metabólica.	59
Tabela 12. Altura e peso dos respondentes.	60
Tabela 13. Idade e índice de massa corporal.....	60
Tabela 14. Escalas interpretativas adaptadas para sete pontos.	61
Tabela 15. Comparação entre a escala interpretativa PET-CG e outros	65
Tabela 16. Variáveis ambientais monitoradas em campo.	66
Tabela 17. Variáveis ambientais obtidas de estação meteorológica.....	67
Tabela 18. Média das variáveis analisadas, por estação.....	67
Tabela 19. Correlação entre votos de sensação e cada variável ambiental.	68
Tabela 20. Áreas de estudo e Fator Visão do Céu.....	73
Tabela 21. Temperaturas neutras obtidas em estudos similares.	80
Tabela 22. Porcentagem de horas de desconforto por mês.	84

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
CEMTEC	Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMC	Índice de Massa Corporal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISB	Sociedade Internacional de Biometeorologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
LSI	<i>Laboratori di Strumentazione Industriali</i>
MEMI	<i>Munich Energy Balance Model for Individual</i>
MS	Mato Grosso do Sul
PET	<i>Physiological Equivalent Temperature</i> (Temperatura Equivalente Fisiológica)
PLANURB	Instituto Municipal de Planejamento Urbano
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (Voto Médio Predito)
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i> (Percentual de Pessoas Desconfortáveis)
SET	Nova Temperatura Efetiva Padrão
SOLWEIG	<i>Solar and Longwave Environmental Irradiance Geometry</i>
SVF	<i>Sky View Factor</i> (Fator Visão do Céu)
T_{ar}	Temperatura do ar
T_{rm}	Temperatura radiante média
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UN	<i>United Nations</i> (Nações Unidas)
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNHABITAT	<i>United Nations Human Settlements Programme</i>
UNISDR	<i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>
UR	Umidade relativa do ar
UTCI	<i>Universal Thermal Climate Index</i> (Índice Termo-Climático Universal)
V_{ar}	Velocidade do ar
VST	Voto de Sensação Térmica

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius
°C PET	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius PET
clo	Unidade de medida de isolamento da roupa
cm	Unidade de medida de comprimento em centímetros
h	Unidade de medida de tempo em horas
ha	Unidade de medida de área em hectare
kg	Unidade de medida de massa em kilograma
m	Unidade de medida de comprimento em metro
m/s	Unidade de medida de velocidade em metros por segundo
m ²	Unidade de medida de área em metro quadrado
m ² . °C /W	Unidade de medida de isolamento da roupa em metro quadrado graus Celsius por watt
met	Unidade de medida de taxa metabólica
min	Unidade de medida de tempo em minutos
W/m ²	Unidade de medida de taxa metabólica em watts por metro quadrado

RESUMO

LUCCHESI, J. R. (2016). Influência das condições microclimáticas no conforto e adaptação térmica: o estudo de caso de uma praça pública em Campo Grande-MS. Campo Grande, 2016. 103 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A ocupação desordenada da zona urbana implica em diversos efeitos na cidade, dentre eles alterações no clima local. Por sua vez, a modificação do clima local implica no aumento da temperatura das cidades, afetando negativamente a saúde e o conforto térmico da população. O objetivo geral deste estudo é investigar a influência das condições microclimáticas no conforto e adaptação térmicos em uma praça pública de Campo Grande-MS. Para esse propósito, foram realizados simultaneamente durante pesquisas de campo: a aplicação de questionários (para levantamento das sensações de conforto) e monitoramento microclimático (para levantamento de dados ambientais). Ainda, este estudo conduziu uma análise comparativa entre diferentes métodos de avaliação do conforto térmico. A escala interpretativa do índice Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) foi calibrada para a realidade fisiológica de Campo Grande com base nos dados coletados em campo. O intervalo de conforto térmico encontrado foi 21-27 °C PET (acurácia de 56%). Os resultados indicam que as condições microclimáticas influenciaram significativamente na percepção do ambiente térmico, sendo a temperatura radiante média a variável de maior relevância. No entanto, a abordagem puramente fisiológica foi insuficiente na avaliação do conforto térmico ao ar livre. Assim, fatores psicológicos e comportamentais influenciam na avaliação individual do ambiente térmico. As informações bioclimáticas fornecidas por este estudo podem ser usadas por arquitetos (paisagistas) e urbanistas na elaboração de projetos de áreas abertas públicas no município.

Palavras-chave: clima quente-úmido; índices térmicos; calibração PET.

ABSTRACT

The disorderly occupation of the urban area implies in different effects on the city, changes in the local climate included. In turn, local climate modifications imply on increasing temperature of cities, adversely affecting the health and comfort of urban dwellers. The main objective of this study is to investigate the influence of microclimatic conditions on thermal comfort and adaptation in a public square located in Campo Grande-MS (Brazil). To accomplish this, were performed simultaneously during field experiments: questionnaire surveys (to acquire actual thermal sensation votes) and microclimate measurements (to acquire environmental data). Furthermore, this study conducted a comparative analysis of different methodologies of thermal comfort assessment. The interpretative scale of Physiological Equivalent Temperature (PET) was calibrated to the physiological reality of Campo Grande inhabitants based on data collected during the field campaigns. The thermal comfort range obtained was 21-27 °C PET (56% accuracy). Results indicate that the microclimatic conditions influenced significantly on people's perception of the thermal environment, particularly mean radiant temperature. However, a purely physiological approach was insufficient in outdoor thermal comfort assessment. Thus, psychological and behavioral factors influence the individual's assessment of the thermal environment. Bioclimatic information provided by this study can be used by (landscape) architects and urban planners when designing public open areas in the city.

Keywords: hot-humid climate; thermal indices; PET calibration.

1. INTRODUÇÃO

Há razões para se acreditar, segundo De Dear et al. (2013), que o avanço na pesquisa de conforto térmico ao longo dos próximos vinte anos será impulsionado pelas mudanças climáticas e pela urgência da descarbonização (retirada de excesso de carbono) do ambiente construído. De fato, devido ao aumento da temperatura global previsto, é provável que o clima se torne cada vez mais desconfortável, sendo que os efeitos atingirão mais gravemente as áreas urbanas.

As cidades são complexas redes de sistemas interligados, de tal modo que mudanças no ambiente construído afetam diretamente seu macroclima. O macroclima refere-se às condições ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, dentre outros) de uma dada região. Por sua vez, as mudanças macroclimáticas atingem condições físicas em menor escala, os chamados microclimas. Microclima refere-se ao clima específico de um espaço confinado. Ou seja, as condições atmosféricas particulares de uma pequena área (tal como uma praça, um parque, uma rua, dentre outros).

Tais mudanças no clima urbano resultam em efeitos (muitas vezes negativos) sobre a saúde e conforto dos habitantes urbanos. Além disso, podem implicar no aumento do consumo de energia dos edifícios para resfriamento. Edifícios contribuem com mais de 30% das emissões de dióxido de carbono e são responsáveis por cerca de 40% do consumo mundial de energia, sendo que grande parte é utilizada para proporcionar conforto térmico aos ocupantes (SANTAMOURIS e KOLOKOTSA, 2013; YANG et al., 2014).

Assim, o conforto térmico é um dos impactos mais diretos exercidos pelo ambiente construído sobre os seus ocupantes (De Dear et al., 2013). No caso específico de espaços abertos, proporcionar condições de conforto torna-se um desafio muito mais complexo do que no caso de ambientes fechados. O fato se deve à dinamicidade do ambiente aberto e à diversa gama de fatores que influenciam não só as condições ambientais (caráter objetivo), mas também as psicológicas (caráter subjetivo). Dessa maneira, as dificuldades que o estudo do conforto térmico ao ar livre impõe têm desencorajado a pesquisa na área. Ainda, a falta de normas e diretrizes específicas implicam em resultados discrepantes com a realidade.

Estudos brasileiros têm investigado as condições de conforto considerando atributos físicos da cidade, tais como: geometria urbana (Krüger et al., 2011), sombreamento (Fator Visão do Céu) (Minella et al., 2011), ventilação (Silva e Alvarez, 2015), vegetação (Abreu-Harbach et al., 2015), propriedades de superfície e uso do solo (Carfan et al., 2014), e temperatura do ar ou de superfície (ilhas de calor urbanas) (Silva et al., 2010). No entanto, poucos investigaram a influência das condições ambientais sobre o conforto

térmico sob a ótica adaptativa, abordagem essa que vem sendo cada vez mais adotada em estudos internacionais recentes.

O conceito convencional de conforto térmico envolve apenas aspectos físicos e fisiológicos, assim, a maioria dos estudos são baseados em modelos teóricos de termorregulação (Nikolopoulou, 2011). Porém, pesquisas realizadas na Europa (clima temperado) (Nikolopoulou et al., 2001; Nikolopoulou e Steemers, 2003; Thorsson et al., 2004, Katschner, 2006) e Taiwan (clima quente-úmido) (Lin, 2009; Lin et al., 2011; Lin et al., 2013) demonstraram que a adaptação térmica desempenha papel importante na avaliação individual das condições térmicas. Por esta razão, não é suficiente projetar espaços abertos apenas com base no ambiente físico (Nikolopoulou e Steemers, 2003).

Estudos têm apresentado diretrizes climáticas de projeto para as cidades de Valencia/ Espanha (Gómez et al., 2013), Cambridge/Inglaterra (Nikolopoulou et al., 2001), Gotemburgo/Suécia (Thorsson et al., 2004), Chiayi/Taiwan (Lin et al., 2013), Lisboa/Portugal (Alcoforado et al., 2009), dentre outros, com base em dados coletados em experimentos de campo. Mas nenhum ainda foi apresentado para Campo Grande-MS/Brasil ou qualquer outra cidade do Centro-Oeste brasileiro. O planejamento inovador sensível ao clima deve incluir fatores subjetivos, de modo a criar ambientes termicamente adequados de acordo com as preferências fisiológicas e psicológicas locais.

Diante disso, o presente trabalho se propõe a aplicar e comparar diferentes índices de avaliação de conforto térmico urbano seguindo as metodologias mais usadas atualmente em estudos similares realizados em diferentes países. Com base na revisão de literatura, levanta-se a hipótese de que fatores psicológicos e comportamentais influenciam na avaliação pessoal do ambiente térmico. Com base nos resultados obtidos, diretrizes de projeto são sugeridas específicas para o município em questão.

2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

É o objetivo geral deste estudo investigar a influência das condições microclimáticas no conforto e adaptação térmicos de visitantes em uma praça pública de Campo Grande (MS), de clima quente-úmido.

São os objetivos específicos:

- obter os valores dos índices: Voto de Sensação Térmica (VST) (ISO 10551:1995); Voto Médio Predito (PMV) (ISO 7730:2005); VST-Andreasi (Andreasi, 2009); Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) (Mayer e Höppe, 1987); Índice Termo-Climático Universal (UTCI) (ISB, 2002); Sensação de Conforto Térmico (Y_{DS}) (Sangkertadi e Syafriny, 2014) e Temperatura Equivalente Percebida (TEP) (Monteiro e Alucci, 2010).
- Discutir a correlação observada entre os votos de sensação calculados (PMV, VST-Andreasi, PET, UTCI, Y_{DS} e TEP) e os votos de sensação reais (VST).
- Calibrar o índice de melhor desempenho para a realidade fisiológica local e obter as temperaturas neutras para as estações quente e fria.
- Propôr diretrizes bioclimáticas que possam ser utilizadas como referência em projetos futuros de espaços abertos públicos no município de Campo Grande-MS.

3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação estrutura-se em oito capítulos principais: o capítulo um, "introdução", insere o leitor no contexto geral do estudo, levantando as primeiras discussões e apresentando os primeiros desafios da pesquisa do conforto térmico urbano. O capítulo dois apresenta os objetivos gerais e específicos do trabalho. O terceiro (presente capítulo), adianta para o leitor os tópicos sobre os quais este estudo irá discorrer.

O quarto capítulo apresenta uma revisão de literatura, bem como os principais conceitos relacionados ao tema principal do trabalho. O capítulo cinco retrata em detalhes a proposta metodológica deste trabalho, descrevendo a área de estudo, as etapas da coleta de dados, elaboração do questionário aplicado, e apresentação dos modelos utilizados para cálculo dos índices de avaliação de conforto térmico aqui abordados.

O capítulo seis apresenta os resultados do monitoramento climático, os índices de conforto estudados (a aplicabilidade de cada método é apresentada individualmente e comparada entre si), discussões sobre as estratégias de adaptação térmica observadas na praça, bem como as considerações de projeto para espaços públicos abertos locais. O capítulo sete, "conclusões", reúne as contribuições teóricas e práticas deste estudo. Por fim, o capítulo oito apresenta sugestões de trabalhos futuros para maior aprofundamento no tema.

4. REVISÃO DE LITERATURA

De modo a entender como as condições climáticas influenciam nas condições de conforto térmico em zonas urbanas, primeiro é preciso entender os desafios que as cidades atualmente enfrentam na questão da qualidade ambiental. Os desafios associados ao ambiente construído (cidade física) podem ser confrontados através da aplicação de conceitos de bioclimatologia no planejamento urbano, de modo a evitar (ou diminuir) o aquecimento das cidades. O esquema a seguir (Figura 1) demonstra como cada um dos subtópicos deste capítulo se relacionam.

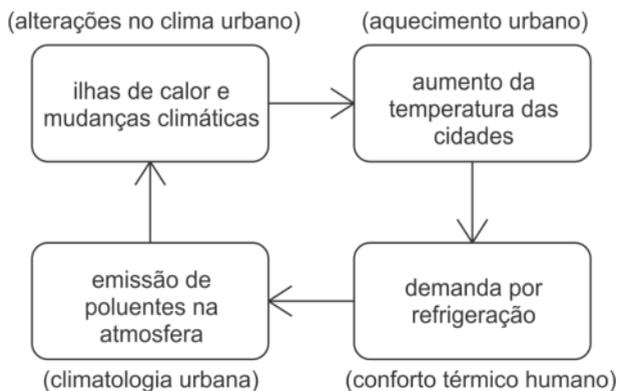


Figura 1. Relação cíclica entre fatores abordados no capítulo.

4.1. Alterações no clima urbano

O processo de urbanização no Brasil tem sido mais intenso que a média global, inclusive ultrapassando o dos países desenvolvidos durante os anos 80 (FERREIRA et al., 2013). Enquanto a taxa de urbanização mundial, em 2011, era de 52,1% (UN, 2011) a taxa brasileira, em 2010, era de 84,36%; sendo que o município de Campo Grande apresentou a taxa mais alta de todo o país: 98% (IBGE, 2010).

Essa migração desordenada, segundo Wong et al. (2011), implica em efeitos na cidade tais como o aumento do consumo energético das edificações, modificações nos padrões de vento, aumento da concentração de poluentes do ar e alterações na climatologia urbana; todos consequência da tentativa das cidades em se adaptar à crescente demanda por habitação, desenvolvimento comercial, espaço de lazer e outros. Uma maneira de avaliar o impacto da ocupação urbana no clima da cidade é analisar o balanço energético na superfície, tal como feito por Ferreira et al. (2011), que

constatarem que a energia liberada por fontes veiculares representa metade do total do fluxo de energia antropogênica na cidade de São Paulo.

No contexto das alterações no clima urbano, os dois principais desafios enfrentados pelas cidades são: o fenômeno das ilhas de calor e as mudanças climáticas. As mudanças climáticas podem ser descritas como o “processo de aumento da temperatura do planeta como resultado da retenção de energia solar pelo sistema” (ALMUSAED, 2011; p. 123). Já a ilha de calor é uma anomalia climática típica de cidades altamente urbanizadas, que apresenta considerável diferença entre a temperatura registrada no centro urbano em relação às áreas rurais adjacentes (LUCENA et al., 2013).

Tanto um quanto o outro têm o homem como o principal agente transformador, cuja interferência permite às cidades a capacidade de alterar seus climas (Van Esch et al., 2012; Gago et al., 2013; Gómez et al., 2013), uma vez que os microclimas são parcialmente determinados pelo ambiente construído (Coseo e Larsen, 2014; Skoulika et al., 2014). Segundo Ferreira et al. (2011), a progressiva substituição das superfícies naturais por materiais artificiais, bem como a contínua liberação de gases e partículas na atmosfera, contribuem para a degradação ambiental e podem alterar os padrões climáticos locais. Enquanto a previsão de mudanças climáticas e seus impactos em escala global ainda sejam incertos, os efeitos locais da urbanização sobre o clima têm sido bastante documentados (GRIMMOND, 2007).

Ambos os fenômenos causam o aumento da temperatura nas zonas urbanas, implicando em crescente demanda por resfriamento artificial – que, por sua vez, gera maior emissão de poluentes na atmosfera. Alertava Geller (2003) que se continuarem as atuais tendências de fornecimento e de demanda de energia, sofreremos um aquecimento global dramático durante o século XXI. A concentração de dióxido de carbono, juntamente com outros gases estufa, levaria a um aumento de 1,4 a 5,8 °C na temperatura média da superfície terrestre até 2100 (IPCC, 2007). Este cenário alarmante tem mudado a percepção do ambiente urbano pelos habitantes.

Embora historicamente as cidades tenham sido consideradas locais de refúgio de desastres e como amortecedores contra mudanças ambientais, hoje elas são consideradas mais como focos de ameaças e riscos (WAMSLER et al., 2013). Diante disto, tem havido crescente preocupação por parte dos urbanistas quanto à resiliência das cidades. O termo “resiliência” foi emprestado da ecologia e significa “a capacidade de um sistema de submeter-se à perturbação e manter suas funções e comandos” (Gunderson e Holling, 2001; *apud* Jabareen, 2013). É aplicado no contexto urbano como:

“[...] a capacidade de um sistema, comunidade, ou sociedade expostos a riscos, de resistir, absorver, acomodar e recuperar-se dos efeitos de ameaça em tempo hábil e eficiente, por meio da preservação e

restauração de suas estruturas essenciais e funções básicas.” (UNISDR, 2012; p. 86).

Assim, o planejador consciente se vê no dever de projetar levando em consideração as atuais restrições energéticas, bem como as ameaças ao clima urbano que comprometem a qualidade de vida dos habitantes das cidades. O planejador urbano deve acomodar a crescente população da melhor maneira possível, cautelosamente avaliando o impacto de suas escolhas no ambiente construído.

4.1.1. Ilhas de calor urbanas

A anomalia climática mais significativa é o surgimento das ilhas de calor urbanas (Oke, 1987), que continuam a ser o fenômeno mais estudado da climatologia urbana (COSEO e LARSEN, 2014). Explicam Lucena et al. (2013) que, uma vez que o fenômeno se relaciona às diferenças entre temperaturas registradas na zona rural e urbana (Figura 2), a ilha de calor é uma medida de comparação e, portanto, não se refere a uma medida absoluta de temperatura.

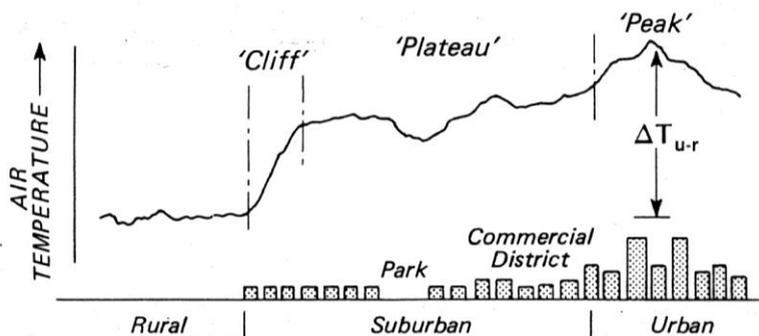


Figura 2. Esquema da Ilha de Calor Urbana. Fonte: Oke (1987).

A relação entre o clima e a cidade é recíproca: a cidade influencia no clima urbano através de sua tipologia e em troca o clima urbano influencia no desempenho e nas necessidades energéticas dos edifícios, bem como no modo como os espaços ao ar livre da cidade são utilizados (VAN ESCH et al., 2012; LIN et al., 2012). Em menor escala, a geometria, espaçamento e orientação de edifícios e espaços abertos fortemente influenciam no microclima da cidade (KLEEREKOPER et al., 2012).

A ilha de calor é um dos efeitos resultantes da substituição de ecossistemas naturais por solo urbano (FERREIRA et al., 2013). Segundo Oke (1987) e Santamouris (2001), o fenômeno tem as seguintes causas (Figura 3):

- 1) absorção de radiação solar de onda curta por materiais de baixo albedo (ou seja, com baixa capacidade de refletir a radiação solar), bem como o “aprisionamento” da radiação entre os edifícios e a superfície das ruas;
- 2) poluição do ar na atmosfera urbana, que absorve e reemite radiação de onda longa;
- 3) obstrução do céu por prédios, que resulta na redução de perda de calor por radiação das ondas longas nos cânions. O calor é interceptado pelas superfícies de obstrução e absorvido ou irradiado de volta para o tecido urbano;
- 4) calor antropogênico, que é liberado por processos de combustão, tais como tráfego de veículos, aquecimento e atividades industriais;
- 5) aumento do armazenamento de calor por materiais de grande inércia térmica. Além disso, as cidades têm uma maior área de superfície em comparação com áreas rurais e, portanto, mais calor pode ser armazenado;
- 6) a evaporação das áreas urbanas é baixa por causa das superfícies impermeabilizadas, como consequência, mais energia é colocada em forma de calor sensível e menos em calor latente;
- 7) o transporte de calor turbulento entre as ruas diminui pela redução da velocidade do vento.

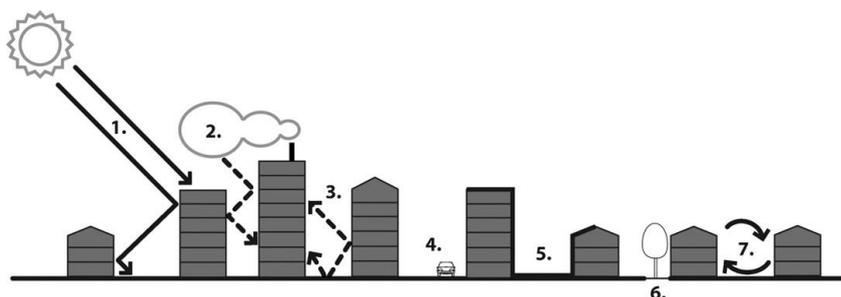


Figura 3. Esquema das principais causas da ilha de calor.

Fonte: Kleerekoper et al (2012)

Em princípio, a ilha de calor se refere ao aumento da temperatura do ar, porém, pode também se referir ao calor da superfície (LUCENA et al., 2013). Diante disso, os estudos referentes a esse fenômeno podem ser divididos em duas abordagens: a de mesoescala, que usa imagens de satélite de sensoriamento remoto para localizar as ilhas de calor de acordo com a temperatura de superfície; e a abordagem de microescala, que usa estações meteorológicas pequenas ou dispositivos de medição móveis para determinar

as ilhas de calor através da temperatura do ar (SANTAMOURIS, 2013; COSEO e LARSEN, 2014).

Portanto, compreender as causas do efeito da ilha de calor urbana permite uma visão mais abrangente sobre estratégias de mitigação, sendo o principal objetivo destas a redução do consumo de energia das cidades e da emissão de gases estufa na atmosfera. Possuindo este conhecimento, o urbanista pode promover a qualidade de vida nas cidades, uma vez que o fenômeno causa grande impacto nos cidadãos, aumentando consideravelmente o consumo de energia para refrigeração, intensificando a concentração de poluentes e prejudicando as condições de conforto térmico.

4.1.2. Mudanças climáticas globais

Dada a grande e crescente fração da população que habita as cidades e a parcela desproporcional dos recursos utilizados pelos residentes urbanos, as cidades e seus habitantes são fatores-chave nas mudanças climáticas globais (GRIMMOND, 2007). Apesar das incertezas sobre o papel desempenhado pela urbanização sobre essas mudanças, admite-se que estas podem afetar o clima das cidades, agravando ainda mais os problemas causados pela urbanização (UNHABITAT, 2011; FERREIRA et al., 2013).

As causas e efeitos das mudanças climáticas têm sido muito debatidos por cientistas e líderes políticos e muitas iniciativas estão sendo levantadas, tanto no domínio das alterações climáticas quanto da economia de energia. Isso acontece em um momento em que tomadores de decisão se deparam com grandes desafios, tal como a “descarbonização” da economia mundial proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 2007 (ÜRGE-VORSATZ e HERRERO, 2012).

As mudanças climáticas têm caráter global, uma vez que seus impactos podem ser sentidos em qualquer lugar, independentemente da origem do problema. Por isso, os tratados internacionais – tal como a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) – reconhecem a necessidade de cooperação entre todos os países para evitar e reduzir a emissão de gases estufa na atmosfera, como estabelecido pelo Protocolo de Quioto, em vigor desde 2005.

Tal protocolo apresenta obrigações também para países cuja redução da emissão não é obrigatória, caso do Brasil, como a formulação e implementação de planos nacionais para mitigar as mudanças climáticas e para se adaptar às suas consequências. Explica Castello (2011) que, em 2009, o Brasil aprovou uma lei federal que estabelece a Política Nacional sobre a Mudança do Clima, complementando o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC); sendo o objetivo dos dois documentos a elaboração de um plano para controlar as emissões de gases estufa incentivando o desenvolvimento e aprimoramento de ações de mitigação no país.

A resposta ao desafio das mudanças climáticas refere-se à duas questões principais: a mitigação (redução de gases de efeito estufa) e adaptação das cidades (de acordo com os novos fenômenos e riscos climáticos) em busca de um ambiente construído que consuma menos energia, emita menos poluentes e seja mais resiliente (ZANON e VERONES, 2013). Essas ações são de grande relevância, uma vez que "a mudança climática molda – e continuará a moldar – tanto o cenário político-econômico-cultural das nações quanto sua paisagem biofísica" (ALMUSAED, 2011; p. 124).

Embora redução de desastres e adaptação às alterações climáticas sejam desenvolvidas de forma independente, ambas as áreas compartilham de um objetivo comum: reduzir a ocorrência e impactos de desastres relacionados ao clima e os riscos associados (IPCC, 2007; UNISDR, 2012). Assim, precisam ser consideradas como complementares em qualquer tipo de trabalho, incluindo os trabalhos de planejamento urbano (WAMSLER, BRINK e RIVERA, 2013).

De fato, essa perspectiva envolve diferentes setores e desafia a gestão das cidades e do espaço urbanizado, que é onde a maioria dos gases estufa é produzida e energia é consumida (ZANON e VERONES, 2013). Mesmo diante disso, o PNMC não regulamenta as emissões urbanas, embora estas constituam parte relevante do total das emissões brasileiras. Sua versão final concentra-se mais na prevenção do desmatamento e em produção de energia limpa e não considera as emissões provenientes das cidades (CASTELLO, 2011).

Combater as mudanças climáticas tornou-se uma das prioridades da política ambiental mais aceita e celebrada atualmente, resultando na recontextualização de muitos assuntos aparentemente não relacionados que agora são frequentemente apresentados a partir desta nova perspectiva integradora (ÜRGE-VORSATZ e HERRERO, 2012). Com o planejamento urbano não é diferente. As mudanças climáticas irão inevitavelmente aumentar a suscetibilidade das sociedades urbanas caso adaptações efetivas não ocorram nas cidades (IPCC, 2007; UNHABITAT, 2011b). No entanto, sendo a adaptação climática um campo relativamente novo, conhecimento e competência ainda são esparsos e fragmentados (UNISDR, 2012).

4.2. Climatologia e planejamento urbano

Climatologia urbana é um ramo específico da climatologia aplicada, criada para lidar com os desafios impostos pelos efeitos dos fatores climáticos sobre as cidades. Nesse sentido, a climatologia e o planejamento urbano partilham de um interesse comum: oferecer condições ambientais agradáveis aos habitantes da zona urbana. Apesar da complexidade desta relação, há um grande esforço para tornar a climatologia urbana uma ciência mais preditiva,

de modo que suas conclusões possam ser de valor direto no processo de planejamento urbano (OKE, 1984; OKE, 1988; ELIASSON, 2000).

A climatologia urbana começou em 1840, na observação e análise das diferenças meteorológicas registradas entre as áreas rurais e urbanas por Luke Howard em Londres. Porém, a preocupação com o clima tem antecedentes mais antigos, como a arquitetura vernacular – através da experiência empírica acumulada durante gerações, nossos ancestrais aprenderam a adequar suas construções ao clima local.

Atualmente, o *design* bioclimático possui base científica e tem sido uma especialidade particular dos países de língua alemã (HEBBERT e MACKILLOP, 2013). As primeiras iniciativas internacionais em promover a conscientização da importância do conhecimento climático entre os planejadores urbanos ocorreram nas décadas pós-guerra, porém, fracassaram. Em atividades mais recentes, tem se tentado novamente, dessa vez, no contexto das mudanças climáticas.

A compreensão do clima urbano pode servir de importante guia na construção de cidades seguras e agradáveis, cabendo ao meteorologista "fornecer subsídios científicos acerca dos fatores ambientais que possam auxiliar nesta tomada de decisão" (GOUVÊA, 2007; p. 23). Assim, o processo de planejamento urbano envolve a colaboração entre diferentes setores. Carfan et al. (2014) sugerem que o grupo de pesquisadores nesta área deve incluir geógrafos, arquitetos, meteorologistas e sociólogos.

Todos os participantes contribuem para o processo de planejamento com uma determinada atividade que, segundo Kleerekoper et al. (2012), podem ser categorizadas em três naturezas principais: arquitetônica, científica e política. Cada campo possui sua própria linguagem, uma vez que seus focos e objetivos variam de área para área. A arquitetura concentra-se no desenvolvimento de soluções de *design* para dados problemas; a ciência se concentra em descrever e explicar certos fenômenos, e a política incide sobre avaliação e interpretação dos dados apresentados.

Os meteorologistas sabem pouco sobre os requisitos de planejamento, enquanto os planejadores urbanos têm pouca compreensão dos tipos de dados climáticos que podem ser fornecidos para os fins de planejamento (ELIASSON, 2000; GRIMMOND, 2006; WONG et al., 2011; GÓMEZ et al., 2013). A dificuldade na transferência de conhecimento e a relutância no reconhecimento da importância de cada área é claramente descrita a seguir:

"O planejador pode considerar o trabalho do climatologista como irrelevante se o último não percebeu a natureza do problema do planejador e não conseguiu relacionar o seu trabalho com o dele. Isto implica que o climatologista seja ignorante do processo

de planejamento. Se a informação sobre o clima é relevante, mas o planejador considera essa informação incompreensível, isso implica que o usuário seja ignorante da ciência. Por outro lado, se o usuário vir relevância na informação, mas descobre que ela é inaplicável, isso sugere uma falta de comunicação entre as partes" (OKE, 1984; p.1).

Ainda segundo Oke (1984), os maiores obstáculos aos estudos parecem ser a complexidade inerente do assunto, sua natureza interdisciplinar e falta de diálogo significativo entre planejadores e da comunidade de pesquisa climatológica. Ainda, parte do problema se deve à dificuldade em traduzir os resultados em ferramentas para aplicação; o que resulta na falta de técnicas quantitativas, falta de padronização, generalidade, transferibilidade, e ausência de diretrizes claras.

Dentre as razões práticas para a aplicação de tais informações, Oke (1984) identifica as seguintes: conforto, segurança e saúde dos habitantes das cidades; produtividade econômica dos trabalhadores; redução dos custos da deterioração e manutenção da infraestrutura urbana; diminuição do desperdício de recursos energéticos e hídricos; dentre outros.

Com a preocupação atual do desenvolvimento sustentável das cidades, dizem Wong et al (2011), os planejadores urbanos estão começando a incorporar cada vez mais parâmetros climáticos a seus trabalhos como preceitos de projeto. "A compreensão da relação entre forma de construção, sensação térmica e comportamento humano é esperado na intenção de prestar orientações e implicações para as práticas de projeto e planejamento urbano" (CHEN e NG, 2012; p. 122).

De fato, a aplicação de conceitos bioclimáticos permaneceu localizada e pouco conhecida até o surgimento da preocupação com as mudanças climáticas. Para tanto, o estabelecimento de diretrizes de planejamento claras e compreensíveis por climatologistas é uma contribuição essencial para arquitetos e urbanistas.

4.3. Mitigação do aquecimento urbano

De modo a evitar o aumento da temperatura das cidades, estratégias de resfriamento passivo devem ser aplicadas em escala urbana. Segundo Santamouris e Kolokotsa (2013), a refrigeração passiva proporciona excelente conforto térmico e qualidade do ar no ambiente interior e, consequentemente, baixo consumo de energia da edificação. Em paralelo, técnicas e sistemas de resfriamento passivo são amplamente utilizados em espaços ao ar livre para melhorar o microclima local. Baseado nos estudos de Grimmond (2007), Kleerekoper et al. (2012) e Gago et al. (2013), as principais estratégias de mitigação aplicáveis em escala urbana são organizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estudos recentes sobre estratégias de mitigação do aquecimento urbano.

Abordagem			
Microescala	Referência	Estratégia	Escala local
Estratégia	Referência	Estratégia	Referência
Implementação de áreas verdes (parques urbanos)	Skoulika et al. (2014)	Desenho urbano e incidência solar	Allegrini et al. (2012)
Arborização dos cânions	Abreu-Harbach et al. (2015)		
Implantação de elementos d'água	Gómez et al. (2013)	Desenho urbano e ventilação natural	Silva e Alvarez (2015)
Uso de superfícies de alto albedo: - telhados reflexivos; - pavimentos reflexivos.	Akbari e Matthews (2012)	Desenho urbano e topografia	Ketterer e Matzarakis (2014)
Uso de superfícies permeáveis: - telhados verdes; - pavimentos permeáveis.	Santamouris (2014) Santamouris (2013)	Desenho urbano e densidade do ambiente construído	Thorsson et al. (2011)

4.3.1. Microescala

Segundo Oke (1984), a microescala é definida por elementos individuais, tais como edifícios, árvores, ruas, etc. As estratégias de resfriamento que podem ser consideradas para esta escala são as seguintes:

(a) implementação de áreas verdes (parques urbanos):

Parques urbanos contribuem significativamente na melhoria ambiental da cidade. Explicam Skoulika et al. (2014) que a diferença de temperatura entre o parque e o entorno cria uma diferença de pressão

atmosférica que resulta na corrente de ar fresca, resfriando zonas além de seus limites. No entanto, as características do entorno fortemente determinam a influência térmica da área verde.

(b) arborização dos cânions:

Árvores contribuem consideravelmente para a melhoria do clima urbano e para a redução da ilha de calor (OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2014). A diminuição da temperatura é obtida passivamente através da proteção solar oferecida pelas árvores (sombreamento), e ativamente afetando os movimentos do ar e resfriando-o por meio de processos de evapotranspiração (GÓMEZ et al., 2013). Por evapotranspiração entende-se “evaporação da água de uma superfície livre, do solo ou da água transpirada pela vegetação” (OKE, 1987; p. 31). Em outras palavras, a água é retirada do solo, vegetação ou superfície e transportada para a atmosfera na forma de fluxo de calor latente. Grande parte da energia solar é utilizada na evaporação da água diminuindo a energia disponível para o aquecimento da atmosfera pelo fluxo de calor sensível. Em paralelo, árvores mascaram ruídos, estabilizam o solo, filtram o ar de poluentes e evitam erosão, bem como proporcionam relaxamento aos visitantes urbanos (SKOULIKA et al., 2014).

(c) implantação de elementos d'água:

A água pode resfriar o ambiente por evaporação, por absorção de calor (quando há uma grande massa de água, que funciona como um amortecedor de calor) ou através do transporte de calor para fora da zona de movimento, como no caso dos rios (KLEEREKOPER et al., 2012). O efeito de resfriamento por evaporação depende do fluxo de ar, que leva o ar fresco pela cidade. Sua eficiência também é dependente de circunstâncias meteorológicas. Estratégias com aplicação de água, em geral, são mais eficazes quando a superfície tem grandes dimensões, ou quando a água está fluindo ou em movimento, como em uma fonte ou jatos d'água (KLEEREKOPER et al., 2012; GÓMEZ et al., 2013).

(d) uso de superfícies de alto albedo (alta reflexão solar)

A distribuição da temperatura nas cidades é afetada pelo orçamento da radiação urbana: a radiação solar que incidente sobre as superfícies é absorvida e transformada em calor sensível; este calor é então emitido em um intervalo de tempo de volta para o meio ambiente em forma de radiação de onda longa (GAGO et al., 2013). Superfícies (horizontais ou verticais) formam uma grande massa onde o calor se acumula ao longo do dia, portanto, atenção devida deve ser dada à propriedade térmica dos materiais que os compõem. Aumentando a reflexão solar de uma dada superfície, reduzem-se seus ganhos de calor, sua temperatura e sua emissão de radiação infravermelha térmica para

a atmosfera; ajudando a combater os efeitos do aquecimento urbano (AKBARI e MATTHEWS, 2012).

- *Telhados “frios” ou reflexivos*: Akbari e Matthews (2012) afirmam que, além de refletir a luz de volta para a atmosfera, telhados frios também reduzem a necessidade do uso de ar condicionado em edifícios e aumentam o conforto em edifícios não condicionados. Da mesma forma, a aplicação generalizada de telhados (e pavimentos) frios ajudam a mitigar as ilhas de calor durante o verão, reduzindo a carga global de ar condicionado e melhorando a qualidade do conforto exterior.
- *Pavimentos “frios” ou reflexivos*: Pavimentos afetam significativamente o clima urbano – uma vez que cobrem elevada percentagem do tecido urbano, desempenham papel determinante no balanço térmico global das cidades. Seu equilíbrio térmico é determinado pela quantidade de radiação solar absorvida, a radiação infravermelha emitida, a transferência de calor por convecção para o ar atmosférico, o calor armazenado na massa do material e o calor conduzido para o chão (SANTAMOURIS, 2013).

(e) uso de superfícies permeáveis:

O uso de materiais menos permeáveis e menos vegetação faz com que mais energia seja colocada em forma de calor sensível e menos em forma de calor latente (KLEEREKOPER et al., 2012). Dessa maneira, recomenda-se a aplicação das seguintes estratégias para a melhoria da qualidade do ambiente urbano:

- *Telhados verdes*: telhados verdes melhoram o desempenho energético do edifício, bem como as condições ambientais do entorno (GAGO et al., 2013). Santamouris (2014) estudou a capacidade de mitigação dos telhados verdes nas cidades. O autor lista uma série de vantagens desta estratégia, tais como: gerenciamento do escoamento de águas pluviais, aumento da durabilidade do telhado, menor consumo de energia, melhor qualidade do ar, redução de ruído, espaço para a fauna urbana e potencial mitigação das ilhas de calor urbanas.
- *Pavimentos permeáveis*: pavimentos permeáveis permitem que a água passe para o solo através de seus poros, o que contribui para a melhoria do ambiente térmico ao mesmo tempo em que reduz o risco de inundações graças a sua capacidade de drenagem. Quando a temperatura do material aumenta ocorre a evaporação, contribuindo para a diminuição da temperatura do pavimento e consequentemente na mitigação do aquecimento urbano (SANTAMOURIS, 2013).

4.3.2. Escala local

Segundo Oke (1984), a escala local é definida pelo conjunto total de elementos que criam rugosidade na cidade, incluindo também cobertura do solo, espaçamento das edificações, etc. As estratégias de resfriamento que podem ser consideradas para esta escala são as seguintes:

(a) desenho urbano e incidência solar:

O grau de abertura do céu é uma consideração relevante na capacidade de resfriamento de um dado ambiente. O parâmetro que caracteriza o acesso da radiação solar às áreas urbanas é o Fator Visão do Céu (SVF, em inglês) que se relaciona à porção visível do céu em um dado local. O valor de SVF varia entre 0 a 1. Explica Oke (1988) que, para uma superfície horizontal cujo horizonte está desimpedido, subtende-se que o céu está completamente aberto (SVF=1). Valores menores indicam a fração do céu que permanece visível, assim, $1 - \text{SVF}$ é a fração ocupada por obstáculos.

Allegrini et al. (2012) investigaram a influência do microclima urbano sobre a demanda por resfriamento e aquecimento de edifícios. Os autores concluíram que os cânions urbanos têm significativa influência sobre a demanda por resfriamento devido ao efeito de aprisionamento da radiação solar e bloqueio do vento por edifícios vizinhos. Devido às múltiplas reflexões, mais radiação solar e térmica são absorvidas pelas fachadas de edifícios localizados em vizinhanças adensadas do que fachadas de edifícios isolados.

(b) desenho urbano e ventilação natural:

A geometria urbana afeta os padrões de vento. A dimensão dos cânions, por onde o vento flui, determina a capacidade de resfriamento de um dado ambiente, tanto fechado quanto aberto. Essa questão envolve a relação altura/largura (H/W) dos cânions urbanos, uma vez que construções altas e ruas estreitas implicam em menos circulação de ar, além de prender a energia térmica no dossel urbano ocasionando temperaturas mais altas (COSEO e LARSEN, 2014).

No entanto, é também de se esperar que H/W esteja relacionada com outras características físicas associadas com a densidade de construção. Áreas de densidade mais alta geralmente são acompanhadas por maior quantidade de cobertura impermeável, materiais com maior admissão térmica e aumento da densidade de fluxo de calor antropogênico. Esses recursos favorecem o calor sensível ao invés de calor latente, armazenamento de calor ao invés de troca de calor e disponibilidade de energia adicional (OKE, 1988).

(c) desenho urbano e topografia:

Uma região geográfica específica designada para um dado desenvolvimento urbano deve determinar sua natureza climática. Por isso, dados ambientais e climáticos locais devem ser levantados e analisados, sendo a topografia um dos fatores que merecem ser examinados em detalhe, uma vez que podem ter influência sobre o clima local (BITAN, 1988). Ketterer e Matzarakis (2014) estudaram a quantificação humano-biometeorológica das ilhas de calor urbanas na cidade de Stuttgart, localizada em topografia complexa na parte sul ocidental da Alemanha – a zona mais quente do país. Os resultados mostraram que a baixa velocidade do vento é característico da cidade devido à sua posição abrigada. Os autores concluíram que a distribuição espacial da ilha de calor é regida pela topografia, pelo uso do solo e pela estrutura da morfologia urbana.

(d) desenho urbano e densidade do ambiente construído:

A ativação de medidas de “baixo carbono” exigem práticas de planejamento e gestão urbana inovadoras; por isso, muitos urbanistas tornaram-se conscientes da importância atual do conceito de “cidade compacta”. Cidades compactas são mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas do que locais de baixa densidade populacional, uma vez que a forma compacta promove aquecimento urbano, especialmente à noite (OKE, 1988). No entanto, em uma escala intra-urbana, uma estrutura densamente construída mostra-se eficiente na mitigação do estresse térmico diurno em climas quentes (THORSSON et al., 2011). O conceito de cidade compacta faz pouco sentido para países em desenvolvimento, como o Brasil, porque o contexto é completamente diferente de países norte-americanos e europeus, cujas cidades experimentaram declínio das populações e desindustrialização (OKTAY, 2012).

4.4. Conforto térmico humano

Tradicionalmente, o conceito de conforto térmico envolve aspectos físicos e fisiológicos; porém, estudos mais recentes têm afirmado que o julgamento de conforto é um processo cognitivo que envolve outros fatores além desses, tais como psicológicos e comportamentais (LIN et al., 2011; CHEN e NG, 2012). Sob o aspecto fisiológico, a sensação de conforto está associada à condição de neutralidade térmica. Segundo Fanger (1970), a neutralidade térmica é alcançada quando o calor produzido no interior do corpo é igual à perda de calor líquido; nestas condições, não há necessidade de ativar mecanismos termorreguladores para manter estável a temperatura do corpo.

Por mecanismos de termorregulação, entende-se uma variedade de reações fisiológicas autônomas necessárias para alcançar e manter o equilíbrio térmico que, segundo Tung et al. (2014), são ativadas quando o corpo humano se encontra exposto a uma combinação de fatores ambientais. Em condições de frio, o corpo tenta manter o calor interno por vasoconstrição e tremores. Em condições de calor, os vasos sanguíneos se dilatam para facilitar o fluxo de sangue periférico, transportando o calor do centro do corpo para a pele. Depois de atingir a superfície, o calor é liberado para o ambiente predominantemente pela transpiração (TUNG et al., 2014).

Em 1962, Macpherson definiu os seis seguintes fatores como aqueles que afetam a sensação térmica: quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média), e duas variáveis pessoais (vestimenta e taxa metabólica). Estes fatores ainda são considerados nas principais normas utilizadas mundialmente. No entanto, o conforto térmico é definido pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2013; p. 19) como “condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico”; ou seja, admite-se que o julgamento de conforto é um processo cognitivo que envolve não apenas a influência de fatores físicos e fisiológicos (objetivos), mas também de fatores psicológicos (subjetivos).

4.4.1. Adaptação térmica

No momento, duas abordagens diferentes para a definição de conforto térmico coexistem, cada uma com suas potencialidades e limites (De Dear et al., 2013): a abordagem estática e a abordagem adaptativa. A primeira utiliza dados de experimentos realizados em câmaras climatizadas para apoiar a sua teoria (a exemplo, os clássicos estudos de Fanger, 1970), enquanto a abordagem adaptativa utiliza dados coletados em campo, em situações reais. Ao contrário do modelo estático, o modelo adaptativo considera o ocupante como componente integral do sistema de conforto, interferindo ativamente no ambiente em busca da melhoria de suas condições térmicas (DE DEAR et al., 2013).

Os primeiros estudos referentes ao assunto foram publicados por Humphreys e Nicol na década de 70, mas seu conceito foi trazido para a pesquisa convencional pela ASHRAE, quando designou De Dear e Brager (1998) a desenvolverem um modelo de conforto adaptativo a partir de dados de campo coletados nas principais zonas climáticas do mundo. Neste estudo, os processos adaptativos foram classificados como: fisiológicos (adaptação genética e aclimação), comportamentais (pessoal, tecnológico e cultural) e psicológicos (experiência passada e expectativa).

No caso específico da avaliação da relação entre condições microclimáticas e conforto térmico em espaços abertos, podem ser utilizados

parâmetros climáticos individuais (tal como temperatura do ar, velocidade do vento, fator visão do céu, etc.) ou parâmetros "compostos" (tal como a temperatura radiante média e índices avaliativos). No entanto, o conforto térmico não pode ser devidamente explicado levando em consideração apenas o balanço de energia do corpo humano ou indicadores climáticos, uma vez que sua avaliação também é afetada por fatores psicológicos e comportamentais (DE DEAR e BRAGER, 1998; NIKOLOPOULOU et al., 2001; NIKOLOPOULOU e STEEMERS, 2003). Esses fatores contextuais são coletivamente conhecidos como "adaptação térmica".

O termo "adaptação" pode ser genericamente descrito como "a diminuição gradual da resposta do organismo à exposição repetida a um estímulo, que envolve todas as ações que tornam mais adequada a sobrevivência nesse ambiente" (Nikolopoulou e Steemers, 2003, p. 96). Enquanto De Dear e Brager (1998) investigaram a adaptação térmica em ambientes fechados, Nikolopoulou et al. (2001) foram um dos primeiros autores a investigar a adaptação em espaços abertos.

Segundo Nikolopoulou e Steemers (2003), a chamada "oportunidade adaptativa" (ou seja, o grau em que as pessoas podem se adaptar ao ambiente) pode ser separada em três categorias principais (no caso do ambiente exterior):

1. **adaptação física:** envolve todas as mudanças que uma pessoa faz afim de se ajustar ao meio ambiente ou alterar o ambiente às suas necessidades particulares. Podem-se identificar dois tipos diferentes de adaptação:
 - 1.1. Na **adaptação reativa**, as únicas mudanças que ocorrem são pessoais, como alteração no vestuário, postura e posição, ou mesmo de calor metabólico com o consumo de bebidas quentes ou frias.
 - 1.2. Na **adaptação interativa** as pessoas fazem alterações no ambiente a fim de melhorarem suas condições de conforto, como abrir janelas, abrir um guarda-sol, etc.
2. **adaptação fisiológica:** implica em modificações nas respostas fisiológicas que resultam da exposição repetida a estímulos, levando a uma diminuição da tensão gradual dessa exposição (aclimação).
3. **adaptação psicológica:** pessoas diferentes percebem o ambiente de uma maneira diferente. A resposta humana a um estímulo físico não tem relação direta com a sua magnitude, mas depende da 'informação' que as pessoas têm diante de uma situação particular. A adaptação psicológica se divide em:
 - 3.1. **Naturalidade:** é um ambiente livre de artificialidade. As pessoas podem tolerar amplas mudanças no ambiente físico, desde que sejam naturais.

- 3.2. **Expectativas:** é o que o ambiente deveria ser, ao invés do que ele realmente é. Em espaços ao ar livre isso se relaciona com respostas frequentes tais como "essas condições climáticas estão aceitáveis para esta época do ano".
- 3.3. **Experiência passada:** a experiência de curto prazo está relacionada com a memória e parece ser responsável pelas mudanças nas expectativas das pessoas de um dia para o seguinte. A experiência de longo prazo está relacionada com os esquemas que as pessoas construíram em suas mentes, determinando suas ações em diferentes circunstâncias.
- 3.4. **Tempo de exposição:** a exposição à uma situação desconfortável não é visto negativamente se o indivíduo sabe que será por pouco tempo. Este é um fator crítico para espaços externos, pois determina o tempo de permanência no local.
- 3.5. **Percepção de controle:** se o indivíduo tem um alto grau de controle sobre a fonte de seu desconforto, ele pode tolerar grandes variações. Assim, é essencial a disponibilidade de opções aos visitantes, permitindo oportunidades de ajuste de acordo com suas necessidades pessoais.
- 3.6. **Estímulo ambiental:** a condição de conforto foi determinada como aquela onde os ocupantes não se sentem nem com calor nem com frio, onde as condições ambientais são 'neutras'. No entanto, acredita-se cada vez mais que o ambiente dinâmico é melhor percebido pelos usuários, uma vez que um ambiente estático pode se tornar intolerável. Aliás, o estímulo ambiental é provavelmente a principal razão pelo qual a maioria das pessoas procura um espaço aberto - elas vêem o ambiente externo (com ar fresco, sol e vento) como revigorante, como um estímulo para os sentidos, em contraste com o típico local de trabalho de ambiente mais monótono.

No caso específico da adaptação psicológica, é interessante destacar a diferença significativa entre o número de fatores que influenciam no conforto térmico em espaços abertos se comparado com ambientes fechados. Isso ocorre devido à dinamicidade do espaço exterior e da variabilidade de suas condições (espaciais, climáticas, temporais, dentre outras). A Tabela 2 apresenta uma comparação entre as duas situações:

Tabela 2. Comparação entre parâmetros de adaptação psicológica em espaços abertos e fechados.

Adaptação psicológica	
Espaços abertos	Espaços fechados
Experiência passada	Experiência passada
Expectativa	Expectativa
Percepção de controle	Percepção de controle
Tempo de Exposição	
Naturalidade	
Estímulo ambiental	
Nikolopoulou e Steemers (2003)	De Dear e Brager (1998)

Ainda na questão específica da adaptação psicológica, Nikolopoulou e Steemers (2003) apresentam uma relação entre os seis diferentes parâmetros citados anteriormente (Figura 4).

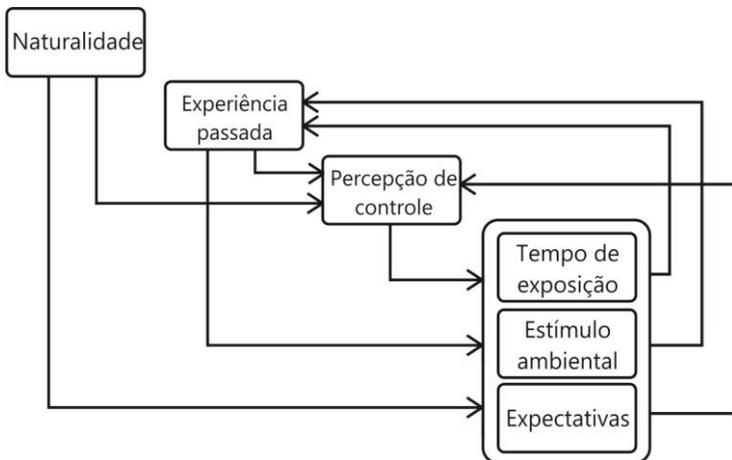


Figura 4. Relação entre os diferentes parâmetros de adaptação psicológica que influenciam no conforto térmico em espaços abertos. Adaptado de Nikolopoulou e Steemers (2003).

Segundo os autores, compreender a interrelação entre esses parâmetros auxilia no processo de planejamento de áreas abertas, uma vez que eles influenciam na qualidade do espaço e, conseqüentemente, em seu uso. Tanto que, neste mesmo estudo, são apresentadas diretrizes de projeto para a consideração arquitetônica de cada um desses parâmetros, de modo a estimular o comportamento adaptativo.

A variação do conforto térmico com a mudança das estações é um significativo exemplo de adaptação térmica e está relacionada à fatores psicológicos como expectativas futuras e experiências passadas (LIN et al.,

2011). Nikolopoulou et al. (2001) investigaram a variabilidade sazonal do conforto térmico no contexto de Cambridge, Reino Unido, de clima temperado. Os autores observaram que a temperatura neutra, declarada pelos entrevistados, mudou de 10 °C no inverno para 30 °C no verão.

Lin et al. (2011) investigaram se esta significativa variação de temperatura neutra com a mudança das estações também ocorre em regiões de clima quente e úmido, como Taiwan, cuja amplitude térmica é relativamente baixa (temperatura do ar varia em 10 °C ao longo do ano). Os autores concluíram que as temperaturas neutras não variaram dramaticamente como em Cambridge, sendo as temperaturas neutras encontradas de 29,3 °C para estações quentes e 28 °C para estações frias. Embora apresentem amplitudes diferentes, ambas as investigações confirmam a influência da adaptação térmica sobre a variabilidade sazonal do conforto térmico.

4.4.2. O estudo do conforto térmico em áreas abertas

A pesquisa sobre conforto térmico urbano envolve condições e dificuldades que não são encontradas nos estudos de conforto térmico no ambiente interior. Segundo Givoni et al. (2003), quando expostas ao ar livre, as pessoas experimentam variabilidade nas condições ambientais – tais como variação de sol e sombra, mudanças na velocidade do vento, e assim por diante – que não são experimentadas em ambientes fechados. Os autores dizem que os estímulos ambientais causados por essa variabilidade é muito apreciada e é inclusive um dos motivos principais que levam as pessoas a se exporem ao ar livre.

No entanto, devido à grande complexidade do ambiente externo (em termos de variabilidade temporal e espacial, bem como a grande variedade de atividades lá realizadas) tem havido poucas tentativas de compreender as condições de conforto exterior (NIKOLOPOULOU et al., 2001). Justamente devido à dificuldade de controlar o ambiente térmico ao ar livre, é importante proporcionar condições térmicas confortáveis que satisfaçam as expectativas dos usuários (HWANG et al., 2009).

Ainda, Spagnolo e De Dear (2003) identificaram outras três razões principais para a preferência pelo estudo de conforto térmico em ambientes fechados: pessoas em países desenvolvidos (onde se realizam a maioria das pesquisas no assunto) passam mais tempo em ambientes fechados do que abertos; em ambientes de trabalho a produtividade está diretamente relacionada a conforto térmico; e é mais difícil identificar os responsáveis pelas áreas ao ar livre.

A revisão de literatura de conforto térmico em espaços abertos revelou que a avaliação dos fatores comportamentais é escassa nos estudos brasileiros atuais (Tabela 3). Como apresentado na Tabela 4, a consideração de aspectos comportamentais tem sido cada vez mais frequente nos estudos

internacionais. Os principais resultados dos estudos citados encontram-se na Tabela 5.

Nikolopoulou et al. (2001) foram os primeiros autores a levarem em consideração o comportamento humano nos estudos de conforto térmico em espaços abertos. Os autores notaram relevante discrepância entre a sensação de conforto declarada pelos usuários e as condições teoricamente previstas pelo índice PMV de Fanger (1970). Thorsson et al. (2004) também notaram o mesmo problema em relação ao índice PMV. O estudo investigou a influência das condições térmicas nos padrões de comportamento das pessoas em um parque urbano, oferecendo recomendações de planejamento para incentivar o comportamento adaptativo nesses espaços.

Em relação aos estudos internacionais em regiões quente e úmidas especificamente, Lin (2009) analisou relações entre o ambiente térmico e a frequência de visitantes em uma praça pública sem arborização em Taiwan. O estudo evidenciou a importância do sombreamento nos ambientes ao ar livre localizados nas regiões de clima quente-úmido. Lin et al. (2012) aplicaram metodologia semelhante à anterior, mas escolheram um local de estudo altamente arborizado. Lin et al. (2013) investigaram se características de conforto e adaptação térmica influenciam no número de visitantes em uma determinada praça.

Tabela 3. Estudos de conforto térmico urbano no Brasil.

Cidade	Área de estudo	Estação	Índice	Fatores	Nível de avaliação	Abordagem	Referência
São Paulo (SP)	Área urbana	Verão e inverno	Temperatura Equivalente	Condições microclimáticas, aclimação	Físico, fisiológico e psicológico	Monitoramento e questionário	Monteiro e Alucci (2010)
Salvador (BA)	Praças	Verão, outono e inverno	PET	Sombreamento e ventilação	Físico, fisiológico e psicológico	Monitoramento e questionário	Souza et al. (2011)
Curitiba (PR)	Rua de pedestres	Verão, outono e inverno	UTCI	Condições microclimáticas e SVF	Físico, fisiológico e psicológico	Monitoramento e questionário	Bröde et al. (2012)
Ourinhos (SP)	Áreas urbanas	Verão	PMV	Condições microclimáticas	Físico e fisiológico	Monitoramento e simulação	Carfan et al. (2014)
Vitória (ES)	Área urbana	Inverno, primavera e verão	PET	Ventilação	Físico, fisiológico e psicológico	Monitoramento e questionário	Silva e Alvarez (2015)
Campo Grande (MS)	Praça	Inverno, primavera e verão	PET, PMV, VST-And., UTCI, Y _{DS} , TEP	Condições microclimáticas, SVF, comportamento	Físico, fisiológico, psicológico, comportamental	Monitoramento, questionário e observação	Presente estudo

Tabela 4. Estudos de conforto térmico urbano no mundo.

Cidade/ clima	Área de estudo	Estação	Índice	Fatores	Nível de avaliação	Abordagem	Referência
Cambridge (Inglaterra) / Temperado	Área urbana	Primavera, verão e inverno	PMV	Estímulo ambiental e histórico térmico	Físico, fisiológico, psicológico, comportamental	Monitoramento, questionário e observação	Nikolopoul ou et al. (2001)
Gotemburgo (Suécia) / Temperado	Parque	Verão e outono	PMV	Condições microclimáticas e expectativa	Físico, fisiológico, psicológico, comportamental	Monitoramento e observação	Thorsson et al. (2004)
Kassel (Alemanha) / Temperado	Área urbana	Verão e primavera	PET	Condições microclimáticas e expectativa	Físico, fisiológico, comportamental	Monitoramento, questionário e observação	Katzschner (2006)
Taichung (Taiwan) / Quente-úmido	Praça	Primavera, verão, outono e inverno	PET	Condições microclimáticas, SVF e expectativa	Físico, fisiológico, psicológico, comportamental	Monitoramento, questionário e observação	Lin (2009)
Huwei (Taiwan) / Quente-úmido	Praça	Primavera, verão, outono e inverno	PET	Condições microclimáticas, SVF e expectativa	Físico, fisiológico, psicológico, comportamental	Monitoramento, questionário e observação	Lin et al. (2012)
Chiayi (Taiwan) / Quente-úmido	Parque	Primavera, verão, outono e inverno	PET	Condições microclimáticas, SVF e expectativa	Físico, fisiológico, psicológico, comportamental	Monitoramento, questionário e observação	Lin et al. (2013)

Tabela 5. Principais resultados de estudos recentes de conforto térmico urbano.

Localização	Referência	Principais resultados
São Paulo/ Brasil	Monteiro e Alucci (2010)	Propõe modelo adaptativo de predição de sensação térmica em espaços urbanos abertos. Tem como resultado o índice TEP.
Salvador/ Brasil	Souza et al. (2011)	Intervalo de conforto local calibrado para 26 a 29 °C PET. A sombra mostrou-se de vital importância em proporcionar condições de conforto aos visitantes.
Curitiba/ Brasil	Bröde et al. (2012)	O vestuário adotado pelos indivíduos é dependente da temperatura do ar, estação e radiação solar. O índice UTCI teve desempenho satisfatório em Curitiba.
Ourinhos/ Brasil	Carfan et al. (2014)	Segundo a metodologia ISO 7730, superfícies asfaltadas proporcionam condições térmicas muito desfavoráveis ao conforto, enquanto superfícies gramadas proporcionaram condições mais adequadas.
Vitória/ Brasil	Silva e Alvarez (2015)	Propõe metodologia (de abordagem integrada) de avaliação do nível de adequação de determinada área urbana em relação à questões de ventilação e conforto térmico dos pedestres.
Cambridge/ Inglaterra	Nikolopoulou et al. (2001)	Primeiro estudo a comprovar que a abordagem fisiológica não é suficiente para avaliar as condições de conforto ao ar livre. Assim, aspectos psicológicos influenciam na avaliação do ambiente térmico.
Gotemburgo/ Suécia	Thorsson et al. (2004)	De modo a permanecerem mais tempo em espaços abertos (em condições térmicas desfavoráveis), as pessoas adotam comportamentos adaptativos (trocam de roupa, etc).
Kassel/ Alemanha	Katzschner (2006)	O comportamento humano é dependente das condições térmicas e das expectativas individuais.
Taichung/ Taiwan	Lin (2009)	O intervalo térmico aceitável para todo o ano em Taiwan foi significativamente maior do que a escala europeia, o que indica que as pessoas que vivem em climas diferentes têm diferentes preferências térmicas.
Huwei/ Taiwan	Lin et al. (2012)	A análise de correlação entre o Fator Visão do Céu e frequência de visitantes revelou que áreas com mais sombreamento são mais utilizadas em Taiwan.

Chiayi/ Taiwan	Lin et al. (2013)	O conforto térmico das pessoas leva à utilização substancial do espaço durante todas as estações do ano, e as características de adaptação térmica individuais influenciam de diferentes formas na utilização dos espaços do parque.
-------------------	----------------------	--

4.4.3. Índices de avaliação do conforto térmico

Está disponível atualmente uma vasta gama de índices que estimam e expressam quantitativamente o nível de conforto térmico humano. Com base no balanço de calor entre o corpo e o ambiente que o rodeia, esses modelos são ferramentas úteis no processo de concepção de projeto pois avaliam o ambiente térmico de forma clara e objetiva.

Alguns índices amplamente aplicados no contexto urbano ao ar livre são: Temperatura Equivalente Fisiológica (PET) (Mayer e Höpfe, 1987), Índice Termo-Climático Universal (UTCI) (ISB, 2002) e Voto Médio Preditado (PMV) (Fanger, 1970; ISO 7730, 2005). Índices desenvolvidos para serem aplicados em contextos específicos incluem: Temperatura Padrão Exterior Efetiva (OUT_SET*) (Pickup e De Dear, 2000) (Austrália), Voto de Sensação Real (ASV) (Nikolopoulou et al., 2004) (Europa), Temperatura Equivalente Percebida (TEP) (Monteiro e Alucci, 2010) (Brasil/subtropical), Sensação de Conforto Térmico (Y_{DS}) (Sangkertadi e Syafrini, 2014) (Indonésia/tropical-úmido), dentre outros.

O índice térmico mais amplamente utilizado é o PMV. Originalmente desenvolvido como um índice de conforto térmico para ambientes internos, PMV também tem sido comumente adotado em estudos de conforto ao ar livre, embora pesquisas tenham relatado imprecisão quando aplicado em ambientes mais dinâmicos (Nikolopoulou et al., 2001; Cheng et al., 2012). Ainda, a aplicabilidade do PMV em regiões de clima quente-úmido foi questionada por Andreasi et al. (2010), dentre outros, uma vez que o índice foi desenvolvido tendo por base dados obtidos em estudos realizados em câmaras climatizadas.

O PMV prevê o valor médio dos votos de sensação térmica de um grande grupo de pessoas com base em seis variáveis: taxa metabólica (met), isolamento de vestuário (clo), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$), velocidade do ar (m/s) e umidade relativa (%). O valor de PMV é expresso em uma escala de sete pontos que varia de muito frio (-3) a muito quente (+3) (Tabela 6). O índice, de caráter objetivo, está incluído na ISO 7730 (1994), a primeira norma específica de conforto térmico a ser usada em nível mundial.

Tabela 6. Escala sétima de conforto térmico PMV.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Muito frio	Frio	Levemente frio	Neutro	Levemente quente	Quente	Muito quente

Andreasi (2009) desenvolveu algoritmos para a determinação de votos de sensação térmica em regiões de clima quente-úmido especificamente. As coletas de dados foram realizadas no estado de Mato Grosso do Sul (Corumbá/Forte Coimbra e Campo Grande), mesma localização do presente estudo. Apesar de ter sido originalmente desenvolvido para a aplicação em ambientes internos, o índice foi analisado neste trabalho. Isso porque sua equação inclui PMV como uma de suas variáveis. Assim, é interessante descobrir quanto o desempenho de PMV será melhorado com o algoritmo, que propõe a calibração regional do índice. Foi desenvolvido tanto um algoritmo para edificações naturalmente ventiladas quanto para ambientes condicionados artificialmente. A equação para edificações naturalmente ventiladas é usada neste estudo (Equação 1).

$$\text{VST-Andreasi} = -5,581 + 0,187 * \text{PMV}_{\text{ISO7730}} + 0,146 * t_{\text{ext}} + 0,034 * \text{UR}_{\text{ext}}$$

(Equação 1)

Onde:

$\text{PMV}_{\text{ISO7730}}$ = Voto Médio Predito (PMV),

t_{ext} = temperatura externa do ar em °C,

UR_{ext} = umidade relativa externa em %.

A norma ISO 10551 (1995) fornece diretrizes de desenvolvimento de escalas de julgamento que permitem a obtenção de cinco índices subjetivos através da aplicação de questionários de conforto térmico: sensação, afetividade, preferência, aceitabilidade e tolerância. A escala de sensação térmica (VST) foi utilizada neste estudo (Tabela 7). Segue a estrutura simétrica de dois polos (positivo e negativo), apresentando sete graus de intensidade (de -3, a +3), sendo o ponto central, zero (0), de indiferença. Deve ser precedida da seguinte pergunta: "Como você está se sentindo neste exato momento? Eu estou...".

Tabela 7. Escala de sensação térmica

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Com muito frio	Com frio	Levemente com frio	Neutro	Levemente com calor	Com calor	Com muito calor

PET é derivado do Modelo de Balanço de Energia para o Indivíduo (MEMI) (que é um modelo de equilíbrio térmico do corpo humano) e é recomendado pela Associação Alemã de Engenheiros (VDI-Guideline 3787). Como é expresso em graus Celsius (°C), PET é de fácil e imediata interpretação, mesmo para aqueles que não são especialistas na área. O índice é definido como "a temperatura do ar em que, em um ambiente interior típico, o orçamento energia humana é mantido pela temperatura da pele, temperatura central, e taxa de sudorese iguais às sob as condições a serem avaliadas" (HÖPPE, 1999). PET é calculado com base nas variáveis climáticas temperatura do ar (°C), temperatura radiante média (°C), velocidade do ar (m/s) e umidade relativa do ar (%) (ou pressão de vapor). A importância de PET na avaliação do conforto térmico ao ar livre é reconhecida e sua precisão foi confirmada por vários estudos (CHENG et al, 2012; LIN et al, 2012; GÓMEZ et al, 2013; KETTERER e MATZARAKIS, 2014; 2014b).

O UTCI foi desenvolvido em 2002 pela Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB), que visava desenvolver um padrão internacional baseado no mais recente progresso científico em modelagem termo-fisiológica acumulado ao longo das últimas quatro décadas (JENDRITZKY et al., 2012). UTCI é uma temperatura equivalente definida para uma pessoa com roupas adaptadas e andando a 4 km/h, em referência a condições externas de umidade relativa a 50%, sem vento e com temperatura radiante equivalente à temperatura do ar (JENDRITZKY et al. 2012). O índice tem como objetivo avaliar as condições térmicas ao ar livre nos principais domínios da biometeorologia humana, levando em consideração a interação da temperatura ambiente, velocidade do vento, umidade, ondas longas, ondas curtas e fluxos de calor radiante (BRÖDE et al., 2012).

Sangkertadi e Syafriny (2014) propuseram equações para avaliar as condições de conforto térmico urbano em regiões tropical-úmidas com base em dados de campo coletados na Indonésia. Três equações de regressão foram desenvolvidas para representar três modos de atividade: passeio normal (velocidade de cerca de 2 km/h), caminhada (velocidade de cerca de 4-5 km/h) e pessoas sentadas realizando atividade moderada. A última situação foi utilizada neste estudo (Equação 2).

$$Y_{DS} = -7,91 - 0,52v + 0,05Ta + 0,17Tg - 0,0007UR + 1,43Adu \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

v = velocidade do ar em m/s,

Ta = temperatura do ar em °C,

Tg = temperatura de globo em °C,

UR = umidade relativa em %

Adu = área da superfície corporal DuBois em m².

A área da superfície corporal (DuBois e DuBois, 1916) é dada pela Equação 3:

$$A_{du} = 0,202 * A^{0,725} * P^{0,425} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

P = peso em kg,

A = altura em m.

Monteiro e Alucci (2010) propuseram equações de regressão para avaliar as condições de conforto térmico ao ar livre em áreas urbanas com base em dados de campo coletados em São Paulo, Brasil. Temperatura Equivalente Percebida (TEP) é definida como uma temperatura equivalente para uma pessoa com roupas adaptadas, de pé e parada, em referência a condições externas de umidade relativa 50%, sem vento (velocidade do ar de 0,1 m/s) e com temperatura radiante equivalente à temperatura do ar. O índice é dado pela Equação 4:

$$TEP = -3,777 + 0,4828T_{ar} + 0,5172 T_{rm} + 0,0802UR - 2,322V_{ar} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

T_{ar} = temperatura do ar em °C,

T_{rm} = temperatura radiante média em °C,

V_{ar} = velocidade do ar em m/s,

UR = umidade relativa em %.

4.4.4. Normalização

A *International Standards Organization* (ISO) foi criada em 1947 com o objetivo de facilitar a concepção e a consolidação de normas em nível mundial, envolvendo mais de 130 países membros. Normalização é a atividade de estabelecer prescrições visando a obtenção de um resultado ótimo e padronizado, sendo que as normas devem ser válidas, confiáveis, úteis e com margem suficiente para a aplicação prática (OLESEN e PARSONS, 2002).

Normas referentes à questão de conforto térmico são produzidas pelo Comitê Técnico ISO/TC 159 SC5, Subcomitê de Ergonomia (OLESEN e PARSONS, 2002). A principal norma de conforto térmico é a ISO 7730, cuja primeira revisão foi publicada em 1994 (título original "*Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort*"), a segunda em 2005 ("*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*").

A norma apresenta métodos para prever a sensação térmica geral e grau de desconforto de pessoas expostas a um ambiente térmico moderado tendo por base os índices Voto Médio Predito (PMV) e Percentual de Pessoas termicamente Desconfortáveis (PPD) (ISO 7730, 2005). Outras normas que abrangem a avaliação do conforto térmico incluem:

- ISO 7726 (1998) - *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*: referente à instrumentos de medição;
- ISO 8996 (2004) - *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*: referente à estimativa da produção de calor metabólico;
- ISO 9920 (2007) - *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*: referente à estimativa de propriedades de vestuário – isolamento térmico e resistência evaporativa;
- ISO 10551 (1995) - *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales*: referente ao método de avaliação de parâmetros subjetivos através de escalas.

Além das normas ISO, as normas desenvolvidas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) também estão entre as principais utilizadas nesta área, tal como a *ASHRAE Standard 55* (versão mais recente 2013), que determina condições térmicas recomendadas para a ocupação humana. Ainda, a *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (capítulo conforto térmico) é um guia normativo que "apresenta os fundamentos da termo regulação humana e conforto em termos úteis aos engenheiros para a operação de sistemas e preparação de projetos e aplicações para o conforto dos ocupantes de edificações" (LAMBERTS, 2013; p. 21).

No caso específico do Brasil, as normas que abordam a questão do conforto térmico são as normas de segurança e saúde NR 15 (limite de tolerância de exposição ao calor) e NR 17 (ergonomia), do Ministério do Trabalho. A NBR 16401:2008 (instalações de ar-condicionado) contém informações mais específicas de conforto térmico que as duas anteriormente citadas. A norma é baseada nos padrões ASHRAE e é voltada para ambientes internos condicionados artificialmente (LAMBERTS, 2013). Ainda, para melhor atender às necessidades climáticas específicas de nosso país, está em desenvolvimento uma norma de conforto térmico baseada na *ASHRAE Standard 55*. O projeto "*Towards a Brazilian standard on thermal comfort*" está sendo elaborado por Lamberts et al. (2013) e encontra-se disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

5. METODOLOGIA

5.1. Área de estudo

Campo Grande é a capital do estado de Mato Grosso do Sul. Localizada entre as coordenadas geográficas 20°28'13,40737'' latitude Sul e 54°37'25,87099'' longitude Oeste, com altitude variando entre 500 e 675 metros, o município se localiza nas imediações dos dois rios mais importantes do Estado: o Paraná e o Paraguai. A cobertura vegetal predominante em Campo Grande é o Cerrado, a segunda maior formação vegetal brasileira (PLANURB, 2013). A cidade possui 786.797 habitantes e taxa de urbanização de 98,66% (IBGE, 2010).

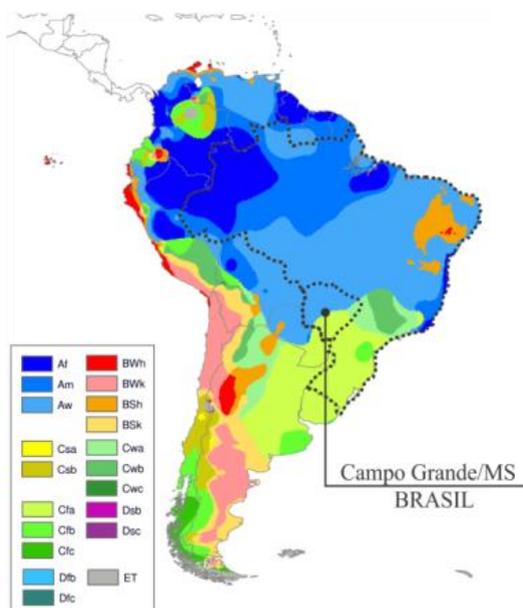


Figura 5. Mapa climático Köppen-Geiger da América do Sul (Mato Grosso do Sul em destaque). Adaptado de Peel et al. (2007)

Encontra-se na zona de transição entre os climas subtropical úmido (Cfa) e tropical úmido e seco (Aw) sob a classificação Köppen-Geiger segundo Peel et al. (2007) (Figura 5). Os dados climáticos da Figura 6 foram extraídos do arquivo climático EPW de Campo Grande (obtido no *site* do LabEEE) e convertido para modo legível pelo programa *EnergyPlus*.

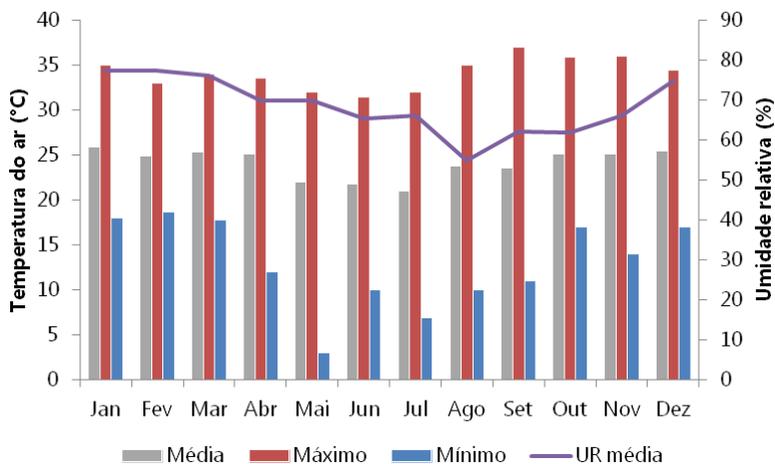


Figura 6. Temperatura do ar e umidade relativa em Campo Grande (1973-1991)

Valores recentes de temperatura do ar média dos meses de verão (dezembro a março), primavera (setembro a dezembro) e inverno (junho a setembro) são mostrados na Figura 7. Segundo a classificação da ABNT NBR 15220-3 (2005), Campo Grande pertence à zona bioclimática 6.

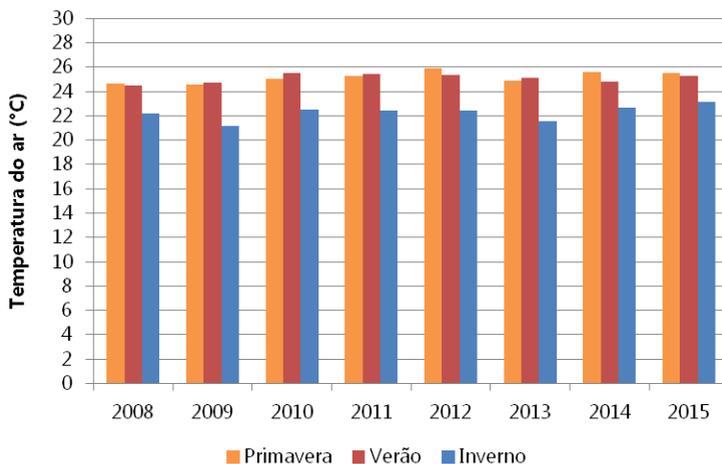


Figura 7. Temperatura do ar média sazonal em Campo Grande (2008-2015). Fonte: Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (CEMTEC).

5.1.1. Praça Ary Coelho

A Praça Ary Coelho (Figura 8; Figura 9) foi selecionada como área de estudo devido à sua localização central e alta densidade de uso. Estabelecida como praça desde 1909, a Praça Ary Coelho possui incontestável relevância histórica e cultural para Campo Grande. Foi o primeiro espaço público do município, sendo, inclusive, popularmente conhecida como “jardim público” em meados de 1915.



Figura 8. Vista aérea da praça. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 9. Vista aérea da praça. Fonte: arquivo pessoal.

Sua face norte está voltada para a Avenida Afonso Pena, que consiste em um corredor de duas vias separadas por um canteiro central densamente arborizado. As demais faces (sul, leste e oeste) estão voltadas para quarteirões densamente construídos, com edificações de altura

predominantemente baixas sem espaçamento entre eles. Os cânions nestas faces apresentam vegetação escassa. O entorno da praça (contexto urbano onde a praça está inserida) pode ser visto na Figura 10. No entanto, a geometria urbana é ilustrada meramente como informação adicional e não foi analisada neste trabalho devido à complexidade que tal análise exige, fugindo ao escopo desta pesquisa.

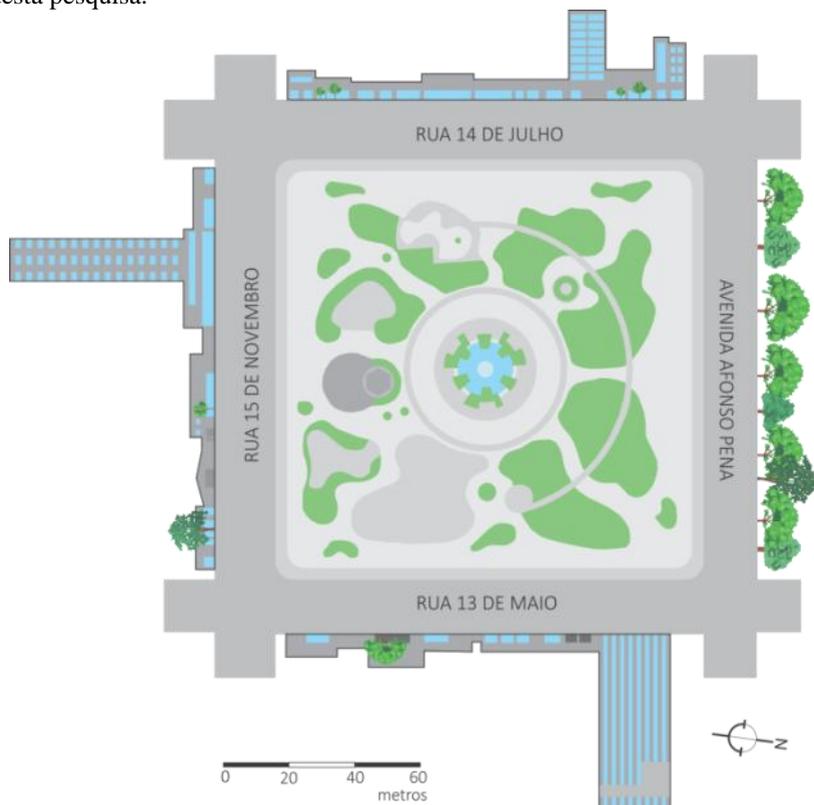


Figura 10. Perfil do entorno da Praça Ary Coelho.

A praça passou por revitalização em 2011, através do programa "Reviva o Centro", uma vez que o município visa preservar o patrimônio arquitetônico local e melhorar as condições ambientais do centro da cidade. Essa iniciativa evidencia a preocupação e interesse municipal na qualidade ambiental dos espaços públicos. O interesse político tende a aumentar com a questão das mudanças climáticas e, além disso, o conforto térmico humano e suas implicações no processo de planejamento tendem a ser vistos com mais atenção diante das atuais restrições energéticas.

As áreas de estudo da praça foram determinadas com base na observada concentração de pessoas e disponibilidade de diferentes níveis de sombreamento. Assim, a metade sul da praça foi dividida em quatro áreas (Figura 11), compreendendo 52% da área total.



Figura 11. Planta de situação da praça Ary Coelho, locais de estudo em destaque.

Área 1 (parcialmente sombreada): apresenta quantidade moderada de bancos permitindo a permanência prolongada dos visitantes. Nesta área se encontram os jogos de mesa, assim, predominam no local atividades leves, onde a maioria dos ocupantes se encontram sentados. A área é contornada por canteiros sinuosos de grama e forração baixa, arbustos de altura média, e é sombreada por espécies arbóreas de folhagem esparsa (Figura 12).

Compreende área de 1654,84 m², representando 11% da área total do parque (aproximadamente 14400 m²).

Área 2 (sombreada): apresenta grande quantidade de bancos permitindo a permanência prolongada dos visitantes. Não apresenta qualquer tipo de equipamento que incentive atividades médias a pesadas, sendo que as atividades predominantes dos ocupantes do local limitam-se a descanso e interação social (conversa entre si ou em telefones móveis). A área é contornada por canteiros sinuosos de grama e forração baixa e média, e é sombreada por diversas espécies arbóreas de folhagem densa (Figura 13). Compreende área de 1291,83 m², representando 9% da área total do parque.



Figura 12. Área de estudo 1. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 13. Área de estudo 2. Fonte: arquivo pessoal.

Área 3 (parcialmente sombreada): também apresenta grande quantidade de bancos permitindo a permanência prolongada dos visitantes. Possui equipamentos que incentivam exercício tanto na academia ao ar livre quanto no parque infantil, em sua maioria pais observando os filhos no parque infantil. Assim, a área também pode ser considerada como de atividade essencialmente baixa. O piso cerâmico na cor vermelho escuro é contornado por áreas sinuosas de areia e o local é sombreado por espécies arbóreas de folhagem tanto densa quanto esparsa (Figura 14). Compreende área de 2730,72 m², 19% da área total.



Figura 14. Área de estudo 3. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 15. Área de estudo 4. Fonte: arquivo pessoal.

Área 4 (aberta): apresenta grande quantidade de bancos permitindo a permanência prolongada dos visitantes. É essencialmente utilizado como local de comércio, onde há concentração grande de vendedores ambulantes. As atividades predominantes dos ocupantes do local limitam-se a descanso, interação social e consumo de alimentos comercializados pelos vendedores. O ponto possui pouca vegetação e é muito pouco sombreado pelas espécies arbóreas próximas, no entanto, localiza-se próximo à fonte de água. A superfície consiste predominantemente em revestimento cerâmico na cor vermelho escuro com poucas áreas gramadas (Figura 15). Compreende área de 1931,47 m², 13% da área total do parque.

5.2. Coleta de dados

O presente trabalho pretende avaliar as condições de conforto térmico em três diferentes níveis: físico, fisiológico e psicológico. A Figura 16 oferece uma representação esquemática de como cada nível de avaliação foi abordado. Duas atividades foram realizadas simultaneamente: o monitoramento microclimático e a aplicação de questionários. O período de coleta ocorreu no período matutino dos dias 18 e 22 de julho de 2015 (inverno), matutino dos dias 10 e 12 de novembro de 2015 (primavera) e vespertino do dia 20 de fevereiro de 2016 (verão).

Apenas as pessoas que utilizavam a praça como local de descanso foram incluídas no estudo, transeuntes foram excluídos. Isso porque o desconforto térmico não implica em consequências graves no caso de transeuntes, pois seu tempo de exposição às dadas condições climáticas é curto. Já no caso de locais de descanso, onde a permanência dos visitantes é prolongada, essa exposição pode ser prejudicial à saúde humana (NIKOLOPOULOU et al., 2001; THORSSON et al., 2004). “A exposição ao desconforto não é visto negativamente se os indivíduos antecipam que essa é

uma situação de curta duração” (NIKOLOPOULOU e STEEMERS, 2003; p. 97).

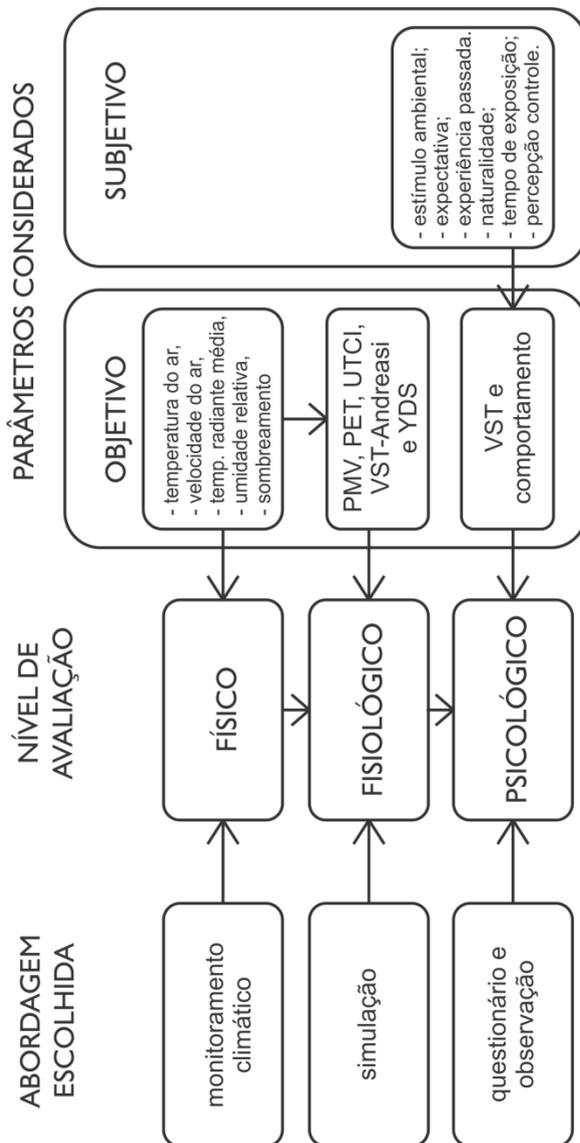


Figura 16. Esquema das abordagens escolhidas para cada nível de avaliação da pesquisa.

Para a determinação do tamanho da amostra, fez-se uso da equação de Barbeta (2006) (Equação 5). Considerou-se erro amostral de 5% e, para o número da população, considerou-se 853.622, que é o número estimado de habitantes de Campo Grande/MS no ano de 2015, segundo o IBGE. Assim, o tamanho mínimo para a amostra é de 400 entrevistados. Foram levantados 524 questionários válidos.

$$n = \frac{N \cdot (1/E^2)}{N + (1/E^2)} \quad (\text{Equação 5})$$

onde:

n é o tamanho da amostra;

N é o tamanho da população;

E é o erro amostral.

5.2.1. Monitoramento microclimático

Sabe-se que a condição de conforto térmico é alcançada em grande parte pelo balanço de calor entre o corpo e o ambiente. Nessa perspectiva, o monitoramento das variáveis físicas é de grande importância para a compreensão do ambiente térmico ao qual o organismo humano está exposto. As quatro variáveis necessárias para o cálculo dos índices térmicos foram coletadas seguindo as recomendações de precisão da norma ISO 7726 (1998). São as seguintes:

- Temperatura do ar (em °C);
- Umidade relativa do ar (em %);
- Temperatura radiante média (em °C);
- Velocidade do ar (em m/s).

Foi utilizada a estação microclimática BABUC-A (Figura 17), produzida pela LSI (*Laboratori di Strumentazione Industriali*), e cedido pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE/UFMS). O processador/painel de controle e os demais componentes (Tabela 8), foram apoiados sobre um tripé ajustável a 1,1 metro de altura conforme instruções da norma (Figura 18). Os dados coletados foram processados através do *software* InfoGAP. BABUC-A foi posicionado apenas na área 1 (Figura 11) por questão de disponibilidade de tomadas, segurança dos transeuntes e do próprio equipamento. A coleta simultânea de dados nas quatro áreas de estudo foi inviabilizada pela disponibilidade limitada de equipamentos e de fontes de energia na praça. No entanto, as demais áreas encontravam-se a menos de 60 metros da estação microclimática.



Figura 17. Estação microclimática BABUC-A. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 18. BABUC-A no local do experimento. Fonte: arquivo pessoal.

Tabela 8. Características técnicas dos sensores utilizados.

Sensor	Parâmetro monitorado	Faixa de medição	Acurácia/precisão	Tempo de resposta (T90)
(1) Psicrômetro BSU102	Temperatura úmida e seca ventiladas, umidade relativa	Temp. seca: -25 a +150°C Temp. úmida.: 0 a +60°C UR: 0 a 100%	UR: 70 a 98%: 0,5% 40 a 70%: 1% 15 a 40%: 2%	90 seg. com ventilador em operação
(2) Anemômetro de fio quente BSU101	Velocidade do ar	0 a 50 m/s	±4 cm/seg 4% > 1m/s	10 ms
(3) Sonda de ventilação natural de temp. de bulbo úmido BSU121	Temperatura de bulbo úmido	0 a +60°C	Pt100 1/2 DIN (±0.15°C a 0°C)	6 min.
(4) Sensor de temperatura radiante BST131	Temperatura radiante	-10 a +100°C	1/2 DIN (±0.15°C a 0°C)	20 min.

Embora a coleta tenha sido realizada em conformidade com a norma ISO 7726 (1998) (Tabela 9), é importante destacar que esta não fornece diretrizes específicas para a situação de espaços ao ar livre. No entanto,

diversos estudos de conforto térmico urbano têm utilizado a norma sem prejuízo à autenticidade dos resultados, tais como Monteiro e Alucci (2010), Krüger et al. (2011), Minella et al. (2011), Bröde et al. (2012), Tung et al. (2014), Ruiz e Correa (2015), dentre outros.

Os níveis de sombreamento em cada área analisada foram avaliados através do Fator Visão do Céu, medido por meio de fotografias olho-de-peixe. O fator foi calculado através do modelo RayMan v. 1.2 (Matzarakis et al., 2007; 2010), que também realizou o cálculo dos índices PET e PMV. A precisão do modelo e sua aplicabilidade em situações urbanas complexas foram confirmadas por vários estudos (Lin et al., 2012; Gómez et al., 2013; Lin et al., 2013; Silva e Alvarez; 2015, dentre outros).

Tabela 9. Características requeridas e desejáveis dos instrumentos (ISO 7726, 1998)

Classe C (conforto)			
Variáveis	Faixa de conforto	Precisão/ acurácia	Tempo de resposta (90%)
Temperatura do ar	10 - 40 °C	Requerida: ± 0.5 °C Desejável: ± 0.2 °C	Mais curta possível
Temperatura radiante média	10 - 40 °C	Requerida: ± 2 °C Desejável: ± 0.2 °C	Mais curta possível
Velocidade do ar	0.05 - 1 m/s	Requerida: $\pm(0.05+0.05v_a)$ m/s Desejável: $\pm(0.02+0.07v_a)$ m/s	Requerida: 0.05s Desejável: 0.02s
Umidade relativa	0.5 - 3.0 kPa	± 0.15 kPa ($ t_a - t_{m} < 10$ °C)	Mais curta possível

5.2.2. Questionário de conforto térmico

O questionário de conforto térmico (APÊNDICE A) divide-se essencialmente em três partes e foi desenvolvido seguindo as recomendações das normas ISO 10551 (1995) e ISO 7730 (2005). A ISO 10551 também foi desenvolvida especificamente para ambientes internos; no entanto, a metodologia foi efetivamente adotada por diversos estudos de conforto térmico urbano tais como Bröde et al. (2012), Krüger e Emmanuel (2013), Lin et al. (2013), Silva e Alvarez (2015), dentre outros. O questionário foi propositalmente elaborado de modo que seu preenchimento fosse fácil e rápido, para conveniência dos respondentes, e foram aplicados aleatoriamente nas quatro áreas da praça.

A primeira parte consiste em perguntas relacionadas à informações pessoais – tais como idade, altura, peso, sexo, roupas e atividade realizada. A segunda parte envolve questões de adaptação térmica, e busca obter dados relacionados aos ajustes pessoais que o respondente faz quando se sente desconfortável termicamente, motivação para visita à praça (se estão lá por

músculos (que produzem calor), assim, o calor dissipado pelo corpo para o ambiente é produto direto de sua atividade. A taxa metabólica foi estimada em acordo com as tabelas normalizadas da ISO 7730 (2005), sendo representada na unidade Met ($1 \text{ Met} = 58,20 \text{ W/m}^2$). Exemplos de diferentes taxas metabólicas são apresentadas na Figura 20 e Figura 21. As quatro opções disponíveis no questionário são as seguintes:

- Parado, em pé: $1,0 \text{ met}$ (58 W/m^2);
- Parado, sentado: $1,0 \text{ met}$ (58 W/m^2);
- Atividade leve, sentado: $1,2 \text{ met}$ (70 W/m^2);
- Atividade leve, em pé: $1,6 \text{ met}$ (93 W/m^2).



Figura 20. Entrevista com respondente sentado, parado ($1,0 \text{ met}$). Fonte: arquivo pessoal.



Figura 21. Entrevista com respondente em pé, realizando atividade leve ($1,6 \text{ met}$). Fonte: arquivo pessoal.

Novamente, é preciso reforçar que tal como as demais ISOs citadas, a ISO 7730 não fornece valores ou diretrizes específicos para o ambiente exterior. Mesmo consciente dessa limitação, o presente estudo adotou os valores estimados na referente norma tal como feito por diversos outros estudos semelhantes, como Lin (2009), Hwang et al. (2009), Lin et al. (2012), Gómez et al. (2013), Silva e Alvarez (2015), dentre outros. As quatro opções disponíveis no questionário são as seguintes:

- Parado, em pé: $1,0 \text{ met}$ (58 W/m^2);
- Parado, sentado: $1,0 \text{ met}$ (58 W/m^2);
- Atividade leve, sentado: $1,2 \text{ met}$ (70 W/m^2);
- Atividade leve, em pé: $1,6 \text{ met}$ (93 W/m^2).

Novamente, é preciso reforçar que tal como as demais ISOs citadas, a ISO 7730 não fornece valores ou diretrizes específicos para o ambiente exterior. Mesmo consciente dessa limitação, o presente estudo adotou os valores estimados na referente norma tal como feito por diversos outros

estudos semelhantes, como Lin (2009), Hwang et al. (2009), Lin et al. (2012), Gómez et al. (2013), Silva e Alvarez (2015), dentre outros.

O isolamento da roupa está relacionado com a barreira que o tecido cria entre a superfície da pele e o ambiente externo. A camada de ar parado que fica presa entre a pele e a vestimenta dificulta trocas por convecção e radiação. Assim, o tecido funciona como um isolante térmico, que mantém o ar junto ao corpo mais ou menos aquecido do que o ar ambiente. O isolamento térmico da roupa é estimado em acordo com as tabelas normalizadas da ISO 7730 (2005). O valor é representado na unidade *clo* ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{C/W}$). As opções do questionário consistem em sete peças de roupas individuais e três opções de calçado, representadas graficamente para facilitar o entendimento. Considerou-se que todos os respondentes vestiam roupas íntimas; no entanto, mesmo que não fosse o caso, o valor atribuído a estes (0,03 clo) não interferiu significativamente nos resultados finais dos índices.

- Regata: 0,15 clo;
- Camiseta: 0,15 clo;
- Blusa manga longa: 0,2 clo;
- Bermuda: 0,15 clo;
- Saia: 0,15 clo;
- Calça: 0,25 clo;
- Jaqueta: 0,35 clo.
- Chinelo: 0,02 clo;
- Sandália: 0,02 clo;
- Sapato fechado: 0,04 clo.

5.2.2.2. Adaptação térmica

Diversos estudos têm afirmado que as condições de conforto térmico não podem ser determinadas apenas com base no balanço térmico de energia do corpo humano (LIN et al., 2013; NIKOLOPOULOU et al., 2001, NIKOLOPOULOU e STEEMERS, 2003). Dessa maneira, apenas o cálculo dos índices térmicos não seria capaz de fornecer uma compreensão abrangente do conforto térmico dos entrevistados, o que levou à investigação de fatores psicológicos, coletados através de quesitos específicos incluídos no questionário.

Um dos fatores psicológicos analisados foi a "percepção de controle", avaliado através do grau de autonomia dos visitantes (quesito 4). A autonomia de pessoas expostas ao ar livre é um fator crítico que determina suas sensações térmicas (LIN et al., 2013). Segundo os autores, quanto maior o grau de autonomia das pessoas, mais elas estão dispostas a aceitar as condições térmicas do ambiente, ainda, estarão mais dispostas a permanecer mais tempo na praça. Assim, o objetivo do quesito quatro é esclarecer se o respondente permanece no ambiente por escolha própria (opções de resposta "relaxamento" ou "lazer") ou contra sua vontade (opções de resposta "trabalha aqui" ou "está esperando alguém"), para assim avaliar possíveis implicações em sua sensação de conforto.

O quinto quesito indaga sobre os principais comportamentos adaptativos físicos (reativos ou interativos) realizados pelo respondente na situação de desconforto térmico, ou ainda, a ausência de qualquer adaptação. Essa questão foi incluída no questionário com o objetivo de esclarecer quais os comportamentos mais adotados pelos visitantes da praça.

O sexto quesito aborda o "tempo de exposição" (permanência no ambiente). O objetivo deste quesito é descobrir se a situação de desconforto térmico influencia ou não na decisão do visitante em permanecer na praça por um período mais prolongado. O respondente é interrogado de maneira direta ("Permaneceria mais tempo na praça se estivesse menos calor ou menos frio?") e avaliado através de um item binário ("sim" ou "não").

5.2.2.3. Parâmetro subjetivo

Para a aquisição de um parâmetro subjetivo, optou-se por incluir no questionário a escala de sensação térmica. A ISO 10551 (1995) fornece diretrizes de desenvolvimento de escalas de julgamento que permitem a obtenção de dados referentes aos aspectos subjetivos que influenciam o conforto térmico, tal como a sensação térmica. Segundo as recomendações da norma, a escala de sensação (Voto de Sensação Térmica, VST) deve seguir a estrutura simétrica de dois polos, apresentando sete (07) graus de intensidade sendo o ponto central, zero (0), de indiferença (Tabela 10). É precedida da pergunta: "Como você está se sentindo neste exato momento?".

Tabela 10. Escala de sensação térmica aplicada no questionário

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Com muito frio	Com frio	Ligeiramente com frio	Neutro	Ligeiramente Com calor	Com calor	Com muito calor

5.3. Modelo RayMan v.1.2 (cálculo dos índices PMV e PET)

Existe atualmente uma série de modelos microclimáticos adequados para a análise do conforto térmico no ambiente urbano, tais como o ENVI-met, SOLWEIG, TownScope e RayMan. RayMan (Figura 22) é um *software* de domínio público desenvolvido por Andreas Matzarakis do Instituto Meteorológico de Freiburg, na Alemanha. O modelo baseia-se no balanço de energia MEMI, sendo adequado para avaliar as condições de conforto térmico humano em áreas urbanas complexas (MATZARAKIS et al., 2007). O modelo é capaz de estimar os fluxos de radiação de ondas curta e longa e, assim, fornecer o valor da temperatura radiante. Ainda, é capaz de calcular três diferentes índices de conforto térmico (PMV, PET e SET*) bem como o Fator Visão do Céu (SVF), sendo necessário para o cálculo deste uma fotografia tirada com lente olho-de-peixe (Figura 23).

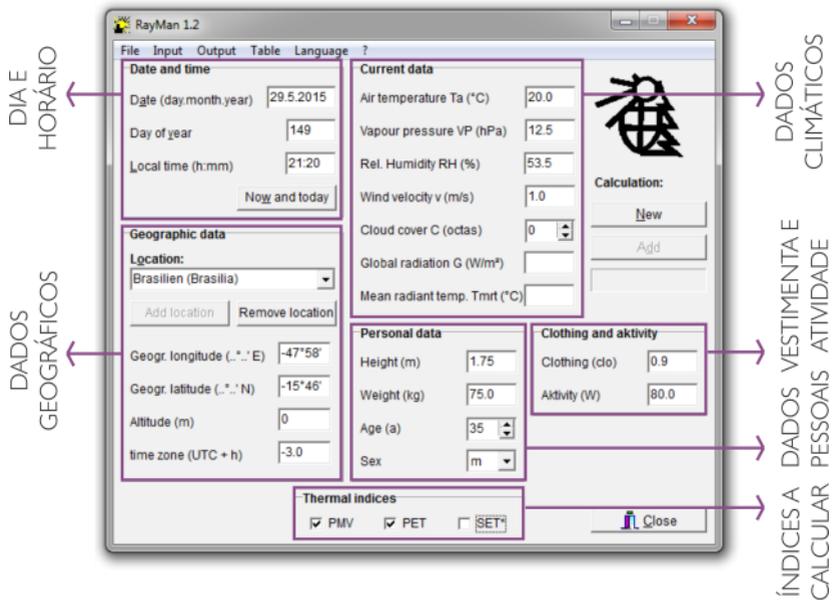


Figura 22. Inserção de dados no modelo RayMan 1.2

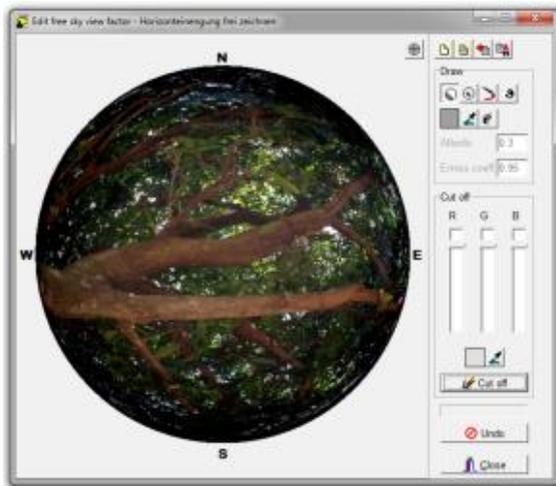


Figura 23. Cálculo do Fator Visão do Céu (SVF).

5.4. Calculadora UTCI (cálculo do índice UTCI)

O Índice Termo-Climático Universal é o resultado do projeto *COST Action 730*, e tem como base no modelo multi-nodal de Fiala et al. (2001). Aplicável a qualquer situação climática, o UTCI não considera variáveis pessoais em seu cálculo, sendo necessários os seguintes valores: temperatura do ar, diferença entre temperatura radiante e temperatura do ar, pressão de vapor (ou umidade relativa) e velocidade do vento a 10 metros de altura. Tal como o PET, o UTCI usa graus Celsius (°C) como unidade, sendo de fácil compreensão. O cálculo do índice pode ser realizado diretamente no *site* <<http://www.utci.org/>> (Figura 24).

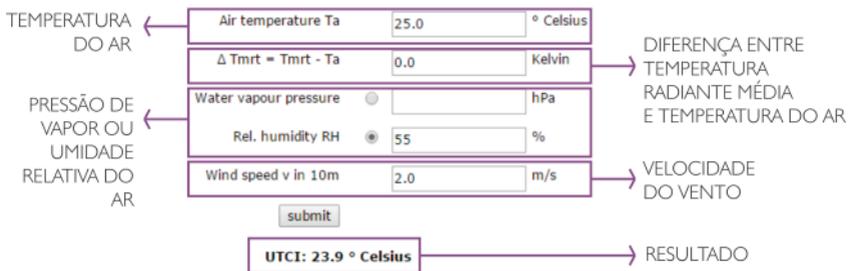


Figura 24. Calculadora UTCI. Fonte: <<http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>>

5.5. Equações de regressão (cálculo dos índices VST-Andreasi, Y_{DS} e TEP)

Os índices VST-Andreasi, Y_{DS} e TEP foram calculados usando as Equações 1, 2 e 4, respectivamente, previamente apresentadas no Capítulo 4.4.3 ("Índices de avaliação de conforto térmico"). São elas:

$$\text{VST-Andreasi} = -5,581 + 0,187 * \text{PMV}_{\text{ISO7730}} + 0,146 * t_{\text{ext}} + 0,034 * \text{UR}_{\text{ext}}$$

(Equação 1)

Onde:

PMV_{ISO7730} = Voto Médio Predito (PMV),

t_{ext} = temperatura externa do ar em °C,

UR_{ext} = umidade relativa externa em %.

$$Y_{\text{DS}} = -7,91 - 0,52v + 0,05Ta + 0,17Tg - 0,0007UR + 1,43Adu \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

v = velocidade do ar em m/s,

Ta = temperatura do ar em °C,
Tg = temperatura de globo em °C,
UR = umidade relativa em %
Adu = área da superfície corporal DuBois em m².

$$TEP = -3,777 + 0,4828T_{ar} + 0,5172 T_{rm} + 0,0802UR - 2,322V_{ar} \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

Tar = temperatura do ar em °C,
Trm = temperatura radiante média em °C,
Var = velocidade do ar em m/s,
UR = umidade relativa em %.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Variáveis pessoais

Um total de 524 questionários válidos foram levantados durante dois dias de inverno, dois de primavera e um de verão. Deste total, 48% dos respondentes eram do sexo masculino e 52% do sexo feminino. Foi aplicado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov em todas as variáveis pessoais, mas a hipótese de normalidade foi rejeitada em todas as situações. No entanto, sendo as amostras grandes ($n > 30$), serão consideradas como em distribuição normal. A suposição de normalidade, no caso de amostras grandes, não deve causar grandes problemas (PALLANT, 2002). A Tabela 11 resume as variáveis pessoais. A Figura 25 apresenta uma representação esquemática dos valores de isolamento de roupa.

Tabela 11. Índice de isolamento de roupa e taxa metabólica.

Estação	Índice de isolamento de roupa (clo)			Taxa metabólica (met)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	0,35	0,87	0,6	1,0	1,6	1,2
Primavera	0,35	0,87	0,5	1,0	1,6	1,1
Verão	0,35	0,87	0,5	1,0	1,6	1,1

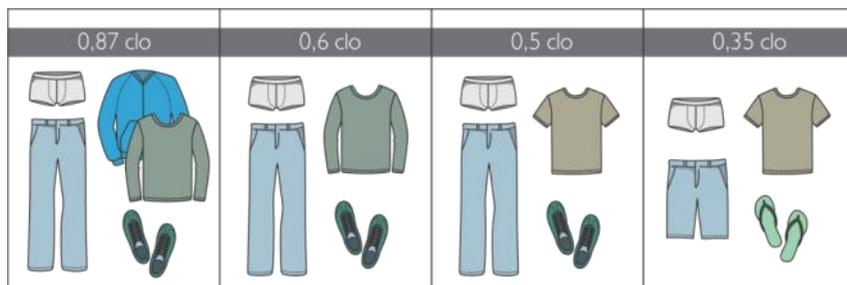


Figura 25. Referência dos diferentes índices de isolamento de roupa.

Com a altura e peso dos respondentes (Tabela 12) calculou-se o índice de massa corporal (IMC) para uma avaliação genérica das condições de saúde de cada respondente. O índice é dado pela fórmula: $\text{peso}/\text{altura}^2$, e sua escala segue: "abaixo do peso" (até 18,5), "peso normal" (18,5 a 25), "acima do peso" (25 a 30) e "obeso" (acima de 30). Os voluntários, em média, apresentavam porte saudável mas levemente acima do peso (25,3).

Tabela 12. Altura e peso dos respondentes.

Estação	Altura (m)			Peso (kg)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	1,40	1,90	1,67	38,5	104	71,2
Primavera	1,45	1,95	1,70	40	110	71,1
Verão	1,50	1,85	1,71	45	95	72,2

A idade dos respondentes variou entre 12 e 86 anos, conforme apresentado na Tabela 13, refletindo a diversidade dos visitantes da praça: 21% tinham entre 12 e 25 anos, 24% entre 26 e 35, 16% entre 36 e 45, 14% entre 46 e 55, 13% entre 56 e 65 e 12% acima de 65.

Tabela 13. Idade e índice de massa corporal.

Estação	Idade (anos)			Índice de Massa Corporal (IMC)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	12	86	41	17,7	43,3	25,4
Primavera	12	85	40	18,8	38,8	25,7
Verão	16	82	42,5	20	27,8	24,8

6.2. Índices de avaliação de conforto térmico

Uma vez que os votos de sensação térmica foram diretamente declarados pelos respondentes, e não preditos como os demais índices, estes foram considerados como os votos reais. Assim, cada índice calculado teve seu resultado comparado com os valores do VST. No entanto, apenas TEP, PMV e VST-Andreasi apresentavam escalas de interpretação com base no modelo de sete pontos, como o do VST. Por esta razão, as escalas originais de PET, UTCI, e Y_{DS} foram adaptadas para uma representação equivalente (Tabela 14).

6.2.1. PMV (Voto Médio Predito)

De todos os índices analisados, PMV teve o menor desempenho (acurácia de 22%), o que pode ser justificado por muitos motivos. O índice foi desenvolvido para a avaliação do conforto térmico interior e, portanto, tem aplicação limitada devido ao estreito intervalo de temperatura do ar (10 a 30 °C) e velocidade do vento (até 1,0 m/s) que ele suporta (ISO 7730, 2005). O desconforto por frio foi superestimado principalmente porque a velocidade do ar monitorada frequentemente excedeu 1 m/s (o que é de se esperar de espaços abertos). De fato, PMV costuma superestimar o desconforto por calor em climas quentes e desconforto por frio em climas frios (CHENG et al., 2012). Outra importante limitação de PMV é que ele é baseado no modelo estacionário. O modelo estacionário baseia-se no pressuposto de que "a exposição das pessoas a um ambiente climático ambiente permite-lhes, ao

longo do tempo, atingir o equilíbrio térmico" (CHEN e NG, 2012; p. 119). No entanto, as pessoas raramente alcançam equilíbrio térmico em áreas abertas (NIKOLOPOULOU, 2011).

Tabela 14. Escalas interpretativas adaptadas para sete pontos.

Sensação	TSV	PMV	TEP	VST-And.	PET (°C)	UTCI (°C)	Y _{DS}
Muito frio	-3	-3	-3	-3	< 4	< -13	≤ -3
Frio	-2	-2	-2	-2	4 a 8	0 a -13	-2
Levemente frio	-1	-1	-1	-1	8 a 18	+9 a 0	-1
Neutro	0	0	0	0	18 a 23	+9 a +26	0
Levemente quente	+1	+1	+1	+1	23 a 35	+26 a +32	+1
Quente	+2	+2	+2	+2	35 a 41	+32 a +38	+2
Muito quente	+3	+3	+3	+3	> 41	> 38	+3/ +4/ +5
Referências/ Adaptado de	ISO 10551:1995	ISO 7730:2005	Monteiro e Alucci, 2010	Andreasi, 2009	Matzarakis e Mayer, 1996	ISB, 2002	Sangkertadi e Syafrini, 2014

6.2.2. VST-Andreasi (Andreasi, 2009)

VST-Andreasi apresentou acurácia de 36%. Uma vez que demonstrou performance superior ao do PMV, pode-se dizer que o algoritmo ajusta com sucesso o PMV para o contexto climático quente-úmido. López et al. (2015) aplicaram o índice em Assunção (Paraguai) e obtiveram um aumento de 7% a 17% da performance de PMV. Neste estudo, obteve-se aumento de 14%. O índice foi desenvolvido originalmente para ser aplicado em ambientes fechados, o que pode justificar parcialmente porque o índice não apresentou desempenho superior. Ainda, o método recebe as limitações do PMV discutidas no tópico anterior, tal como o estreito intervalo de temperatura do ar e velocidade do vento suportadas.

6.2.3. PET (Temperatura Equivalente Fisiológica)

PET, tal como o PMV, baseia-se no modelo estacionário, sendo limitado por tal abordagem. No entanto, o índice teve o melhor desempenho neste estudo (acurácia de 41%) e tem sido aplicado com sucesso em diversos estudos de conforto térmico ao ar livre em diferentes contextos climáticos (CHENG et al, 2012;. LIN et al, 2013; GÓMEZ et al, 2013; KETTERER e MATZARAKIS, 2014; SILVA e ALVAREZ, 2015). PET foi interpretado

usando a escala proposta por Matzarakis e Mayer (1996), obtido na Europa Ocidental Central. PMV e PET foram calculados simultaneamente usando o modelo RayMan v.1.2 (MATZARAKIS et al, 2007; 2010). Enquanto PMV e PET requerem variáveis climáticas a medidas a 1,1 metros, que é a altura média do centro de gravidade em adultos (Mayer e Höppe, 1987) quando em pé, o método UTCI requer valores da velocidade do vento medidas a 10 metros do solo. Por esta razão, a lei exponencial de Hellman (Equação 6) (Bañuelos-Ruedas e Camacho, 2011) foi utilizada para recalcular a velocidade do vento.

$$\frac{V}{V_{10}} = \left(\frac{H}{H_{10}} \right)^\alpha \quad \text{(Equação 6)}$$

onde:

V é a velocidade do vento a 1,1 m de altura;

V₁₀ é a velocidade do vento a 10 m de altura

H é 1,1;

H₁₀ é 10;

α é o coeficiente de fricção, o valor de 0,40 é usado em áreas urbanas.

6.2.4. UTCI (Índice Termo-Climático Universal)

Foi aplicado um cálculo simplificado de UTCI, que se resumiu à inserção de dados climáticos na calculadora UTCI (disponível no site oficial do índice). No entanto, o ideal seria obter as temperaturas equivalentes executando o modelo UTCI-Fiala juntamente com o modelo de isolamento de roupa de Havenith (BRÖDE, 2012). Na avaliação simplificada, os valores de isolamento de roupa são fixos, estimados tendo por base hábitos adaptativos europeus. UTCI é válido em todos os climas, estações e escalas e é independente de características individuais (JENDRITZKY et al., 2012). Mas a calibração regional pode ser necessária para diferentes estações e zonas climáticas (SPAGNOLO e DE DEAR, 2003). UTCI superestimou o conforto dos respondentes, principalmente devido à sua grande faixa de conforto de 17 graus (+9 a +26). Como o modelo pressupõe que o indivíduo está caminhando a 4 km/h, o cálculo simplificado é mais adequado para estudos que avaliam transeuntes, e não pessoas em repouso. UTCI apresentou acurácia de 40%.

6.2.5. Y_{DS} (Sensação de Conforto Térmico)

Y_{DS} superestimou o desconforto por frio, mas apresentou desempenho satisfatório na estação quente (acurácia geral de 38%). Sua equação inclui apenas as variáveis pessoais peso e altura (incorporados na variável *Adu*), e não leva em consideração o isolamento da roupa. De fato, durante as estações quentes, as pessoas normalmente vestem o mínimo. Assim, o isolamento de roupas é padronizado e pode ser definido por um valor

constante. No entanto, durante as estações frias, o ajuste de roupas ganha mais importância como estratégia adaptativa (LIN et al., 2013). O fato de variável não ter sido incluída na equação poderia explicar em parte por que o índice não pôde prever com mais precisão os votos de sensação neste estudo, especialmente durante a estação fria.

6.2.6. TEP (Temperatura Equivalente Percebida)

Em 6% dos votos individuais obtidos, a velocidade do vento ultrapassou o valor máximo que a metodologia suporta (3,6 m/s). Isso poderia explicar parcialmente porque TEP subestimou o desconforto por calor dos respondentes. Os autores dizem que a aplicação desta metodologia em contextos diferentes do qual ele foi criado depende da verificação de correlação entre os dados observados e hipotéticos (MONTEIRO e ALUCCI, 2010). De fato, São Paulo é classificado como apresentando clima temperado quente (Cwa sob a classificação Köppen-Geiger) (Peel et al., 2007), clima diferente de Campo Grande. Portanto, a calibração regional é necessária para resultados mais precisos. TEP apresentou acurácia de 31%.

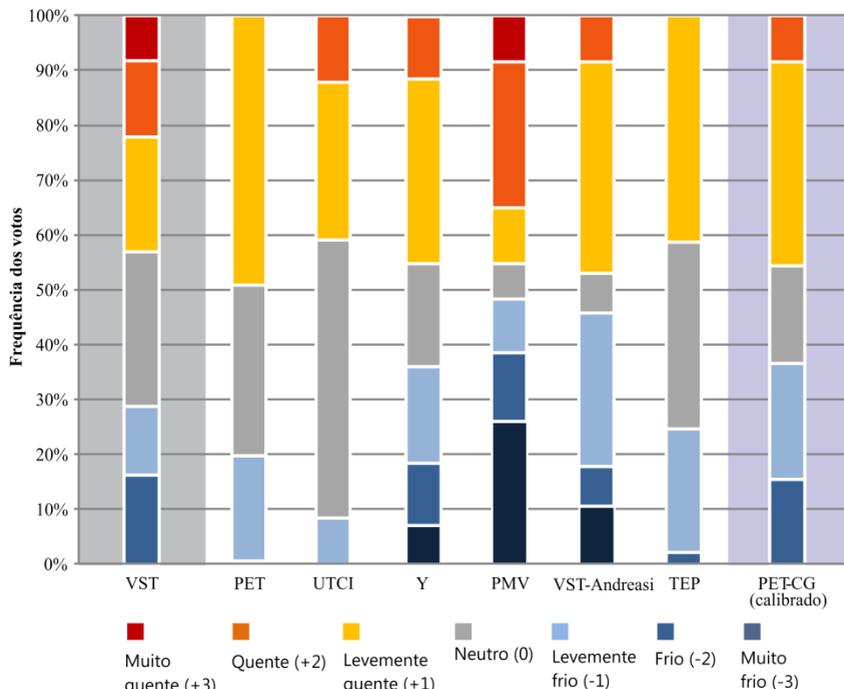


Figura 26. Distribuição dos votos de acordo com cada índice.

A Figura 26 apresenta a distribuição dos votos segundo cada uma das metodologias analisadas. Uma vez que nenhum dos índices alcançou acurácia superior a 50%, o índice PET foi calibrado para Campo Grande. Detalhes da calibração são descritos no tópico seguinte.

6.2.7. Calibração regional de PET

PET foi calibrado para a realidade fisiológica de Campo Grande utilizando os votos subjetivos (sensação térmica) obtidos em campo. Assim, os votos foram distribuídos em função de intervalos PET (Figura 27).

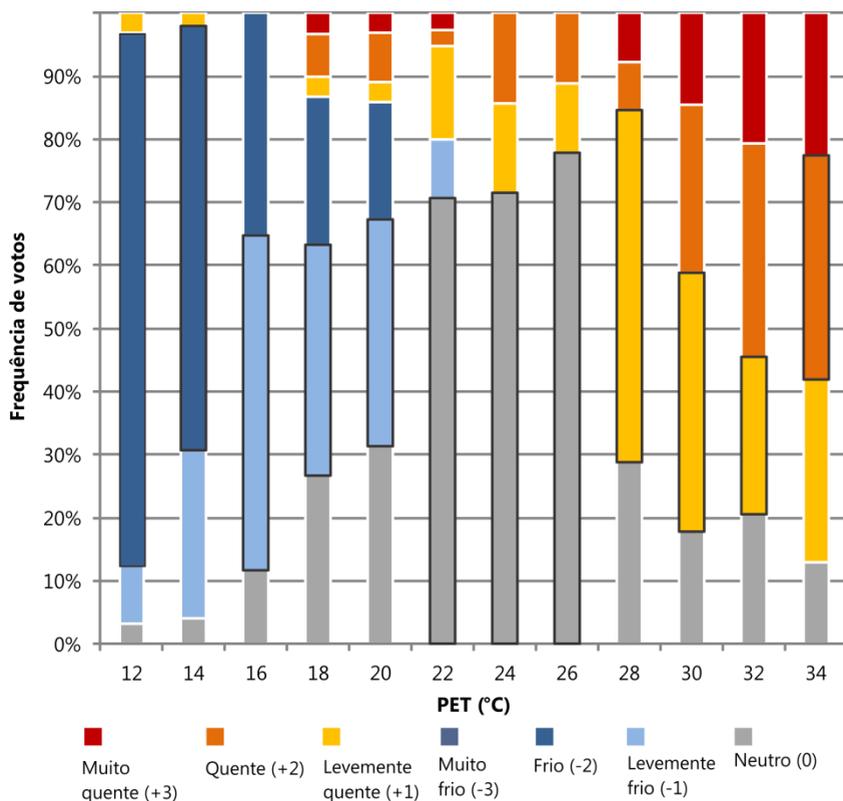


Figura 27. Frequência de VST em função de PET (n = 524).

A escala interpretativa foi calibrada baseando-se na predominância de votos observados (Tabela 15). O intervalo de conforto obtido em Campo Grande/MS (Zona Bioclimática 6, segundo a NBR 15220-3) é diferente do obtido em Vitória/ES (Zona Bioclimática 8, segundo a NBR 15220-3) e dos

obtidos em outros países. O fato pode ser explicado principalmente pela aclimação regional (adaptação fisiológica) (NIKOLOPOULOU e STEEMERS, 2003).

Tabela 15. Comparação entre a escala interpretativa de PET-CG e outros (em °C).

Sensação	PET-Europa Central	PET-Taiwan	PET-Vitória/Brasil	PET-CG/Brasil
Muito frio	PET ≤ 4	PET ≤ 14	-	PET ≤ 11
Frio	4 < PET ≤ 8	14 < PET ≤ 18	18 < PET ≤ 20	11 < PET ≤ 15
Fresco	8 < PET ≤ 13	18 < PET ≤ 22	-	-
Levemente fresco	13 < PET ≤ 18	22 < PET ≤ 26	20 < PET ≤ 22	15 < PET ≤ 21
Neutro	18 < PET ≤ 23	26 < PET ≤ 30	22 < PET ≤ 30	21 < PET ≤ 27
Levemente morno	23 < PET ≤ 29	30 < PET ≤ 34	30 < PET ≤ 34	27 < PET ≤ 33
Morno	29 < PET ≤ 35	34 < PET ≤ 38	-	-
Quente	35 < PET ≤ 41	38 < PET ≤ 42	34 < PET ≤ 46	33 < PET ≤ 39
Muito Quente	PET > 41	PET > 42	PET > 46	PET > 39
Referências	Matzarakis e Mayer (1996)	Lin e Matzarakis (2008)	Silva e Alvarez (2015)	Presente estudo

O valor PET máximo obtido em campo foi 34 °C, assim, os intervalos "quente" e "muito quente" não puderam ser determinados com precisão e foram estimados seguindo a tendência observada na Figura 27. O fato prejudicou o desempenho da escala calibrada na situação de calor. Isso pode ser justificado pela quantidade limitada de dados coletados na estação quente, levado por condições climáticas desfavoráveis à pesquisa de campo (precipitações, céu fechado) que predominaram nos meses de verão.

Segundo a CEMTEC (2016), o estado de Mato Grosso do Sul apresentou regime atípico de chuvas no fim do ano de 2015 e começo de 2016. As chuvas excederam o valor histórico em 64,98% em janeiro e 6,44% em fevereiro (2016) na capital, Campo Grande. No mês de janeiro, os primeiros 16 dias foram de chuvas ininterruptas e o volume excedeu ao histórico em 31% (acumulado de 303,6 mm).

De modo geral, PET-CG apresentou acurácia de 56%. A Figura 28 apresenta os votos de insatisfação (ou seja, VST = ±2 e ±3) plotados em um gráfico de dispersão. Pode-se observar que as menores porcentagens de desconforto concentram-se no intervalo de 22 a 28 °C PET, que é próximo ao intervalo de neutralidade proposto na escala calibrada PET-CG.

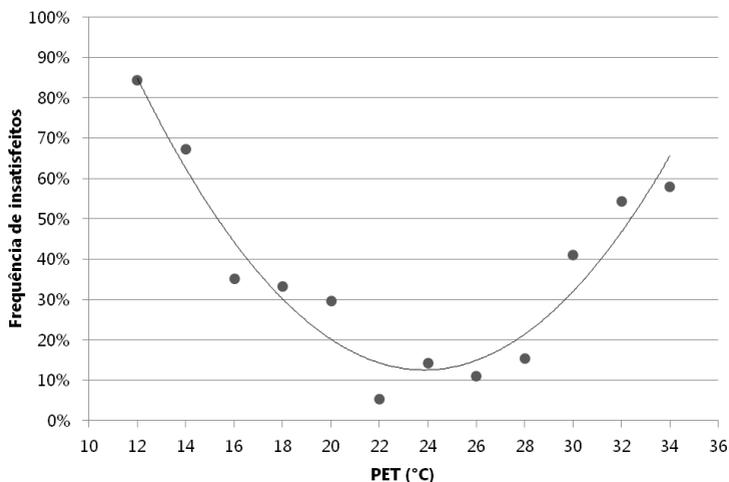


Figura 28. Frequência de votos de desconforto por intervalo PET.

6.3. Monitoramento microclimático

Foi aplicado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov em todas as variáveis ambientais coletadas, mas a hipótese de normalidade foi rejeitada em todas as situações. No entanto, sendo as amostras grandes ($n > 30$), serão consideradas como em distribuição normal. A Tabela 16 apresenta a média das variáveis ambientais monitoradas durante o experimento em campo. A Tabela 17 apresenta a média das variáveis monitoradas pela estação meteorológica localizada no aeroporto de Campo Grande (nos mesmos dias e horários do experimento de campo). Os dados da estação meteorológica foram obtidos no *site* rp5.ru, que disponibiliza dados climáticos horários em tempo real.

Tabela 16. Variáveis ambientais monitoradas em campo.

Estação	Temp. do ar (°C)			Temp. radiante média (°C)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	15,3	25,4	20,4	17,5	29,9	23,4
Primavera	29,2	32,3	30,7	29,4	33,6	32,1
Verão	29,1	32,1	30,3	30,4	34,4	31,9
Estação	Umidade relativa (%)			Velocidade do vento (m/s) a 1,1m		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	42,6	68,2	53,8	0,3	5,1	2,1
Primavera	44,6	63,5	54,3	0,1	5,5	1,4
Verão	53,1	63,4	57,8	0,2	2,1	0,7

Tabela 17. Variáveis ambientais obtidas de estação meteorológica. Fonte: rp5.ru

Estação	Temp. do ar (°C)			Temp. radiante média (°C)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	16	27	21,7			
Primavera	29	34	31,5	Não disponível		
Verão	29	31	30			

Estação	Umidade relativa (%)			Velocidade do vento (m/s) a 10m		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
Inverno	45	77	58,8	4	7	5,5
Primavera	41	51	47,5	5	7	5,8
Verão	59	62	60,5	2	4	3

Valores médios sazonais, monitorados pela mesma estação meteorológica (aeroporto), são apresentados na Tabela 18 (período de 2012 a 2016). A diferença entre os valores sazonais históricos e os valores obtidos em campo não são significativamente discrepantes, com exceção da velocidade do ar. Isso porque a variável foi monitorada em diferentes alturas: 1,1 m em campo e a 10 m na estação. Ainda, a área de estudo localiza-se na porção central da cidade (região densamente construída), que apresenta configurações diferentes da região onde se localiza o aeroporto, fator que interfere diretamente no padrão dos ventos.

A temperatura do ar média sazonal no inverno está 10% acima da média coletada em campo. A média coletada em campo na primavera e verão estão 8% e 10% acima da média sazonal, respectivamente. Assim, os dias de monitoramento representam relativamente bem as condições climáticas típicas das estações estudadas.

Tabela 18. Média das variáveis analisadas, por estação (2012-2016). Fonte: rp5.ru

	Temperatura do ar			Temp. radiante média		
	Inverno (9h - 11h)	Primavera (9h - 11h)	Verão (15h- 17h)	Inverno (9h - 11h)	Primavera (9h - 11h)	Verão (15h-17h)
Mín.	9 °C	15,5 °C	19,7 °C			
Méd.	22,7 °C	28,2 °C	27,3 °C	Não disponível		
Máx.	31,3 °C	35,3 °C	34 °C			

	Umidade relativa			Velocidade do vento a 10m		
	Inverno (9h - 11h)	Primavera (9h - 11h)	Verão (15h- 17h)	Inverno (9h - 11h)	Primavera (9h - 11h)	Verão (15h-17h)
Mín.	25,7%	24,5%	29,7%	0,0 m/s	0,5 m/s	0,0 m/s
Méd.	54,6%	59,2%	66,2%	4,9 m/s	5,0 m/s	4,3 m/s
Máx.	94,3%	100%	100%	11 m/s	13,5 m/s	14,7 m/s

6.3.1. Temperatura do ar e temperatura radiante média

Estudos têm reforçado a importância da temperatura radiante média para a avaliação do conforto térmico em espaços abertos (THORSSON et al., 2007b; MATZARAKIS et al., 2007, 2010; KRÜGER et al., 2011). Tal variável engloba os fluxos de radiação de ondas curtas e ondas longas (tanto diretas quanto refletidas) ao qual o corpo humano está exposto (THORSSON et al., 2007b). Segundo Abreu-Harbach et al. (2015), os principais parâmetros que influenciam o microclima urbano são a velocidade do vento e a temperatura radiante média, especialmente no caso de cidades tropicais. Em condições de exposição solar, a temperatura radiante pode ser considerada como um melhor parâmetro de análise das condições de conforto térmico do que a temperatura do ar (que é a variável convencionalmente adotada nos estudos) (MINELLA et al., 2011).

Essa hipótese foi confrontada comparando os coeficientes de correlação Pearson resultantes da associação entre os votos de sensação térmica e cada uma das duas variáveis (temperatura do ar e temperatura radiante). O coeficiente de correlação Pearson é a medida da relação linear (cujo valor varia entre -1 e 1) entre duas variáveis aleatórias. O valor 0 (zero) implica em nenhuma associação linear entre as variáveis, o valor 1 implica em associação positiva linear perfeita e o valor de -1 em associação negativa linear perfeita (ou seja, as variáveis são inversamente proporcionais). O coeficiente foi calculado através do programa estatístico *Minitab* 17. O limiar de significância de p-valor foi fixado em 0,05 (Tabela 19).

Tabela 19. Correlação entre votos de sensação e cada variável ambiental.

Voto de Sensação Térmica				
Temperatura do ar	Temperatura radiante média	Umidade relativa do ar	Velocidade do vento	Fator Visão do Céu
$r^2 = 0,54$	$r^2 = 0,55$	$r^2 = -0,14$	$r^2 = -0,09$	
p-valor < 0,001	p-valor < 0,001	p-valor < 0,001	p-valor < 0,001	p-valor > 0,05

De fato, os resultados indicam maior associação entre VST e temperatura radiante média ($r^2 = 0,55$; p-valor < 0,001) do que VST e temperatura do ar ($r^2 = 0,54$; p-valor < 0,001), embora a diferença seja mínima. Ambos os resultados indicam correlação positiva e alta entre as variáveis. Sendo VST um parâmetro subjetivo, adotou-se a interpretação de Cohen (1988) que sugere associação pequena a um valor absoluto de 0,1, média de 0,3 e grande de 0,5 ou mais (sob a perspectiva da bioestatística). Para comparação, Nikolopoulou e Lykoudis (2006) encontraram os valores de $r =$

0,53 para temperatura radiante e $r = 0,43$ para temperatura do ar (resultado da média de sete cidades europeias).

6.3.2. Umidade relativa do ar

O coeficiente de correlação obtido entre os votos de sensação térmica e umidade relativa do ar indicam associação negativa e baixa entre as variáveis ($r^2 = -0,14$; $p\text{-valor} < 0,001$). Para uma análise mais profunda, os votos de sensação térmica foram distribuídos em intervalos PET, em grupos de diferentes valores de umidade relativa. O índice PET foi adotado por ser amplamente aplicado em estudos semelhantes de conforto térmico urbano. Ainda, por ser expresso em °C, PET permite interpretação rápida e imediata dos resultados.

Os resultados demonstram que valores relativamente altos de umidade relativa (60-70%) causaram efeito indesejável nos visitantes quando valores PET eram inferiores a 20 °C e superiores a 30 °C (Figura 29). Comparando a amplitude de cada intervalo de umidade relativa, 60-70% tiveram os votos mais distantes da linha central de conforto ($VST=0$). Ou seja, quanto mais comprida sua seta, mais desconfortável as pessoas se declararam nesse intervalo. 50-60% foi o segundo intervalo mais desconfortável, evidenciando que 40-50% é o intervalo declarado mais confortável pelos visitantes.

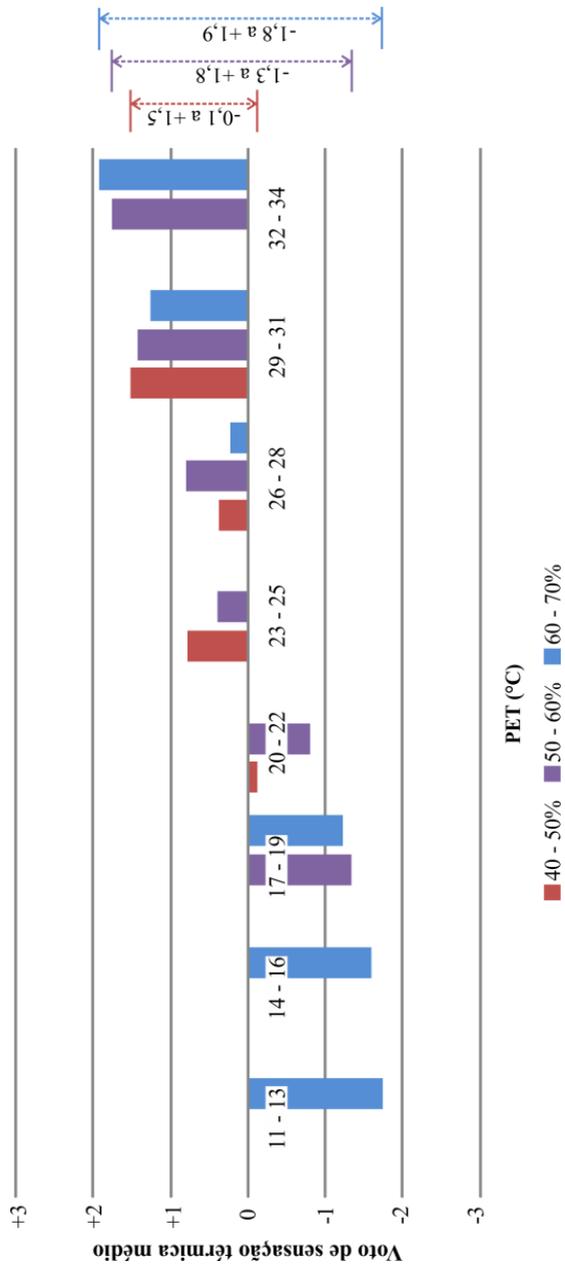


Figura 29. Comparação do VST em relação a diferentes valores de umidade relativa.

6.3.3. Velocidade do vento

Em zonas climáticas tropicais úmidas, a ventilação é especialmente importante para acelerar a troca de calor entre o organismo humano e o ambiente (SILVA e ALVAREZ, 2015). Durante as estações quentes, a alta velocidade do ar é um efeito desejável, pois remove o calor sensível e latente do corpo, restaurando a temperatura do corpo a seu estado de conforto térmico ideal (CÂNDIDO et al, 2010). Porém, durante as estações frias, a alta velocidade do vento pode implicar em desconforto térmico.

O coeficiente de correlação obtido entre os votos de sensação térmica e velocidade do vento indicam associação negativa e baixa entre as variáveis ($r^2 = -0,09$; p -valor $< 0,001$). Isso porque a velocidade do ar em áreas abertas varia consideravelmente e em pouco intervalo de tempo. Por esse motivo, Silva e Alvarez (2015) sugerem o uso de valores médios, que são mais representativos, pois mascaram os valores absolutos máximos e mínimos – tal como feito neste trabalho.

A amplitude dos votos com base nas velocidades médias foi analisada. Os resultados demonstram que no intervalo 11 a 16 °C PET o vento causou resfriamento indesejável na maioria dos respondentes (Figura 30). Velocidade do ar de até 1 m/s era desejável no intervalo 17 a 22 °C PET, mas tornou-se insuficiente após esse intervalo. No intervalo 23 a 25 °C PET, ventos de 3 a 4 m/s proporcionaram conforto térmico à maioria dos respondentes. A partir de 28 °C PET, o vento deixou de proporcionar resfriamento confortável (mesmo a altas velocidades) e passou a proporcionar aquecimento por convecção.

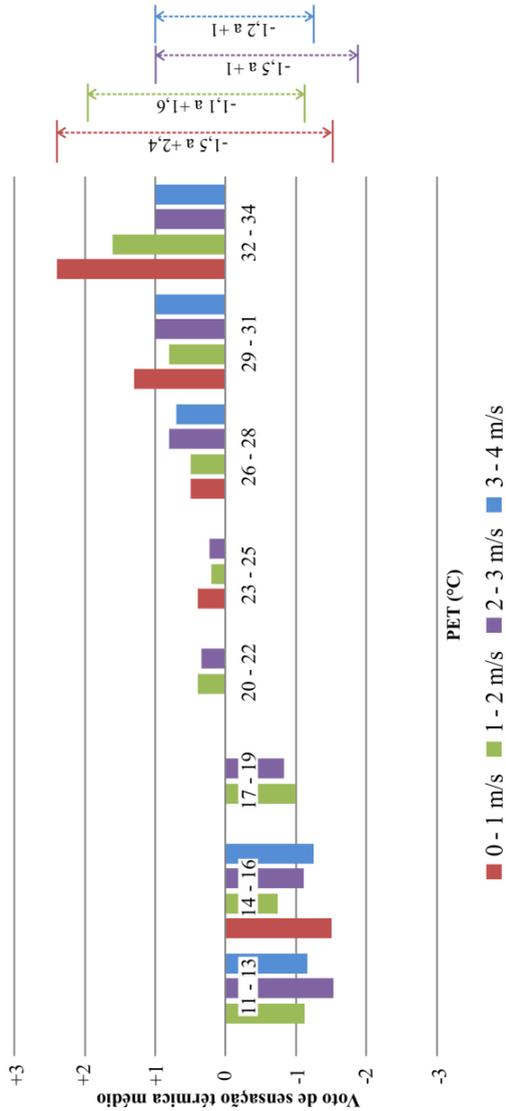


Figura 30. Comparação do VST em relação a diferentes velocidades do vento.

6.3.4. Sombreamento

Uma característica evidente das cidades tropicais é a presença abundante da vegetação urbana, que projeta sombra no ambiente construído, podendo promover oportunidades de adaptação térmica frente às ameaças das

mudanças climáticas (ABREU-HARBICH et al. 2015). O sombreamento será analisado neste estudo através do índice Fator Visão do Céu (SVF). Um dos critérios de escolha das quatro áreas de estudo foi o nível de sombreamento que cada uma apresenta. Determinou-se como espaço densamente sombreado a área 2 (SVF=0,09), parcialmente sombreados 3 (SVF=0,33) e 1 (SVF=0,47), e espaço aberto a área 4 (SVF=0,91) (Tabela 20).

Tabela 20. Áreas de estudo e Fator Visão do Céu.

Área	Foto olho-de-peixe representativa	SVF	Amplitude VST
<p>Área 1 (parcialmente sombreada)</p> <p>1654,84 m²</p>		0.47	-2 a +1,9
<p>Área 2 (densamente sombreada)</p> <p>1291,83 m²</p>		0.09	±1,5
<p>Área 3 (parcialmente sombreada)</p> <p>2730,72 m²</p>		0.33	-1,1 a +1,6
<p>Área 4 (aberta)</p> <p>1931,47 m²</p>		0.91	-1,6 a +2,7

O coeficiente de correlação obtido entre os votos de sensação térmica e o fator visão do céu não foi estatisticamente significativo (p -valor > 0,05), o que exigiu outra abordagem para a interpretação dos resultados. Optou-se, assim, por analisar a amplitude dos votos. Os resultados demonstram que, dentro dos mesmos intervalos PET, os respondentes declararam VSTs

médios diferentes em função da sua localização (Figura 31). As áreas 2 (SVF=0,09) e 3 (SVF=0,33) foram as que apresentaram a menor variação em relação à linha de conforto (VST=0). Assim, com base nos votos VST e sua amplitude, pode-se afirmar que o valor do Fator Visão do Céu ideal, para esse contexto, deve ficar em torno de 0,2.

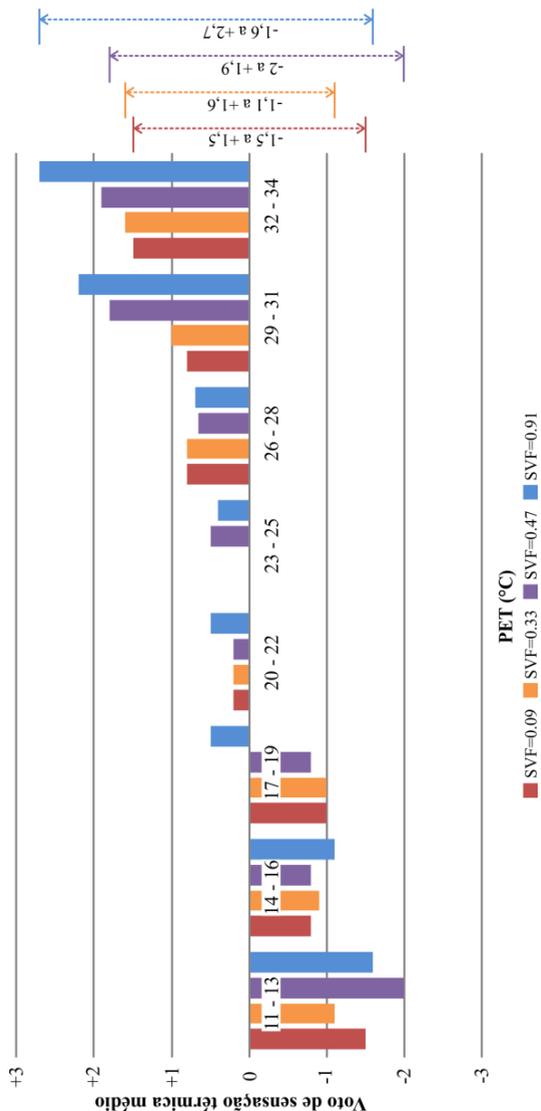


Figura 31. Amplitude dos votos de sensação em relação a PET (por sombreamento)

Porém, o sombreamento só passou a influenciar positivamente no conforto térmico dos visitantes quando os valores PET ultrapassaram 19 °C PET. Tal como verificado por Hwang et al. (2009) e Lin et al. (2010), áreas muito sombreadas podem induzir desconforto por frio durante estações frias em regiões de clima quente-úmido, onde pessoas costumam apresentar baixa tolerância ao frio. O fato demonstra a importância em proporcionar variados níveis de sombreamento na praça, oferecendo oportunidades de adaptação aos visitantes tanto nas estações frias quanto quentes.

De 20 a 28 °C PET, o sombreamento foi capaz de proporcionar relativo conforto aos visitantes. Apenas a partir de 28 °C PET, os respondentes declararam valores altos de desconforto por calor (acima de +1), mesmo nas áreas mais sombreadas. Da mesma forma, como evidenciado pelos gráficos da umidade relativa e velocidade do ar, os votos de sensação médios ficaram mais próximos à linha de conforto (VST=0) no intervalo 20 a 28 °C PET. O resultado reafirma a acurácia do intervalo de conforto térmico calibrado encontrado (21 a 27°C PET).

6.4. Adaptação térmica

Admitindo que a avaliação de conforto térmico é insuficiente se realizado apenas nos níveis físico e fisiológico, o estudo incluiu a dimensão psicológica na investigação. Como apresentado anteriormente, discrepâncias foram notadas entre os votos reais de sensação térmica (VST) e os demais calculados (PMV, VST-Andreasi, PET, Y_{DS} , UTCI e TEP). Segundo Brager e De Dear (1998), um dos fatores mais importantes que explicam a ocorrência de diferenças entre os votos de sensação térmica reais (obtidos) e os preditos (calculados) é a adaptação psicológica.

O sistema termorregulador do corpo humano proporciona equilíbrio térmico dentro de uma ampla gama de variáveis ambientais, e, com isso, a percepção térmica é expressa. Quando o indivíduo se sente em desconforto com o ambiente, procura fazer ajustes em seu comportamento para alcançar seu próprio conforto térmico (RUIZ e CORREA, 2015). Assim, fatores psicológicos foram analisados, e são apresentados a seguir.

6.4.1. Adaptação comportamental

Um dos quesitos incluídos no questionário abordava quais os principais ajustes feitos pelo indivíduo na praça quando se encontravam em desconforto térmico por calor (Figura 32).

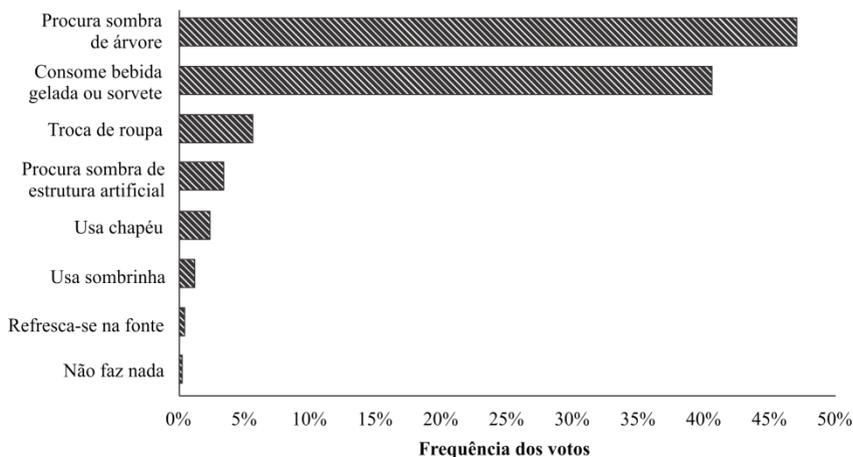


Figura 32. Estratégias de adaptação para o calor e porcentagem de votos

A procura pela sombra de uma árvore foi a estratégia mais votada (47%), sendo que apenas 3% declararam preferir a sombra de uma estrutura artificial. Apesar de ser uma adaptação física reativa, a procura pela sombra de árvore é levada pelo parâmetro psicológico "naturalidade". Segundo Nikolopoulou e Steemers (2003), a "naturalidade" baseia-se no pressuposto de que as pessoas são mais tolerantes às situações de desconforto quando predominam na paisagem elementos naturais ao invés de artificiais.

Outra estratégia relevante foi a ingestão de bebida gelada ou sorvete (41%), uma adaptação física reativa. O fato se deve às questões culturais locais com o consumo do tereré, uma bebida típica feita da infusão da erva-mate com água gelada. O desempenho das demais estratégias não foi significativo. Apenas três indivíduos declararam a omissão de quaisquer estratégias adaptativas.

Há limitação em algumas estratégias tal como a de adaptação do vestuário e o uso de chapéus e sombrinhas, fato já verificado no estudo de Lin et al. (2013). Apenas 5% dos respondentes declararam trocar de roupa (adaptação física reativa) quando estão com calor. Isso porque em dias quentes as pessoas tipicamente já vestem o mínimo possível de peças de roupa, tornando a redução das peças socialmente inadequada.

6.4.2. Percepção de controle

Percepção de controle pode ser investigada considerando o comportamento adaptativo das pessoas diante das opções disponíveis em um determinado espaço. Ainda, pode ser investigada baseada no fato das pessoas permanecerem no local por escolha própria ou contra sua vontade. Lin (2009)

e Lin et al. (2013) demonstraram que o nível de autonomia dos visitantes de áreas abertas influencia significativamente a percepção do ambiente térmico. Segundo os autores, pessoas com maior grau de autonomia ficam mais satisfeitas com sua situação termica e, assim, toleram melhor situações de desconforto .

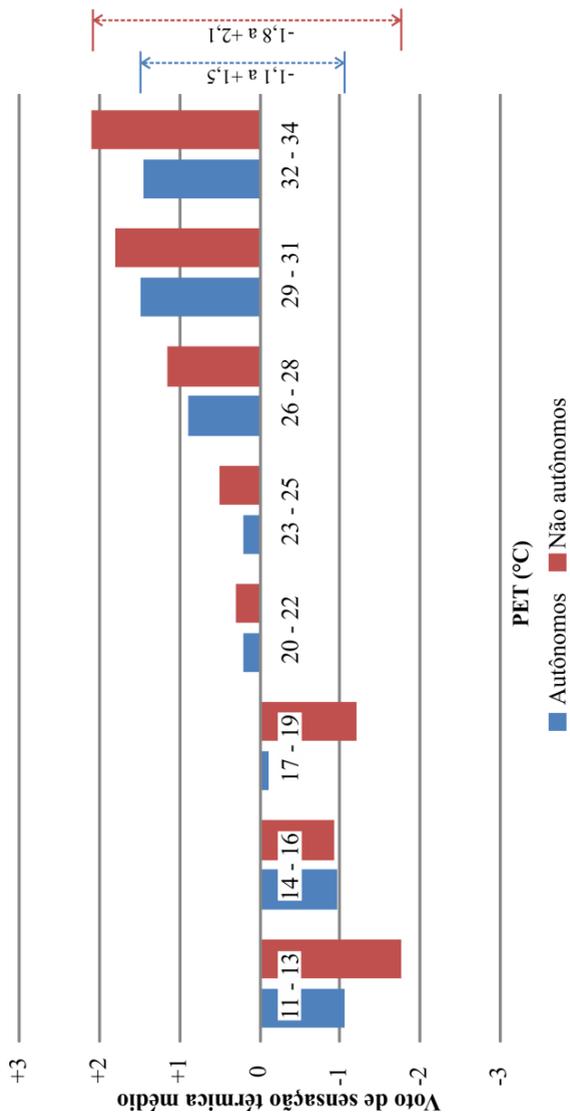


Figura 33. Amplitude dos votos de sensação em relação a PET (autonomia).

No total, 49% dos indivíduos declararam estar na praça por escolha própria, enquanto 51% lá permaneciam a trabalho, esperando por alguém ou por algo. Os resultados demonstram que, dentro dos mesmos intervalos PET, os visitantes autônomos e não-autônomos apresentaram VSTs médios diferentes (Figura 33). Assim, a faixa das respostas dos respondentes não-autônomos distanciou-se mais da linha VST=0 (seta vermelha mais comprida). Isso revela que pessoas com maior grau de autonomia são capazes de tolerar melhor condições de desconforto térmico, reafirmando os resultados de Lin et al. (2013) em Taiwan. O fato é mais evidente no intervalo 20 a 25 °C PET. Antes e depois desse intervalo, os respondentes declararam-se em desconforto independente de sua autonomia.

6.4.3. Experiência passada e expectativa

A experiência passada (física, fisiológica e psicológica) influencia o conforto térmico humano, uma vez que a expectativa leva as pessoas a comparar variáveis climáticas atuais com anteriores (YIN et al., 2012). Assim, a experiência passada em um determinado lugar e tempo altera o modo como o ambiente térmico é percebido (LIN, 2009). Isto torna-se ainda mais evidente na variação sazonal das temperaturas neutras (NIKOLOPOULOU, 2011).

Como já apresentado anteriormente, a variação sazonal da temperatura neutra é um exemplo de adaptação térmica ligado à fatores psicológicos. Afinal, sob a perspectiva fisiológica, não deveria haver diferença de temperatura neutra de acordo com as estações. Baseando-se na hipótese de que a temperatura a qual as pessoas se sentem confortáveis é aquela que elas vivenciaram anteriormente, os votos de sensação foram analisados usando a metodologia de Lin (2009). Assim, os VSTs médios foram separados em intervalos de 2 °C PET e plotados em um gráfico de dispersão (Figura 34).

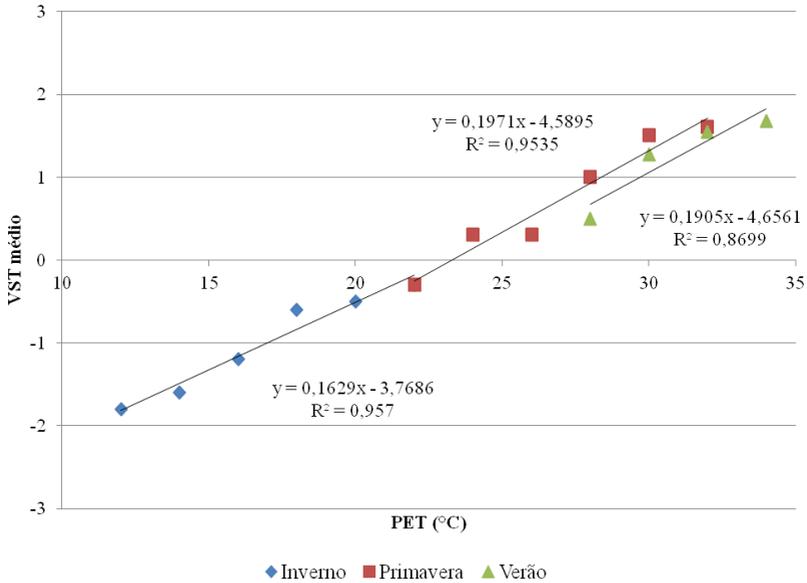


Figura 34. Correlação entre VSTs médios e PET.

A linha de regressão foi traçada e a equação foi estimada para o inverno (Equação 7), primavera (Equação 8) e verão (Equação 9). A equação permite determinar a temperatura PET neutra (ou seja, quando $VST_{\text{médio}} = 0$), o valor obtido para o inverno foi 23,1 °C PET, primavera 23,3 °C PET e verão 24,4 °C PET. Porém, é importante lembrar que neutralidade térmica não implica necessariamente em conforto (HUMPHREYS e HANCOCK, 2007).

Para o inverno: $VST_{\text{médio}} = 0,1629 * PET - 3,7686$ (Equação 7)

Para a primavera: $VST_{\text{médio}} = 0,1971 * PET - 4,5895$ (Equação 8)

Para o verão: $VST_{\text{médio}} = 0,1905 * PET - 4,6561$ (Equação 9)

Estudos similares encontraram valores diferentes para diferentes estações (Tabela 21). Lin (2009) observou que a experiência lembra as pessoas de que a temperatura do ar no verão é mais alta que no inverno, assim, a tolerância das pessoas para altas temperaturas no verão é alta, e sua temperatura neutra é mais alta que no inverno. Ainda, o mesmo estudo sugere que à medida que a diferença entre temperaturas anuais aumenta, a variação entre as temperaturas neutras também aumenta. Isso leva a crer que a amplitude térmica de dada região afeta o grau de adaptação local.

Neste estudo, a diferença encontrada entre as temperaturas neutras do inverno e da primavera foi mínima, sugerindo que a experiência e expectativa não influenciaram significativamente na sensação térmica dos respondentes entre essas estações. Porém, a diferença encontrada entre as temperaturas neutras do inverno e verão (estações de condições climáticas mais extremas) é relativamente significativa, similar aos resultados encontrados por Lin (2009) em Taiwan.

Tabela 21. Temperaturas neutras obtidas em estudos similares.

Clima e localização	Estação quente (verão)	Estação fria (inverno)	Diferença	Variação anual de temperatura	Referência
Temperado (Cambridge/Inglaterra)	28 °C	8 °C	20 °C	28 °C (1 a 29 °C)	Nikolopoulou et al. (2001)
Semi-árido (Thessaloniki/Grécia)	28,9 °C	15 °C	13,9 °C	---	Nikolopoulou e Lykoudis (2006)
Subtropical úmido (Sydney/Austrália)	33 °C	23 °C	10 °C	31 °C	Spagnolo e Dear (2003)
Quente-úmido (Taichung/Taiwan)	25,6 °C PET	23,7 °C PET	1,9 °C PET	17 °C (18 a 35 °C)	Lin (2009)
Quente-úmido (Campo Grande/Brasil)	24,4 °C PET	23,1 °C PET	1,3 °C PET	14 °C (16 a 30 °C)	Presente estudo

6.4.4. Tempo de exposição

O quesito 6 indagava se o respondente permaneceria na praça por mais tempo se estivesse em conforto ou se sua condição térmica não influenciava sua decisão. Dessa maneira, a resposta "sim" indica que a pessoa iria embora se em desconforto; e a resposta "não" indica que a pessoa permaneceria apesar do desconforto. As respostas foram separadas por votos de sensação térmica (Figura 35).

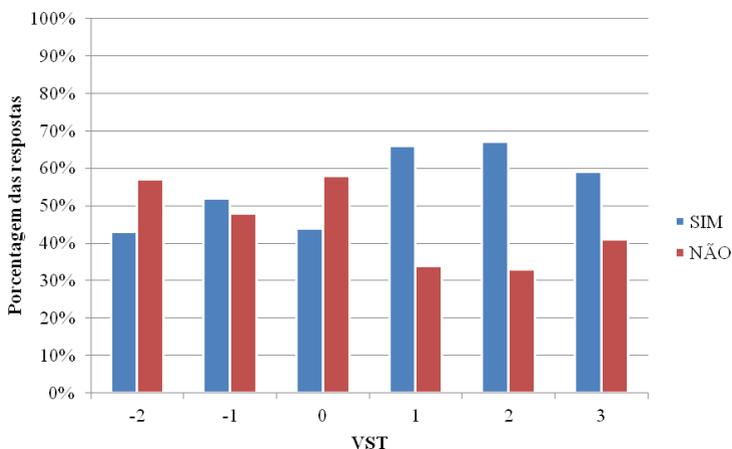


Figura 35. Respostas relacionadas ao tempo de permanência separadas por VST.

Os resultados indicam que o desconforto por calor leva as pessoas a permanecerem menos tempo na praça, mais do que no caso de desconforto por frio. Isso porque predominam respostas "sim" no intervalo de +1 a +3. Devido às características climáticas locais, os residentes de Campo Grande experimentam invernos curtos e amenos. Assim, desconforto por frio é uma condição que ocorre com muito menos frequência do que por calor. Isso pode torná-los menos tolerantes ao frio, porém, mais receptivos às condições microclimáticas frescas. De fato, Lin (2009) comprovou que pessoas preferem temperaturas abaixo da temperatura neutra em regiões de clima quente-úmido. Portanto, para incentivar maior tempo de permanência dos visitantes em praças públicas do município, estratégias de resfriamento microclimático devem prevalecer sobre estratégias de aquecimento.

6.4.4.1. Horas de desconforto estimadas

Considerando os resultados apresentados, fez-se necessário estimar os momentos críticos de desconforto térmico no município. Dessa maneira, valores horários médios PET foram calculados para os meses de inverno

(Figura 36), primavera (Figura 37) e verão (Figura 38) com base nas variáveis climáticas obtidas do arquivo climático EnergyPlus (período de 1973-1991).

Valores fixos de vestimenta e taxa metabólica foram utilizados no cálculo de PET baseados nos valores médios obtidos em campo: primavera 0,5 clo e 1,1 met; inverno 0,6 clo e 1,2 met; verão 0,5 clo e 1,1 met. Ou seja, os valores PET foram calculados considerando os hábitos locais de ajuste de roupa de acordo com as estações. Aplicando a escala interpretativa calibrada para Campo Grande, foi possível estimar as horas que mais proporcionam desconforto térmico aos habitantes locais.

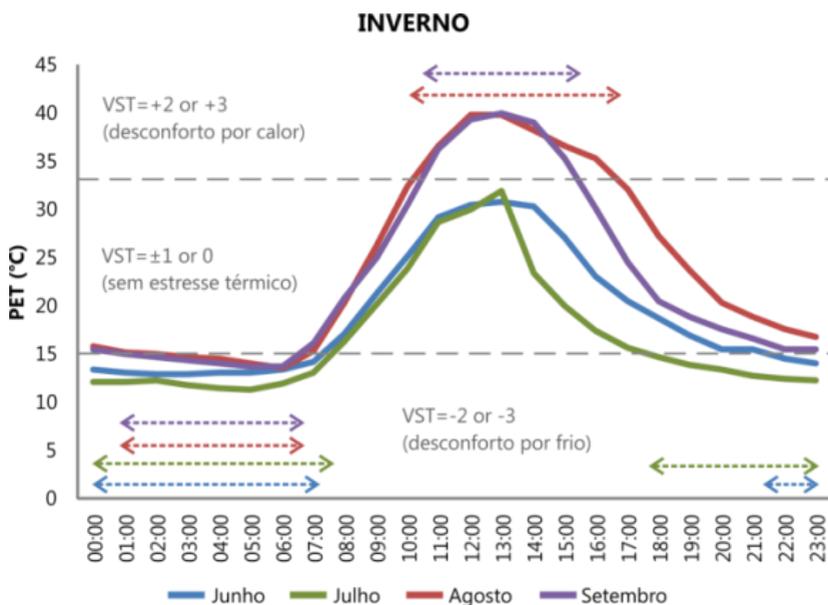


Figura 36. Horários de desconforto no inverno.

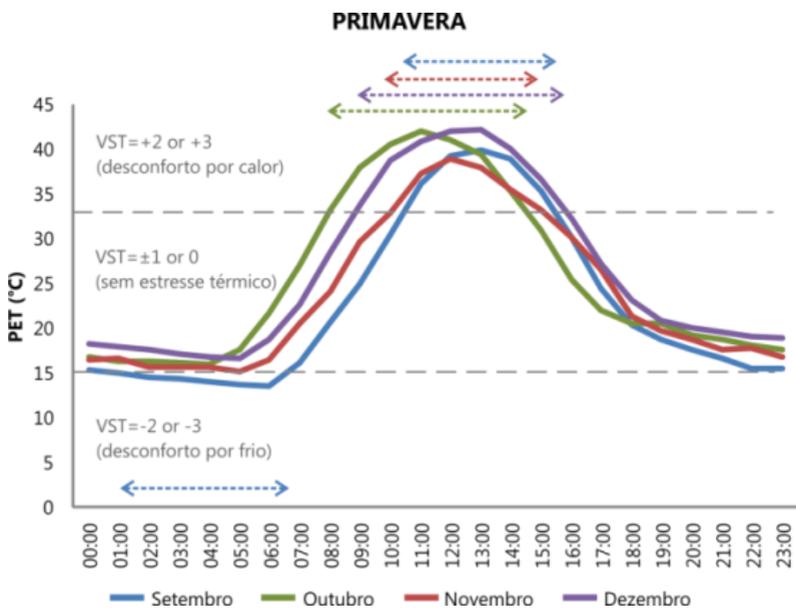


Figura 37. Horários de desconforto na primavera.

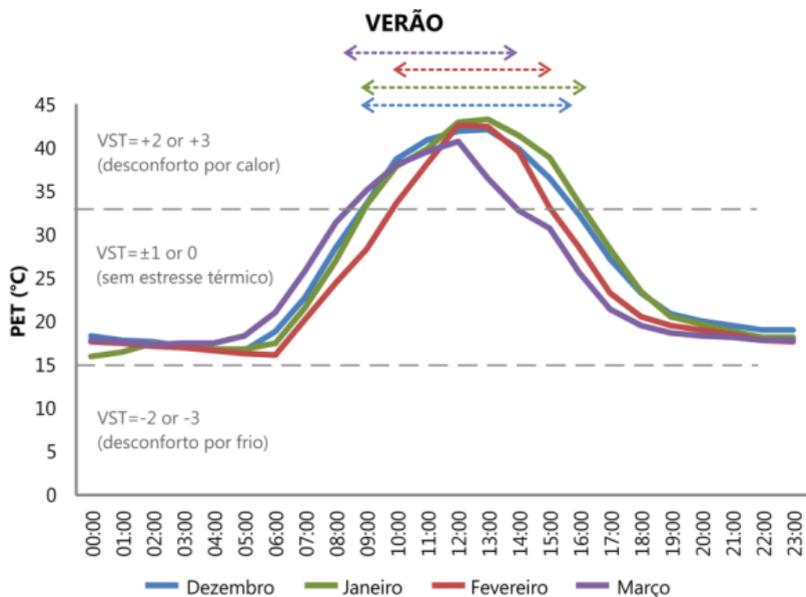


Figura 38. Horários de desconforto no verão.

De acordo com a ASHRAE Standard 55 (2013), votos considerados "aceitáveis" incluem VST "0" e " ± 1 ". Assim, os demais foram agrupados em duas zonas de desconforto: por frio e por calor. O inverno proporciona mais horas de desconforto (média de 48%) do que a primavera (média de 32%) e verão (média de 28%), sendo que o mês de julho foi considerado o mais desconfortável dentre os meses avaliados (Tabela 22).

Tabela 22. Porcentagem de horas de desconforto por mês.

	Inverno			
	Jun	Jul	Ago	Set
Frio (VST = -2 ou -3)	38%	55%	25%	25%
Conforto (VST = ± 1 ou 0)	62%	45%	46%	54%
Calor (VST = +2 ou +3)	-	-	29%	21%
	Primavera			
	Set	Out	Nov	Dez
Frio (VST = -2 ou -3)	25%	-	-	-
Conforto (VST = ± 1 ou 0)	54%	71%	78%	70%
Calor (VST = +2 ou +3)	21%	29%	22%	30%
	Verão			
	Dez	Jan	Fev	Mar
Frio (VST = -2 ou -3)	-	-	-	-
Conforto (VST = ± 1 ou 0)	70%	68%	77%	75%
Calor (VST = +2 ou +3)	30%	32%	23%	25%

No entanto, os horários de desconforto (por frio) no inverno prevalecem entre meia-noite e 7h00min, quando praças públicas não têm um número significativo de visitantes. Já durante a primavera e verão, os horários de desconforto (por calor) prevalecem em horários de alto fluxo de visitantes (7h30min às 17h00min). Esses dados reforçam a importância em proporcionar condições microclimáticas amenas em áreas abertas no município, buscando incentivar maior utilização das praças e maior tempo de permanência de visitantes.

6.5. Considerações de projeto para espaços abertos em Campo Grande (MS)

Modificações nos atributos físicos do espaço urbano podem promover a melhoria das condições térmicas e influenciar positivamente no uso dos espaços ao ar livre (BRÖDE et al., 2012). No entanto, não é suficiente projetar áreas ao ar livre com base exclusivamente no ambiente físico (NIKOLOPOULOU e STEEMERS, 2003).

Como já apresentado, Nikolopoulou e Steemers (2003) oficializaram três níveis de adaptação térmica para ambientes abertos: físico, fisiológico e psicológico. Os autores demonstraram que aproximadamente 50% da variação entre a avaliação de conforto objetiva e subjetiva pode ser explicada pelas condições físicas e fisiológicas, sendo os outros 50% atribuídos a fatores psicológicos, tais como: naturalidade, experiência anterior, percepção de controle, tempo de exposição, estímulo ambiental e expectativas passadas.

Ainda, Nikolopoulou e Steemers (2003) oferecem diretrizes para aplicação destes conceitos no processo de concepção de projeto. O impacto de questões projetuais sobre cada um destes parâmetros psicológicos é descrito pelos autores da seguinte maneira:

(a) Naturalidade: faz parte do caráter do local. Pode ser enfatizado pela "ecologização" da área, acrescentando vegetação ou proporcionando paisagens interessantes. É particularmente importante se o local em questão está inserido em um contexto urbano denso.

(b) Experiência passada: não está muito relacionado ao espaço físico, mas algumas medidas podem ser tomadas para melhorar esse parâmetro nos usuários, em particular na experiência de curto prazo.

(c) Percepção de controle: pode ser aperfeiçoado se proporcionar maiores possibilidades de adaptação física. A adaptação reativa depende do indivíduo e não está relacionada com o espaço físico. A interativa, no entanto, é um parâmetro que pode ser melhorado se o local proporcionar uma variedade de subespaços dentro da mesma área. Assim, é primordial oferecer escolhas (bancos tanto ao sol quanto à sombra, exposto ao vento ou protegido, etc.) para que o usuário possa escolher o microclima que mais lhe agrada no momento. A variedade de opções é importante até mesmo quando estes espaços não estão sendo usados.

Estes são os principais parâmetros e afetam os demais, tais como tempo de exposição, estímulo ambiental e expectativa. Tempo de exposição é uma variável pessoal, mas pode ser influenciada dependendo da avaliação térmica do usuário: se de forma positiva, para estender sua estadia; se negativa, reduzindo-a. O contato com a natureza e o estímulo sensorial são os objetivos

principais que levam ao uso de espaços abertos, o que deve ser incentivado através do *design*, com a setorização consciente do ambiente, levando em consideração as variações diárias e sazonais (que exigem soluções diferentes) (RUROS, 2004).

Os resultados obtidos neste trabalho reafirmam a importância do sombreamento para o clima quente-úmido, mesmo durante as estações frias, evidente pela grande procura por estes espaços. No entanto, é importante oferecer diversos níveis de sombreamentos, de modo que os usuários possam ter oportunidades de escolha durante todo o ano, ou seja, que tenham "percepção de controle" (satisfação psicológica). O sombreamento deve ser proporcionado principalmente por vegetação, dada a preferência dos respondentes por elementos naturais, sua capacidade de aumentar a umidade relativa do ar e de diminuir sua temperatura através do processo de evapotranspiração. Os coeficientes de correlação revelaram associações similares para temperatura do ar e temperatura radiante média em relação aos votos de sensação térmica. Assim, reduzir a temperatura radiante adicionando dispositivos de sombreamento é tão importante quanto diminuir a temperatura do ar (durante estação quente), sendo que vegetação abundante realiza ambos.

Especificamente em relação à temperatura radiante média, sugere-se a minimização dos ganhos de calor e maximização das perdas de calor do material de superfície do piso. Para isso, revestimento com vegetação ou revestimento com materiais de cor clara devem ser priorizados. Porém, não excessivamente claros de maneira a evitar o problema de ofuscamento (desconforto visual) por reflexão da luz solar. O sombreamento proporcionado por coberturas processadas deve ser evitado, pois os materiais aplicados em tais estruturas reemitem a radiação térmica recebida e aquecem o local sombreado. Aberturas zenitais podem amenizar o problema através do resfriamento induzido por ventilação (efeito chaminé).

Quanto ao vento, é preciso uma análise mais minuciosa para maiores orientações, tanto do espaço em si quanto do seu entorno. Como regra geral, em ambientes urbanos a velocidade de até 5 m/s (em temperaturas acima de 10 °C e considerando que as pessoas farão ajustes pessoais) é considerada aceitável para transeuntes para fins de resfriamento (RUROS, 2004). No entanto, áreas de permanência prolongada, onde pessoas permanecem sentadas e em atividades leves, é preciso implantar barreiras. Essas barreiras devem ser preferencialmente móveis (painéis), uma vez que ventos de alta velocidade são desejáveis em algumas situações e não em outras, conforme verificado neste estudo. Ainda, cada área deve ser analisada individualmente levando em consideração seu uso, atividade realizada, tempo de permanência, perfil das pessoas que frequentam, dentre outros parâmetros.

Áreas que abrigam atividades específicas que exigem concentração mental e permanência prolongada, como os jogos de mesa, podem ser locadas

em níveis mais baixos em relação ao nível de passagem de pedestres (abaixo do solo). Dessa maneira, tais ambientes ficam protegidos do barulho proveniente dos veículos e do movimento dos pedestres. Do ponto de vista térmico, o ambiente abrigado fica protegido do vento indesejável (tanto no calor quanto no frio) e da incidência solar direta (graças ao sombreamento proporcionado pela diferença de nível).

Adicionalmente, sugere-se a implantação de bebedouros públicos nas áreas abertas, uma vez que significativa parcela dos respondentes declarou consumir bebida gelada quando em desconforto por calor. Com a escala PET calibrada para Campo Grande, proposta neste trabalho, foi possível identificar as horas de desconforto térmico predominantes em cada mês das estações analisadas. Com tais informações, projetos devem ser direcionados de modo a criar microclimas favoráveis às necessidades térmicas dos habitantes ao longo das horas, meses e estações. Para isso, sugere-se o uso de modelos que simulam as condições microclimáticas do ambiente urbano, tal como o ENVI-met ou até mesmo o próprio RayMan.

7. CONCLUSÕES

PET foi o índice que melhor previu os votos de sensação térmica declarados pelos visitantes da praça (41% de acerto), seguido do UTCI (40%), do Y_{DS} (38%), VST-Andreasí (36%), TEP (31%) e por último o PMV (22%). As condições microclimáticas influenciaram significativamente na percepção do ambiente térmico, sendo a temperatura radiante média a variável de maior relevância. No entanto, a abordagem puramente fisiológica foi insuficiente na avaliação do conforto térmico ao ar livre. Isto foi evidenciado pela capacidade preditiva limitada dos índices analisados (precisão abaixo de 50%), que não representaram de forma eficiente os votos de sensação térmica dos respondentes.

Quanto ao desempenho individual dos índices, o PMV mostrou-se excessivamente sensível à influência do vento, principalmente sua capacidade de resfriamento. O índice superestimou os votos de calor no verão e os votos de frio no inverno. VST-Andreasí foi desenvolvido originalmente para ser aplicado em ambientes fechados. No entanto, foi capaz de aumentar o desempenho de PMV em 14%, ajustando-o para o contexto climático quente-úmido. Y_{DS} e TEP foram desenvolvidos para serem aplicados em contextos climáticos específicos. Porém, Y_{DS} apresentou relativo bom desempenho, principalmente durante a estação quente. PET e UTCI tiveram desempenhos relativamente satisfatórios (quando comparados aos demais), mas a calibração regional foi necessária.

Dessa maneira, a escala PET foi calibrada para Campo Grande (apresentando acurácia de 56%) e o intervalo de conforto térmico encontrado foi 21 a 27 °C PET. A escala calibrada apresentou melhor desempenho na estação fria do que na estação quente. Isso pode ser justificado pela quantidade limitada de dados coletados na estação quente, levado por condições climáticas desfavoráveis à pesquisa de campo (precipitações, céu fechado) que predominaram nos meses de verão (do ano de 2016).

O estudo comprovou que fatores psicológicos e comportamentais influenciam na avaliação individual do ambiente térmico. A estratégia adaptativa mais utilizada, no caso de desconforto por calor na praça, foi a procura pela sombra de uma árvore. Outra estratégia relevante foi a ingestão de bebida gelada, que se deve à questões culturais locais. Dessa maneira, bebedouros públicos devem ser disponibilizados nas praças.

Respondentes com maior grau de autonomia (ou seja, que estavam na praça à passeio) mostraram-se mais tolerantes ao frio e calor do que os respondentes que não permaneciam na praça por escolha própria. O desconforto por calor leva as pessoas a permanecerem menos tempo na praça, mais do que no caso de desconforto por frio. Assim, estratégias de resfriamento devem ser aplicadas para incentivar prolongado período de estadia dos visitantes nas praças públicas do município.

Duas estratégias de resfriamento passivo são recomendadas: ventilação natural e sombreamento. Resfriamento evaporativo não é recomendado, uma vez que valores mais baixos de umidade relativa (40 a 50%) proporcionaram maiores condições de conforto às pessoas. O sombreamento deve ser proporcionado principalmente por árvores. Áreas sombreadas (SVF=0,2 aproximadamente) proporcionaram as melhores condições de conforto térmico. No entanto, diversos níveis de sombreamentos devem ser oferecidos, de modo que os visitantes possam ter oportunidades de escolha (percepção de controle) ao longo do dia e das estações do ano de acordo com sua necessidade pessoal.

Ventilação também é uma estratégia de grande relevância em regiões de clima quente-úmido. No entanto, tanto a ventilação quanto o sombreamento tiveram aplicação limitada, uma vez que só passaram a influenciar positivamente no conforto térmico dos visitantes quando os valores PET ficavam entre 19 e 28 °C. Assim, áreas de permanência prolongada devem ser protegidas do vento direto por barreiras móveis, pois em situações abaixo de 19 °C PET causa resfriamento indesejável e acima de 28 °C causa aquecimento indesejável (por convecção).

As temperaturas PET neutras para a estação fria (inverno) e quente (verão) foram obtidas através de regressão linear, apresentando valores de 23,1 e 24,4 °C PET, respectivamente. Assim, a experiência passada e expectativa influenciaram significativamente na sensação térmica dos respondentes. Considerando que as temperaturas neutras obtidas são maiores que 19 °C (que é quando o resfriamento passa a ser desejável), pode-se afirmar que as pessoas preferem temperaturas abaixo da temperatura neutra em regiões de clima quente-úmido.

A percepção térmica das pessoas se mostraram fortemente associadas à temperatura do ar e temperatura radiante média, mas não tão significativamente à umidade relativa do ar. Estudos conduzidos em Taiwan (clima quente-úmido) apresentam resultado semelhante. As horas críticas de desconforto térmico foram estimadas para os meses de inverno, primavera e verão com base na escala interpretativa PET calibrada para Campo Grande. Estas informações bioclimáticas podem ser usadas na elaboração de projetos futuros de áreas abertas públicas no município.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos e das limitações deste estudo, sugere-se para trabalhos futuros a serem realizados no estado de Mato Grosso do Sul:

- avaliação mais abrangente da influência da ventilação no conforto térmico em espaços abertos do município, ao longo das horas do dia e das estações.
- Re-calibração da escala avaliativa PET proposta neste trabalho com base em dados coletados (em campo) durante período mais extenso, com ênfase na estação quente ($PET > 34^{\circ}$).
- Proposta de um novo método de avaliação de conforto térmico em áreas abertas que seja específico para a região em questão.
- Análise da geometria urbana e o impacto do entorno construído nas condições de conforto térmico de pedestres, seja através de experimento de campo ou por simulação.
- Avaliação das condições de conforto térmico em diferentes regiões de Campo Grande (além da região Central, abordada neste estudo) e comparação dos resultados obtidos. Sugere-se a análise não apenas dos votos de sensação térmica, mas também votos de preferência, aceitabilidade e temperatura neutra.
- Calibração do índice PET para diferentes municípios do estado, de preferência localizados em diferentes zonas bioclimáticas (classificação NBR 15220-3:2005). Comparação e discussão dos resultados com base nos conceitos adaptativos (físico, fisiológico e psicológico).

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220-3** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. *Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics*. **Landscape and Urban Planning**, v. 138, p. 99-109, 2015.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D. *Global cooling updates: Reflective roofs and pavements*. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 2-6, 2012.

ALCOFORADO, M. J.; ANDRADE, H.; LOPES, A.; VASCONCELOS, J. *Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal)*. **Landscape and Urban Planning**, v. 90, p. 56-65, 2009.

ALLEGRI, J.; DORER, V.; CARMELET, J. *Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings*. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 823-832, 2012.

ALMUSAED, A. *Biophilic and bioclimatic architecture – analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture*. Londres: Springer-Verlag London Limited, 2011.

ANDREASI, W. A. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2009.

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. *Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil*. **Building and Environment**, v. 45(5), p. 1225-1232, 2010.

ANSI/ASHRAE Standard 55. **Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.

BAÑUELOS-RUEDAS, F.; CAMACHO, C.Á. *Methodologies Used in the Extrapolation of Wind Speed Data at Different Heights and Its Impact in the Wind Energy Resource Assessment in a Region*. In: **Wind Farm—Technical Regulations, Potential Estimation and Siting Assessment**; Suvire, InTech: Rijeka, 2011.

BARBETTA, P. A. Estatística Aplicada às Ciências Sociais. 5ª edição. Florianópolis: Ed UFSC, 2006.

BITAN, A. *The Methodology of Applied Climatology in Planning and Building*. **Energy and Buildings**, v. 11, p. 1-10, 1988.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E.; ROSSI, F.; FIALA, D. *Predicting urban outdoor thermal comfort by the universal thermal climate index UTCI - a case study in southern Brazil*. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 471-480, 2012.

CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R. J.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. *Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone*. **Building and Environment**, v. 45, p. 222-229, 2010.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. *Land Use and Thermal Comfort in the County of Ourinhos, SP*. **Current Urban Studies**, v. 2, p. 140-151, 2014.

CASTELLO, M. G. *Brazilian policies on climate change: The missing link to cities*. **Cities**, v. 28, p. 498-504, 2011.

CEMTEC. Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul. **Histórico das chuvas em Campo Grande (2001-2016) - material especial**. Disponível em: <www.cemtec.ms.gov.br/>. Acesso em: 02 de abril, 2016.

CEMTEC. Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul. **Boletins Meteorológicos**. Disponível em: <www.cemtec.ms.gov.br/>. Acesso em: 02 de abril, 2016.

CHEN, L.; NG, E. *Outdoor thermal comfort and outdoor activities: a review of research*. **Cities**; v. 29, p. 118-125, 2012.

CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C.; GIVONI, B. *Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong*. **International Journal of Biometeorology**; v. 56, p. 43-56, 2012.

COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.

COSEO, P.; LARSEN, L. *How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago.* **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 115-129, 2014.

DE DEAR, R. J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E. A.; BRAGER, G.; CÂNDIDO, C.; CHEONG, K. W.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S. C.; TANABE, S.; TOFTUM, J.; ZHANG, Z.; ZHU, Y. *Progress in thermal comfort research over the last twenty years.* **Indoor Air**, v. 23, p. 442-461, 2013.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference.* **ASHRAE Transactions**, v. 104(1), p. 145-167, 1998.

DUBOIS, D.; DUBOIS, E. F. *A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known.* **Arch Intern Medicine**, v. 17, p. 863-871, 1916.

ELIASSON, I. *The use of climate knowledge in urban planning.* **Landscape and Urban Planning**, v. 48, p. 31-44, 2000.

IBAM/DUMA; ELETROBRAS/PROCEL. **Planejamento e controle ambiental-urbano e a eficiência energética.** Rio de Janeiro, 2013.

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

FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. *Anthropogenic heat in the city of São Paulo, Brazil.* **Theoretical and Applied Climatology**, v. 104, p. 43-56, 2011.

FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. *Diurnal variation in stored energy flux in São Paulo city, Brazil.* **Urban Climate**, v. 5, p. 36-51, 2013.

FIALA, D.; LOMAS, K. J.; STOHRER, M. *Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions.* **International Journal of Biometeorology**; v. 45(3), p. 143-159, 2001.

GAGO, E. J.; ROLDAN, J.; PACHECO-TORRES, R.; ORDÓÑEZ. *The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 749-758, 2013.

GELLER, H. S. **Revolução Energética**: políticas para um futuro sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.

GIVONI, B.; NOGUCHI, M.; SAARONI, H.; POCHTER, O.; YAACOV, Y.; FELLER, N.; BECKER, F. *Outdoor comfort research issues*. **Energy and Buildings**; v. 35, p. 77–86, 2003.

GÓMEZ, F.; CUEVA, A. P.; VALCUENDE, M.; MATZARAKIS, A. *Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET)*. **Ecological Engineering**, v. 57, p. 27-39, 2013.

GOUVÊA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2007.

GRIMMOND, C. S. B. *Progress in measuring and observing the urban atmosphere*. **Theoretical and Applied Climatology** v. 84, p. 3-22, 2006.

GRIMMOND, C. S. B. *Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming*. *Geogr. J.* v. 173, p. 83-88, 2007.

HEBBERT, M.; MACKILLOP, F. *Urban climatology applied to urban planning: a postwar knowledge circulation failure*. **International Journal of Urban and Regional Research**; v. 37.5, p. 1542-58, setembro 2013.

HÖPPE, P. *The Physiological Equivalent Temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.

HUMPHREYS, M. A.; HANCOCK, M. *Do people like to feel "neutral"? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale*. **Energy and Buildings**, v. 39 (7), p. 867-874, 2007.

HWANG, R.; LIN, T.; MATZARAKIS, A. *Outdoor thermal comfort in university campus in hot-humid regions*. In: 7th International Conference on Urban Climate. Anais... Yokohama, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brazil_tab_1_15.pdf>. Acesso em: 09 de outubro, 2014.

IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

ISB. *International Society of Biometeorology. Commission 6: Development of a "Universal Thermal Climate Index" (UTCI)*. Disponível em: <<http://www.utci.org/isb.php>>. Acesso em: 10 de março, 2015.

ISO 7726 – *Ergonomics of the thermal environments - Instruments for measuring physical quantities. International Organisation for Standardisation*, 1998.

ISO 7730 – *Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort. International Organisation for Standardisation*, 2005.

ISO 8996 – *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic heat production. International Organisation for Standardisation*, 1990.

ISO 9920 – *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. International Organisation for Standardisation*, 1995.

ISO 10551 – *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. International Organisation for Standardisation*, 1995.

JABAREEN, Y. *Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. Cities*; v. 31, p. 220-229, 2013.

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R. *A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renewable Energy*, v. 43, p. 157-164, 2012.

JENDRITZKY, G.; DE DEAR, R.; HAVENITH, G. *UTCI – why another thermal index?. Int J Biometeorol*, v. 56, p. 421-428, 2012.

KATZSCHNER, L. *Behaviour of people in open spaces in dependence of thermal comfort conditions*. In: 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Anais... Geneva, 2006.

KETTERER, C.; MATZARAKIS, A. *Assessment of human-biometeorological conditions in urban areas embedded in complex topographies – The example of Stuttgart*. In: 12° International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Anais... Heraklion, 2014.

KETTERER, C.; MATZARAKIS, A. *Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany*. **Landscape and Urban Planning**, v. 122, p. 78-88, 2014b.

KLEEREKOPER, L.; VAN ESCH, M.; SALCEDO, T. B. *How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect*. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 64, p. 30-38, 2012.

KRÜGER, E. L.; MINELLA, F. C. O.; RASIA, F. B. C. *Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil*. **Building and Environment**, v. 46, p. 621-634, 2011.

LAMBERTS, R. *Conforto e stress térmico (apostila)*. Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Florianópolis, 2013.

LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R.; DE VECCHI, R. *Towards a Brazilian standard on Thermal Comfort*. 2013. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version.pdf>. Acesso em: 28 de fevereiro, 2015.

LIN, T. *Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions*. **Building and Environment**, v. 44, p. 2017-2026, 2009.

LIN, T.; DE DEAR, R.; HWANG, R. *Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort*. **International Journal of Climatology**; v. 31, p. 302-3012, 2011.

LIN, T.; MATZARAKIS, A. *Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan*. **International Journal of Biometeorology**, v. 52, p. 281-290, 2008.

LIN, T.; MATZARAKIS, A.; HWANG, R. *Shading effect on long-term outdoor thermal comfort*. **Building and Environment**, v. 45, p. 213-221, 2010.

LIN, T.; TSAI, K.; TUNG, C.; HWANG, R.; MATZARAKIS, A. *An analysis of the effects of shading factors on human bioclimate in an evolving urban context*. In: 8th International Conference on Urban Climate. Anais... Dublin, 2012.

LIN, T.; TSAI, K. LIAO, C.; HUANG, Y. *Effects of thermal comfort and adaptation on park attendance regarding different shading levels and activity types*. **Building and Environment**, v. 59, p. 599-611, 2013.

LÓPEZ, V.; LUCCHESI, J. R.; ANDREASI, W. A. *Thermal comfort assessment in the hot and humid region of Paraguay: a comparison between three methodologies*. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**; v. 15, n. 6; p. 26-31, 2015.

LUCENA, A. J.; ROTUNNO FILHO, O., C.; FRANÇA, J. R. A.; PERES, L. F.; XAVIER, L. N. R. *Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro*. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, p. 497-511, 2013.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. *Another kind of environmental stress: thermal stress*. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, Newsletters, v. 18, p. 7-10, 1996.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. *Modeling radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model*. **International Journal of Biometeorology**; v. 51; p. 323-334, 2007.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. *Modeling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model*. **International Journal of Biometeorology**; v. 54, p. 131-139, 2010.

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

MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. *Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em*

ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, v.11 (1), p. 123-143, 2011.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. **Modelo adaptativo de conforto térmico em espaços urbanos abertos**. In: 4º PLURIS Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Anais... Faro, 2010.

NIKOLOPOULOU, M. *Outdoor thermal comfort*. **Frontiers in Bioscience**; v. 3, p. 1552-1568, 2011.

NIKOLOPOULOU, M.; LYKOUDIS, S. *Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries*. **Building and Environment**, v. 41 (11), p. 1455-1470, 2006.

NIKOLOPOULOU, M. LYKOUDIS, S.; KIKIRA, M. *Thermal comfort models for open urban spaces*. In: Nikolopoulou M., editor. *Designing open spaces in the urban environment: a Bioclimatic approach*. Athens, Centre for Renewable Energy Sources, 2004.

NIKOLOPOULOU, M.; STEEMERS, K. *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. **Energy and Buildings**; v. 35, p. 95–101, 2003.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. *Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter*. **Solar Energy**; v. 70, n. 3, p. 227-235, 2001.

OKE, T. R. *Boundary layer climates*. 2ª edição. Londres: Routledge, 1987.

OKE, T. R. *Street Design and Urban Canopy Layer Climate*. **Energy and Buildings**, v. 11, p. 103-113, 1988.

OKE, T. R. *Towards a Prescription for the Greater Use of Climatic Principles in Settlement Planning*. **Energy and Buildings**, v. 7, p. 1-10, 1984.

OKTAY, D. *Human Sustainable Urbanism: In Pursuit of Ecological and Social-Cultural Sustainability*. **Social and Behavioral Sciences**, v. 36, p. 16-27, 2012.

OLESEN, B. W.; PARSONS, K. C. *Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730*. **Energy and Buildings**, v. 34 (6), p. 537-548, 2002.

PALLANT, J. *SPSS survival manual, a step-by-step guide to data analysis using SPSS for Windows*. Sydney: McGraw Hill (3ª edição), p. 179–200, 2007.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PICKUP, J.; DE DEAR, R. J. *An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*) - Part I - The model and its assumptions*. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium*, WCASP 50: WMO/TD No. 1026, Sydney, 2000.

PLANURB. Instituto Municipal de Planejamento Urbano. **Perfil Socioeconômico de Campo Grande**; 20ª edição da revista, Campo Grande, 2013. Disponível em: <<http://www.capital.ms.gov.br/egov/imti/perfil-pageflip/perfil-2013.html>>. Acesso em: 13 de outubro, 2014.

RUIZ, M. A.; CORREA, E. N. *Adaptive model for outdoor thermal comfort assessment in an Oasis city of arid climate*. **Building and Environment**, v. 85, p. 40-51, 2015.

RUROS PROJECT. *Redescobrimo o Reino Urbano e os Espaços Abertos. Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach*. Disponível em <http://www.cres.gr/kape/education/1.design_guidelines_en.pdf />. Acesso em: 02 de agosto, 2015.

SANGKERTADI, S.; SYAFRINY, R. *New equation for estimating outdoor thermal comfort in humid-tropical environment*. **European Journal of Sustainable Development**, v. 3(4), p. 43-52, 2014.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. *Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art*. **Energy and Buildings**, v. 57, p. 74-94, 2013.

SANTAMOURIS, M. *Cooling the cities - a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments*. **Solar Energy**; v. 103, p. 682-703, 2014.

SANTAMOURIS, M. *Energy and Climate in the Urban Environment*. Londres: James & James Science Publishers Ltd, 2001.

SANTAMOURIS, M. *Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island – A review of the actual developments*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 224-240, 2013.

SILVA, F. T.; ALVAREZ, C. E. *An integrated approach for ventilation's assessment on outdoor thermal comfort*. **Building and Environment**, v. 87, p. 59-71, 2015.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; BRITO, R. S.; CAMPOS, J. H. B. C. *Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil*. **Environ Monit Assess** v. 161, p. 45-59, 2010.

SKOULIKA, F.; SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D.; BOEMI, N. *On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece*. **Landscape and Urban Planning**, v. 123, p. 73-86, 2014.

SOUZA, S.; ANDRADE, T.; PITOMBO, C.; NERY, J.; FREIRE, M. **Avaliação do desempenho térmico nos microclimas das praças: Piedade e Visconde de Cayrú, Salvador/BA**. In: VII ELACAC Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais... Búzios; 2011.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. *field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia*. **Building and Environment**, v. 38, p. 721-738, 2003.

THORSSON, S.; HONJO, T.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I e LIM, E. *Thermal Comfort and Outdoor Activity in Japanese Urban Public Spaces*. **Environment and Behavior**, v. 39, n. 5, p. 660-684, 2007.

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. *Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting*. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1983-1993, 2007b.

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; BJÖRKLUND, J.; HOLMER, B.; RAYNER, D. *Potential changes in outdoor thermal comfort conditions in Gothenburg, Sweden due to climate change: The influence of urban geometry*. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 324-335, 2011.

THORSSON, S.; LINDQVIST, M.; LINDQVIST, S. *Thermal Bioclimatic Conditions and Patterns of Behaviour in an Urban Park in Göteborg, Sweden*. **International Journal of Biometeorology**, v. 48 (3), p. 149-156, 2004.

TUNG, C.; CHEN, C.; TSAI, K.; KÁNTOR, N.; HWANG, R.; MATZARAKIS, A.; LIN, T. *Outdoor thermal comfort characteristics in the hot and humid region from a gender perspective*. **International Journal of Biometeorology**, 58 (9), 1927-1939, 2014.

UN. *United Nations. World Urbanization Prospects: The Revision*. United Nations Population Division. Department of Economic and Social Affairs. Nova Iorque: United Nations Secretariat, 2011.

UNHABITAT. United Nations Human Settlements Programme. **Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements**. Washington, DC: Earthscan, 2011.

UNHABITAT. United Nations Human Settlements Programme. **Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements**. Washington, DC: Earthscan, 2011b.

UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Como Construir Cidades Mais Resilientes: Um Guia Para Gestores Públicos Locais**, 2012.

ÜRGE-VORSATZ, D.; HERRERO, S. T. *Building synergies between climate change mitigation and energy poverty alleviation*. **Energy Policy**, v. 49, p. 83-90, 2012.

VAN ESCH, M.; LOOMAN, R. H. J.; BRUIN-HORDIJK, G. J. de. *The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies*. **Energy and Building**, v. 47, p. 189-200, 2012.

WAMSLER, C.; BRINK, E.; RIVERA, C. *Planning for climate change in urban areas: from theory to practice*. **Journal of Cleaner Production**; v. 50, p. 68-81, 2013.

WONG, N. H.; JUSUF, S. K.; TAN, C. L. *Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool*. **Landscape and Urban Planning**; v. 100, p. 386-389, 2011.

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. *Thermal comfort and building energy consumption implications – A review*. **Applied Energy**, v. 115, p. 164-173, 2014.

YANG, X.; ZHAO, L.; BRUSE, M.; MENG, Q. *An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments*. **Energy and Buildings**, v. 54, p. 243-251, 2012.

ZANON, B.; VERONES, S. *Climate change, urban energy and planning practices: Italian experiences of innovation in land management tools*. **Land Use Policy**; v. 32, p. 343-355, 2013.

