

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**INSTRUMENTAÇÃO, MODELAGEM E VALIDAÇÃO  
DE PROCEDIMENTO A PARTIR DE GRADIENTES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA**

**LUIZ DE ANNUNCIÇÃO**

**Orientador: Prof. Dr. CARLO RALPH DE MUSIS**

**Cuiabá - MT  
Março de 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**INSTRUMENTAÇÃO, MODELAGEM E VALIDAÇÃO  
DE PROCEDIMENTO A PARTIR DE GRADIENTES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA**

**LUIZ DE ANNUNCIÃO**

*Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.*

**Orientador: Prof. Dr. CARLO RALPH DE MUSIS**

**Cuiabá - MT  
Março de 2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

A615i Annuniação, Luiz de.  
INSTRUMENTAÇÃO, MODELAGEM E VALIDAÇÃO DE  
PROCEDIMENTO A PARTIR DE GRADIENTES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA / Luiz de  
Annuniação. -- 2016  
xi, 72 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso,  
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física  
Ambiental, Cuiabá, 2016.  
Inclui bibliografia.

1. Áreas verdes, Parques urbanos, UTCI Índice térmico.. I.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: INSTRUMENTAÇÃO, MODELAGEM E VALIDAÇÃO DE  
PROCEDIMENTO A PARTIR DE GRADIENTES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA**

**AUTOR: LUIZ DE ANNUNCIÃO**

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 31 de março de 2016, pela comissão julgadora:

  
**Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis**  
**Orientador**  
Universidade de Cuiabá - UNIC

  
**Prof. Dra. Marta Cristina de Jesus  
Albuquerque Nogueira – Examinadora Interna**  
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia  
UFMT

  
**Profa. Dra. Flávia Maria de Moura Santos**  
**Examinadora Interna**  
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e  
Tecnologia/UFMT

  
**Profa. Dra. Ângela Santana de Oliveira**  
**Examinadora Externa**  
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT

  
**Profa. Dra. Carla Maria Abido Valentini**  
**Examinadora Externa**  
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho às minhas filhas Ana Paula e Ana Cláudia da Silva Annuniação que muito me incentivaram para que eu conquistasse esse importante título em minha vida, aos meus netos Luiz Paulo e Gabriel Henrique pela alegria que sempre me transmitem com seus lindos sorrisos.

## AGRADECIMENTOS

- Primeiramente, a Deus, o Grande Arquiteto do Universo, porque sempre me deu saúde, paz, perseverança e muito tem me abençoado como filho, como profissional, e como pai.
- À minha querida mãe, Florentina Silvéria de Annuniação (*in Memoriam*), pelos princípios morais que me ensinou e me preparou para convivência com os colegas e respeito aos meus ilustres professores.
- Às minhas filhas, Ana Paula e Ana Cláudia da Silva Annuniação, que muito me incentivaram para que eu conquistasse esse importante título em minha vida; aos meus netos Luiz Paulo e Gabriel Henrique pela alegria que sempre me transmitem com seus lindos sorrisos.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlo Ralph De Muis, pela orientação, pelos importantes ensinamentos, que nunca se omitiu em me ajudar em TODOS os momentos que possibilitaram a execução deste trabalho. Ao senhor, professor, meus sinceros agradecimentos e minha plena admiração.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, coordenador do PPGFA e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelo imenso carinho, dedicação, zelo e perspicácia com a qual dirigem o PPGFA e o fizeram, junto a todos os professores, um programa de Excelência em Mato Grosso.
- Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Cuiabá – Octayde Jorge da Silva (IFMT), instituição em que trabalho;
- À banca examinadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flávia Maria de Moura Santos, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Santana de Oliveira e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Maria Abido Valentini, pela leitura da tese e pelas importantes contribuições dadas ao trabalho.
- A todos os professores do PPGFA. Vocês deixaram um pouquinho de si, e a soma de cada uma de suas contribuições me faz, cada dia, um profissional melhor.
- Ao grande Cesário e a companheira Soilce, pessoas adoráveis que na secretaria do programa sempre me auxiliam no que preciso.
- A todos os colegas da minha turma, companheiros que se tornaram grandes amigos e colegas de pesquisa.
- Agradecimento especial ao professor Dr. Sergio Gripp pela elaboração dos gráficos e pelas dúvidas sanadas na construção deste trabalho; a mestra Silvia Regina Fernandes Vilanova pela caracterização da vegetação do Parque Mãe Bonifácia.
- Agradeço a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Santana de Oliveira, pela importante contribuição, nesta tese, e pelos incentivos laborais da carreira docente.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 PROBLEMÁTICA .....	1
1.2 JUSTIFICATIVA .....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 CLIMA .....	4
2.2 ORDEM DE GRANDEZA NO ESTUDO DO CLIMA .....	5
2.3 PARÂMETROS CLIMÁTICOS .....	7
2.3.1 Temperatura .....	7
2.3.2 Precipitação .....	9
2.3.3 Umidade Relativa .....	9
2.3.4 Radiação solar .....	11
2.3.5 Vento .....	12
2.4 O CLIMA E O AMBIENTE URBANO .....	13
2.5 A IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO E CLIMA DAS CIDADES .....	16
2.5.1 Áreas Verdes Urbanas .....	16
2.5.2 Parques Urbanos .....	18
2.6 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO .....	22
2.6.1 Aspectos históricos dos índices de conforto .....	22
2.6.2 Classificação dos índices de conforto .....	23
2.6.3 Escolha do índice de conforto térmico .....	23
2.7 ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS URBANOS .....	31
2.7.1 Panorama Brasileiro .....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LÓCUS .....	41
3.1.1 ÁREA DE ESTUDO .....	43
3.1.2 Aspecto Histórico .....	44

3.1.3	Infraestrutura .....	45
3.1.4	Caracterização macrometeorológica .....	46
3.2	TRANSECTO MÓVEL .....	47
3.2.1	Escolha do Transecto .....	48
3.3	INSTRUMENTAÇÃO .....	48
3.3.1	Estrutura de suporte dos sensores .....	49
3.4	Experimentos .....	52
3.4.1	Experimento 1: Calibração do <i>Datalogger</i> .....	53
3.4.2	Experimento 2: Estimativa do UTCI a partir dos perfis de Temperatura e Umidade Relativa.....	53
3.4.3	Experimento 3: Análise Geoestatístico de Transectos Móveis .....	57
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....	59
4.1.1	Dados Climáticos dos dias de coleta da Estação Meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon. ....	59
4.2	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA .....	60
4.2.1	Semivariografia .....	60
4.2.2	Krigagem e Análise dos Pontos .....	64
5	CONCLUSÕES .....	70
6	BIBLIOGRAFIA .....	72

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema das escalas climáticas e camadas verticais encontradas em áreas urbanas. PBL planetary boundary layer,(Camada limite planetária), UBL –urban boundary layer (Camada limite urbana), UCL – Urban canopy layer (Camada de proteção urbana).....	7
<b>Figura 2</b> - Carta Bioclimática para habitantes de região de clima quente, em trabalho leve, vestimenta 1 “clo” .....	24
<b>Figura 3</b> - Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestida, em trabalho leve. ....	26
<b>Figura 4</b> - Carta Psicrométrica para cidades ao nível do mar. ....	27
<b>Figura 5</b> - Carta Psicrométrica para cidade de São Paulo .....	27
<b>Figura 6</b> - Nomograma de Índice de Conforto Equatorial. ....	28
<b>Figura 7</b> - Gráfico de conforto para indivíduo residente em Cingapura .....	29
<b>Figura 8</b> - Localização da cidade de Cuiabá no estado de Mato Grosso .....	42
<b>Figura 9</b> - Localização da área de estudo.....	44
<b>Figura 10</b> - Vista panorâmica do Parque Mãe Bonifácia .....	44
<b>Figura 11</b> - Datalogger na estrutura e Diagrama esquemático.....	49
<b>Figura 12</b> - Termômetro de Globo ITWTG-2000.....	49
<b>Figura 13</b> - Estrutura de PVC de suporte dos sensores de Temperatura, Umidade Relativa e GPS .....	51
<b>Figura 14</b> - Sensor de temperatura e umidade relativa DHT22. ....	51
<b>Figura 15</b> – GPS - SKM53.....	51
<b>Figura 16</b> - <i>Datalogger</i> na estrutura de metal (a) com detalhes do GPS (b) e do abrigo do sensor de temperatura e umidade relativa (c). ....	52
<b>Figura 17</b> - O esquema geral dos modelos e experimentos estatísticos.....	52
<b>Figura 18</b> - Aparato composto por três Miniestações KESTREL 4500.....	53
<b>Figura 19</b> - Pontos de medição com o <i>Datalogger</i> e com Termômetro de Globo....	55
<b>Figura 20</b> - Medição de variáveis meteorológicas com o <i>Datalogger</i> e com Termômetro de Globo. ....	55
<b>Figura 21</b> - Curva de regressão quadrática entre o resultado análise dos componentes principais e o UTCI.....	57
<b>Figura 22</b> -Transecto móvel no Parque Mãe Bonifácia .....	58
<b>Figura 23</b> - Semivariograma Exponencial, estação chuvosa, período matutino. ....	62
<b>Figura 24</b> - Semivariograma Esférico estação chuvosa, período vespertino .....	62
<b>Figura 25</b> - Semivariograma Gaussiano estação seca, período matutino.....	63
<b>Figura 26</b> - Semivariograma Estável estação seca, período vespertino .....	64
<b>Figura 27</b> - Pontos Analisados das trilhas, conforme Índice de conforto UTCI.....	66
<b>Figura 28</b> - UTCI estação chuvosa, período matutino. ....	66
<b>Figura 29</b> - UTCI estação chuvosa, período vespertino.....	67
<b>Figura 30</b> - UTCI estação seca, período matutino .....	68
<b>Figura 31</b> - UTCI estação seca, período vespertino. ....	69

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Faixas de estresse térmico do UTCI .....	30
<b>Tabela 2</b> - Trabalhos referentes ao conforto Ambiental conduzidos no PGFA .....	37
<b>Tabela 3</b> - Dados da Estação Meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon.....	47
<b>Tabela 4</b> - Os coeficientes do primeiro componente principal.....	56
<b>Tabela 5</b> - Valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar, registrados pelo <i>Datalogger</i> e da Estação do Aeroporto Marechal Rondon. ....	60
<b>Tabela 6</b> - Validação do teste pareado de Wilcoxon e correlação de Kendall .....	61

## RESUMO

ANNUNCIACÃO, L. **Instrumentação, Modelagem e Validação de Procedimento a partir de gradientes de temperatura e umidade relativa**. Cuiabá, 2016. 88f. Tese Doutorado em Física Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

A relação cidade-natureza se encontra cada vez mais problemática, devido à expansão dos espaços urbanos sem planejamentos em que se criam contradições entre as questões socioambientais e os interesses políticos e econômicos. Uma das formas de amenizar os impactos ambientais decorrentes da intensa intervenção antrópica sobre o meio natural é a implantação e preservação das áreas verdes, visando à melhoria da qualidade de vida. Esses espaços devem ser públicos e geridos para cumprir seu real papel. Entre os diferentes tipos de áreas verdes, podem-se destacar os Parques Urbanos. O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver e validar procedimento para estimativa de UTCI a partir de gradientes de temperatura e umidade relativa. O índice utilizado para a análise do conforto térmico foi o UTCI – *Universal Thermal Climate Index*. O UTCI está entre os índices de conforto térmico mais recentes, foi desenvolvido na Europa e tem sido amplamente adotado em avaliações referentes ao conforto térmico em ambientes externos. Com o Datalogger, equipamento construído para esse fim foi feito transecto nas trilhas mais frequentadas do Parque. Os dados registrados seguiram para análise semivariográfico, krigeagem e elaboração de mapa de UTCI do Parque nas duas estações do ano, seca e chuvosa, período matutino e vespertino, identificando as Faixas de Estresse Térmico de acordo com a Tabela de UTCI. A caracterização pelo índice de UTCI do Parque permitiu identificar a que classes de estresse térmicos estão submetidos os usuários em diferentes tipos de revestimentos do solo e a vegetação nas condições do microclima em Cuiabá, Brasil. Esta pesquisa proporcionou aos frequentadores, conhecer os locais mais adequados para a prática dos diversos tipos de atividades nessa importante área de lazer dentro do perímetro urbano. Para isso, foi desenvolvido um *Datalogger* para coleta georeferenciada de temperatura e umidade relativa e análise geoestatística dos dados coletados, e a partir disso constatou-se que o Parque se enquadra no desconforto térmico por calor, conforme tabela de UTCI.

**Palavras-chave:** Áreas verdes, Parques urbanos, UTCI Índice térmico.

## ABSTRACT

ANNUNCIACÃO, L. **Instrumentation, modeling and validation of procedure from the temperature and relative humidity gradients**. Cuiabá, 2016. 88f. Doctoral Thesis in Environmental Physics – Graduate Program in Environmental Physics, Federal University of Mato Grosso.

The relationship between city and nature is increasingly problematic due to the expansion of urban areas without plans that are created contradictions between social and environmental issues and the political and economic interests. One way to mitigate the environmental impacts of intensive human intervention on the natural environment is the implementation and preservation of green areas, aiming at improving the quality of life. These places should be public and managed to fulfill their real role. Among the different types of green areas can be highlighted the Urban Parks. The general objective of this research is to develop and validate procedure for estimating UTCI from gradients of temperature and relative humidity. The index used for the analysis of thermal comfort was the UTCI - *Universal Thermal Climate Index*. The UTCI is among the latest thermal comfort indexes, it was developed in Europe and it has been widely adopted in assessments relating to thermal comfort in outdoor environments. With datalogger, transect was made in the most frequented the Park trails. The collected data was subjected to analysis semivariogram, kriging and preparation of UTCI map of the Park of two seasons, dry and rainy, morning and evening period, identifying the thermal stress according to the table of UTCI. The characterization by UTCI index of the Park allowed identifying in which classes of thermal stress are users subjected in different types of floorings and vegetation in the microclimate conditions in Cuiaba, Brazil. It will provide the Park users to know the most suitable places for the practice of various types of activities in this important recreational area within the city, for this we developed a Logger for relative georeferenced collection of temperature and relative humidity and geostatistical analysis of the data collected, and it was found the park is covered by the thermal discomfort heat as UTCI table.

**Keywords:** Green areas, Urban parks, UTCI Thermal Index.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Ao incidir sobre a superfície da Terra, a radiação solar interage com os vários elementos que a compõem. Essa relação possibilita, não só a iluminação natural, mas, também o ganho de calor. Nas cidades, esse balanço de energia pode ser potencializado pela transformação do ambiente natural, proporcionada pelas construções que alteram a rugosidade, a forma do relevo e a impermeabilização do solo. À medida que a cidade verticaliza e adensa, provoca transformações que podem repercutir negativamente no clima local.

A vegetação minimiza os efeitos das ilhas de calor sob diversos aspectos: absorção de parte da radiação solar, colaborando para diminuição da temperatura; aumento da umidade relativa do ar; redução da poluição atmosférica e a modificação da velocidade e direção dos ventos.

Como forma de preservar uma grande área de cerrado existente na região central de Cuiabá, foi criado, em 9 de julho de 2000, o primeiro Parque Urbano da cidade com a denominação de “Parque da Cidade Mãe Bonifácia”, sendo importante para a amenização climática da região. Desde então, é um lugar de lazer para a população, sendo o maior espaço destinado para este fim na cidade, passou a ser popularmente conhecido apenas como “Parque Mãe Bonifácia”, forma que será denominado enquanto objeto de estudo deste trabalho.

O Parque Mãe Bonifácia vem sofrendo alterações no seu entorno com construções de moradias, tanto de condomínios verticais quanto de horizontais, além disso, foi construído um viaduto na Avenida Miguel Sutil que margeia o Parque para mobilidade urbana. Nessa região, há grande fluxo de veículo, devido ao número cada vez maior de construções, formando uma barreira em torno do Parque. Isso prejudica a circulação de ar e, conseqüentemente, diminui o efeito de amenização da temperatura local o que motivou a realização desta pesquisa; desta forma buscou-se

estimar o Índice Climático Termal Universal/ UTCI, identificando as Faixas de Estresse Térmico nas trilhas mais frequentadas do Parque.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A ocupação desordenada das grandes cidades gera problemas na qualidade ambiental, tais como ilhas de calor, poluição do ar, variações no regime de precipitações, maior geração de calor, inversões térmicas, desconforto térmico, aumento no consumo de energia, modificações na ventilação e na umidade, além de possivelmente comprometer o equilíbrio térmico em uma escala maior.

Neste sentido, o planejamento urbano e preservação de áreas verdes das cidades são fundamentais para melhoria da qualidade de vida da população. Portanto, todos os espaços verdes da cidade podem ser pensados como unidades de conservação urbana, um canteiro central de uma avenida, áreas de trânsito de veículos, bem como as áreas maiores como parques e praças.

Parques Urbanos são espaços democráticos, onde todos podem ter acesso ao que a natureza nos possibilita de mais belo: a convivência das diferentes espécies de vida em plena cooperação e uma área de lazer que nos favorece o bem-estar.

O conforto térmico dos seres humanos tem se tornado então de grande destaque, devido à preocupação com a qualidade de vida e saúde das pessoas que habitam as cidades. A influência do clima sobre o homem pode interferir em suas atividades diárias e nas suas funcionalidades, acarretando em sensações de estresse e desconforto.

A cidade de Cuiabá, MT, outrora conhecida por “Cidade Verde” – devido aos extensos fragmentos de cerrado, presentes em toda área urbana da cidade – na década de 1970, apresentou uma expansão desordenada, direcionada por invasões, e vem sofrendo uma acelerada atividade imobiliária sem garantias de preservação das áreas verdes. A população da cidade, que sempre se apoiou nos pequenos córregos que cortam a cidade e na sombra das árvores dos generosos quintais e dos terrenos que ponteavam toda a área urbana, agora, sente, psicológica e fisicamente, a perda destes importantes espaços reguladores do clima local. Como consequência, passou a registrar alguns grandes problemas ambientais, como a formação de ilhas de calor em áreas densamente construídas da sua porção central.

Diante da busca de conhecimento da relação das sensações térmicas do homem com o seu meio ambiente que sofre as alterações antropogênicas, esta pesquisa busca estimar o Índice Climático Termal Universal/ UTCI (*Universal Thermal Climate Index*) com transecto móvel, a partir de gradientes de temperatura e umidade relativa do Parque Mãe Bonifácia, Cuiabá, Mato Grosso.

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver e validar procedimento para estimativa de UTCI a partir de gradientes de temperatura e umidade relativa. Para isso, foram propostos os seguintes objetivos específicos: Aperfeiçoar equipamentos móveis para coleta georeferenciada de gradientes de temperatura e umidade relativa; Desenvolver um modelo estatístico para a estimativa do UTCI a partir de perfis de temperatura e umidade relativa; Validar o modelo em análise geoestatística do UTCI no Parque Mãe Bonifácia.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CLIMA

Compreender os fenômenos da natureza sempre causou muito fascínio na humanidade. Observar as épocas das chuvas para o planejamento de uma colheita, entender o comportamento do mar ou dos ventos sempre foi objeto de estudo do homem, desde as mais antigas civilizações.

As variações do comportamento da natureza foram estudadas pelos mais diversos povos, até os dias de hoje. Esse fato pode ser observado em documentos históricos como, por exemplo, a Bíblia, no Velho Testamento (Gênesis) ou como na primeira carta climatográfica feita por Hipócrates no ano de 400 a.C., denominada “Ar, Água e Locais”, demonstrando o grande interesse pelo estudo dos fenômenos da natureza pelos gregos, precursores dos estudos da física (AYOADE, 2002).

O conceito de clima, algumas vezes, é trabalhado por alguns autores envolvendo as localizações no globo terrestre e variações climáticas. Isso pode ser observado no estudo feito por Conti (1998), que enfoca sua etimologia de origem grega, que significa “inclinação”. Conforme o autor, entendido na Astronomia como sendo o ângulo formado pelo eixo de rotação da Terra com seu plano de translação (também chamado plano de eclíptica), onde seu valor é de  $23^{\circ}27'33''$ , que em latitude, corresponde à posição dos trópicos. Esse entendimento expõe a ideia das diferenças climáticas vividas nos hemisférios Norte e Sul.

Muitas vezes o conceito de clima pode ser confundido com o conceito de tempo. Isso foi muito bem explicitado por Vianello & Alves (2000) no estudo feito sobre a aplicação da meteorologia, em que procuram fazer a diferenciação entre clima e tempo, enfocando que o tempo meteorológico é algo que varia muito sobre a face da Terra, podendo variar de lugar para lugar e também de tempo para tempo, no mesmo lugar. Enfatizam ainda que o tempo meteorológico pode ser considerado

como a soma total das condições atmosféricas de um dado local, num determinado tempo cronológico. Já o clima é caracterizado pelos autores como sendo uma generalização ou a integração das condições do tempo para certo período, em uma determinada área, mostrando uma condição abstrata para o clima, enquanto que o tempo possui uma experiência diária instantânea.

Para Mascaró (1996), o clima pode ser definido como a feição característica e permanente do tempo num lugar, em meio a suas infinitas variações.

O estudo do clima, que compreende tanto a formação resultante de diversos fatores espaciais e geomorfológicos quais sejam: movimento de rotação e translação, energia solar, latitude, altitude, ventos, distribuição das terras e das águas, vegetação, etc., quanto sua caracterização definida pelos seus elementos: temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações, torna-se, pois, importante para a compreensão do sistema atmosférico (MAITELLI, 1994).

Um ramo de grande importância do estudo do clima, atualmente, é a climatologia, que aplica todos os conceitos estudados no clima em benefício do homem. Segundo Vianello & Alves (2003), a climatologia interessa-se particularmente pelas aplicações práticas do estudo científico do clima. Utiliza-se da Meteorologia e seus resultados na arquitetura, agronomia, medicina etc. Para os autores, o intuito da Climatologia é descobrir, explicar e explorar o comportamento normal dos fenômenos atmosféricos, visando a benefício do homem, tendo em mente que as irregularidades dos fenômenos são as regras gerais e não as exceções.

## **2.2 ORDEM DE GRANDEZA NO ESTUDO DO CLIMA**

Para realizar um estudo envolvendo variáveis climáticas, é necessário que se tenha o domínio da escala a ser estudada, evitando assim, que se tenham interpretações equivocadas das interferências de aspectos locais ou globais no clima.

Segundo Mascaró (1996), a informação climática deve ser considerada em três níveis: macroclima, mesoclima e microclima.

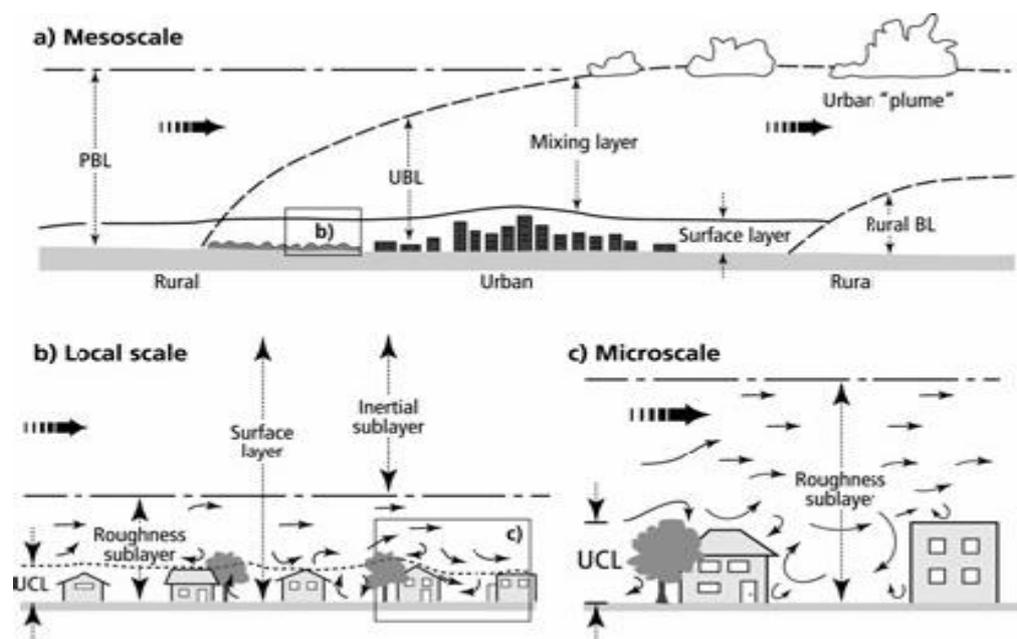
Os dados macroclimáticos remetem a estações meteorológicas e descrevem o clima geral de uma região, dando detalhes de insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura, umidade e ventos. Os dados mesoclimáticos, nem sempre de fácil obtenção, informam as modificações do macroclima provocadas pela topografia local como vales, montanhas, grandes massas de água, vegetação ou tipo de coberturas de

terreno como, por exemplo, salitreiras. No microclima, são levados em consideração os efeitos das ações humanas sobre o entorno, bem como a influência que estas modificações exercem sobre a ambiência dos edifícios.

Mascaró (1996) afirma também que o caráter do microclima evidenciam-se quando fatores climáticos locais acentuam ou atenuam os fatores de origem externa e quando o fenômeno climático micro interfere de forma decisiva no contexto macroclimático. Para a autora, variáveis climáticas possuem também as suas dimensões em relação ao clima. Um exemplo disso é a brisa proveniente de uma massa de água próxima, que é um fenômeno tipicamente microclimático, desde que resulte do movimento do ar dentro de um recinto de dimensões excepcionalmente amplas. Já o vento, quando sopra com relativa intensidade, conseguindo penetrar até o último canto do espaço exterior, pode quebrar os efeitos microclimáticos do recinto. Outro exemplo é a chuva, que da mesma forma que a brisa local, seria um fenômeno tipicamente mesoclimático, consequência das condições higrotérmicas locais, a partir de certa altura.

Para Oke (2004), o sucesso nas medições climáticas passa por um rigoroso entendimento de concepção de escala do clima. Segundo esse autor, existem três escalas que devem ser observadas em áreas urbanas como:

- a) Microescala – considerada como típica escala do microclima urbano, são caracterizadas pelos elementos individualmente analisados como: edifícios, árvores, estradas, ruas, quintais, jardins, etc., com uma proporção menor que um para centenas de metros.
- b) Escala Local – esta escala inclui efeitos climáticos de caráter da paisagem, tal como a topografia, excluindo os efeitos microclimáticos. Essa escala abrange a proporção de um para vários quilômetros.
- c) Mesoescala - está relacionada com a influência da cidade no tempo e no clima da escala de toda a área urbana, abrange tipicamente dezenas de quilômetros de extensão. Uma única estação meteorológica não pode representar esta escala. A divisão das escalas no estudo do clima e as variadas conformações verticais urbanas podem ser vistas na Figura 1.



**FIGURA 1** - Esquema das escalas climáticas e camadas verticais encontradas em áreas urbanas. PBL planetary boundary layer, (Camada limite planetária), UBL – urban boundary layer (Camada limite urbana), UCL – Urban canopy layer (Camada de proteção urbana)

**FONTE:** OKE (2004) modificado de OKE (1997)

Para Duarte (1997), cada cidade é composta por um mosaico de microclimas diferentes. Os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano existem em miniatura por toda a cidade, como pequenas ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no comportamento dos ventos. As características do clima urbano, suas causas e efeitos, são bem conhecidos, mas este conhecimento raramente é aplicado.

## 2.3 PARÂMETROS CLIMÁTICOS

### 2.3.1 Temperatura

A temperatura é um dos principais agentes causadores de modificações do clima local. As precipitações e o vento são grandes exemplos da influência que a temperatura pode exercer em um clima.

A temperatura pode ser definida em termos de movimento de moléculas, de modo que quanto mais rápido o deslocamento mais elevado será a temperatura. Mais comumente, ela é definida em termos relativos tomando-se por base o grau de calor que um corpo possui (AYOADE, 2002).

Autores como Vianello & Alves (2003) apresentam o conceito de calor como sendo uma forma de energia que pode ser transferida de um para outro sistema, independentemente do transporte de massa e da execução do trabalho, sendo a temperatura uma das características físicas usuais para a sua valorização.

O estudo da temperatura possui diversos objetivos, desde os elementos analisados como o ar, o solo, as construções, até a percepção para os habitantes de uma cidade.

A temperatura do ar é muito discutida, pois as interações que ocorrem desta com o meio e vice-versa, são estudos muito complexos e influentes no conforto térmico de uma cidade.

Para Ayoade (2002), a temperatura do ar em uma localidade pode variar com o decorrer do tempo, conforme o local analisado. Em seu estudo, afirma ainda que a quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, a distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas podem influenciar na temperatura sobre a superfície da Terra ou parte dela.

Para Ayoade (2002), o relevo tem um efeito atenuador sobre a temperatura, principalmente porque a temperatura do ar normalmente diminui com a altitude crescente, a uma taxa média de 0,6 por 100 metros. Em área de topografia e inclinação variadas, o aspecto e o grau de exposição das localidades são fatores importantes que influenciam a temperatura. Quer nos trópicos secos ou nos úmidos, a alta elevação topográfica abaixa a temperatura e proporciona alívio ao calor opressivo reinante nas baixadas tropicais.

Para Mascaró (1996), a variação da temperatura máxima urbana também pode se relacionar fortemente com a população da cidade, mas existem dúvidas sobre o que acontece quando se varia o seu tamanho ou a sua população.

A temperatura radiante média expressa a temperatura média dos corpos que trocam calor no ambiente. De uma forma geral, seu valor é um pouco maior ou um pouco menor do que o da temperatura do ar, devido à presença de corpos em diferentes temperaturas, trocando calor através da radiação. Um exemplo disso, ocorre no verão, quando a temperatura do ar baixa, após o entardecer. As áreas urbanas contemporâneas têm superfícies mais escuras e menos vegetação. Estas diferenças afetam o clima, o uso de energia, e a habitabilidade das cidades.

Superfícies escuras e vegetação reduzida aquecem a camada de ar acima das áreas urbanas, conduzindo à criação de ilhas de calor (AKBARI, 2001).

### **2.3.2 Precipitação**

A precipitação pluvial é o fenômeno pelo qual a nebulosidade atmosférica se transforma em água, formando a chuva. Esta precipitação ou pluviosidade é medida em milímetros. Normalmente, as chuvas estão relacionadas com os ventos provenientes de certas direções, dado importante para um projeto habitacional.

Para que haja precipitação, deve haver elementos de precipitação, que não devem ser formados apenas por processos de condensação. Existe a necessidade da ação de outros processos físicos como, por exemplo, o processo de condensação que gera uma alta concentração de pequeninas gotas (micras). O processo de precipitação deve converter esta quantidade de pequeninas gotas em um número menor de elementos maiores. O tamanho das gotículas é que define a diferença entre elementos de nuvem e elementos de precipitação.

A precipitação é medida através de coletores que ficam fixos a uma altura de 1,5 m da superfície, em aparelhos denominado pluviômetros ou pluviógrafos. Nestes recipientes a água da chuva entra e fica depositada, com cuidados para não derramar ou evaporar e, posteriormente, obtém-se através do volume do recipiente e a superfície por onde a chuva passou a altura da precipitação. A unidade de medida é dada sempre em milímetros (mm), sendo que 1 mm de chuva equivale a 1 litro de água derramada em 1 metro quadrado de superfície.

Anualmente, o total pluviométrico no Estado de Mato Grosso varia entre 1.200 a 2.700mm, na distribuição no território mato-grossense, conforme sistema regional de circulação atmosférica e aspectos de relevo.

### **2.3.3 Umidade Relativa**

A umidade do ar é a água, na fase de vapor, que existe na atmosfera. Suas fontes são as superfícies de água, gelo e neve, a superfície do solo, as superfícies vegetais e animais. A sua concentração é pequena, chegando ao máximo a 4% em volume com grande variabilidade. A quantidade de vapor de água introduzida na atmosfera aumenta com o saldo positivo de radiação (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992).

Em uma dada condição de pressão e temperatura, o ar consegue reter o vapor de água, até certa concentração limite. Quando o vapor de água ocorre na sua concentração máxima, o ar é dito saturado. Para um mesmo valor de pressão, essa concentração máxima de vapor ou saturação cresce com o aumento de temperatura. Portanto, quanto maior a temperatura, maior é a capacidade do ar em reter vapor de água (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992).

A umidade relativa do ar pode ser definida, segundo Tubelis & Nascimento (1992), como a relação percentual entre a concentração de vapor de água existente no ar e a concentração de saturação. Já Ayoade (2002), classifica a umidade relativa como sendo a razão entre o conteúdo real de umidade de uma amostra de ar e a quantidade de ar que o mesmo volume de ar pode conservar na mesma temperatura e pressão quando está saturado, podendo ser expressa em forma de porcentagem.

Segundo Ayoade (2002), apesar do vapor de água representar uma pequena parcela na atmosfera, apenas 4% de seu volume, ele é o componente mais importante na determinação do tempo e do clima. O vapor d'água, conforme o autor, deve-se aos seguintes fatos:

- a) É a origem de todas as formas de condensação e de precipitação;
- b) Pode absorver tanto a radiação solar quanto a terrestre e, assim, desempenha o papel de regulador térmico no sistema Terra-atmosfera;
- c) Exerce em particular um grande efeito sobre a temperatura do ar;
- d) Contém calor latente que é importante fonte de energia para a circulação atmosférica e para o desenvolvimento de perturbações atmosféricas. A energia absorvida é liberada enquanto o vapor se condensa;
- e) A quantidade de vapor d'água no ar é importante fator que influencia a taxa de evaporação e de evapotranspiração.
- f) É um importante fator que determina a temperatura sentida pelo homem e, conseqüentemente, o conforto térmico.

Para Ometto (1981), o vapor da água varia em quantidade de acordo com a disponibilidade de água no local e energia do meio, e apesar de ser um elemento variável em tempo e espaço é extremamente importante, tanto no aspecto físico associado às suas características moleculares, como no aspecto fisiológico, decorrente de sua dependência pelos seres vivos.

Como o vapor d'água é oriundo da superfície da terra, a sua concentração máxima é próxima a ele e diminui à medida que se afasta da superfície. Também as suas interações físicas e fisiológicas com o meio, incluindo vegetais e animais, determinam que o vapor d'água seja considerado um elemento muito importante no estudo bioclimatológico (OMETTO, 1981).

O vapor d'água pode ser considerado, segundo Ometto (1981), como um elemento equalizador de energia do meio, amenizando, devido a isso, as trocas energéticas e, como armazenador de energia e pela condição de estar dissociado no ar atmosférico, possibilita sua movimentação juntamente com o deslocamento do ar.

Para Mascaró (1996), em meios urbanos, a relação entre temperatura e umidade relativa do ar sofre interferência das características do recinto. A quantidade de vapor de água na massa de ar é afetada pela temperatura local do ar. Se as superfícies que formam o recinto urbano armazenam e irradiam muito calor, que é o caso dos centros urbanos, eleva-se a temperatura local, a umidade absoluta e decresce a umidade relativa. O teor de umidade local dependerá, então, da interação entre a temperatura do ar e a temperatura superficial do meio circundante.

#### **2.3.4 Radiação solar**

A radiação solar é uma energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra, após ser parcialmente absorvida pela atmosfera.

A maior influência da radiação solar é na distribuição da temperatura do globo. As quantidades de radiação variam em função da época do ano e da latitude (FROTA & SHIFFER, 2001).

As árvores, isoladas ou em grupos, atenuam grande parte da radiação incidente, impedindo que sua totalidade atinja o solo ou as construções. A vegetação propicia resfriamento passivo em uma edificação por meio do sombreamento e da evapotranspiração. O sombreamento atenua a radiação solar incidente e, conseqüentemente, o aquecimento das superfícies, reduzindo a temperatura superficial destas, portanto, a emissão de radiação de onda longa para o meio. Através da evapotranspiração, ocorre o resfriamento das folhas e do ar adjacente, devido à retirada de calor latente.

Em relação à radiação solar, a vegetação tem um comportamento seletivo para com os diferentes comprimentos de onda, pois absorve cerca de 90% da

radiação visível e 60% da infravermelha. A radiação absorvida é utilizada para as funções vitais da vegetação. Uma pequena quantidade de radiação é transmitida através das folhas e o restante se reflete. Assim, por meio da arborização, tem-se uma atenuação da radiação de onda curta, evitando os efeitos de ofuscamento e reverberações em virtude do contraste sombra/sol. Em relação à radiação de onda longa, há uma redução no aquecimento das superfícies e, conseqüentemente, do calor emitido por estas. Grande parte da energia solar absorvida se converte em calor latente pela evapotranspiração da água de suas folhas. Assim, a evapotranspiração resfria não só a planta como o ar em sua volta.

O clima urbano tem despertado o interesse de pesquisadores em todas as partes do mundo, e a vegetação, entre outras alternativas, vem sendo apontado como um elemento fundamental para a minimização dos efeitos de alteração no clima provocado pela urbanização. O aquecimento das áreas urbanas é conseqüência da falta de vegetação adequada, mas outros fatores apontados são a tipologia das construções, o uso do solo e os materiais construtivos (ASSIS, 1991).

Formas variadas de qualificação e quantificação das alterações climáticas nas áreas urbanas são encontradas na literatura, em particular sobre os efeitos da radiação solar no aquecimento das superfícies construídas (LOMBARDO, 1988). Quando se trata de arborização de cidades, os estudos apresentam diferentes metodologias em função de diferentes combinações de objetivos. Um objetivo frequentemente enfocado é a produção de sombra, entendendo-se por sombra a interceptação da luz e do calor da radiação solar. No entanto, são poucas as publicações científicas que discutem a eficiência desse fenômeno para o conforto térmico urbano, segundo citadas - (HAYMAN 1989; SATTLER 1991; AROZTEGUI 1995; CANTUARIA 2000 et al. CANTON 2001).

### **2.3.5 Vento**

A temperatura do ar e a velocidade do vento são determinantes na troca de calor por convecção entre o corpo e meio ambiente. Quanto mais intensa for a ventilação, maior será a quantidade de calor trocada entre o corpo humano e o ar, conseqüentemente menor será a sensação de calor. O termo “windchill”, criado por Paul Simple em 1939, expressa o efeito de resfriamento decorrente da perda de calor

provocada pelo vento, fazendo com que a sensação térmica corresponda a de uma temperatura muito inferior à realmente observada.

Diversas pesquisas têm demonstrado que as flutuações na temperatura, que ocorrem durante o dia em construções com ventilação natural, podem produzir sensações de conforto com temperaturas do ar mais elevadas. Isso se deve a redução da temperatura percebida pelas pessoas devido à evaporação do suor da pele e às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano. Desta forma, a zona de conforto pode ser ampliada.

A velocidade máxima do ar considerada como aceitável para um ambiente de escritórios pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s de acordo com diferentes autores. O limite máximo é baseado em problemas práticos, tais como voo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, ao invés de exigências fisiológicas de conforto.

A variabilidade e duração por curtos períodos de tempo, de condições desconfortáveis, parece não constituir um sério distúrbio para a maioria das pessoas, pois os seres humanos têm um sistema fisiológico flexível que preserva por certo período de tempo uma resposta constante a despeito da mudança de ambiente (BITTENCOURT & CANDIDO, 2005).

## **2.4 O CLIMA E O AMBIENTE URBANO**

Ao incidir sobre a superfície da Terra, a radiação solar interage com os vários elementos que a compõem. Essa relação possibilita, não só a iluminação natural, mas, também o ganho de calor. Nas cidades, essa relação de ganho de calor pode ser potencializada pela transformação do ambiente natural proporcionada pelas construções que alteram a rugosidade, a forma do relevo e a impermeabilização do solo. À medida que a cidade se verticaliza e se adensa, provoca transformações que podem repercutir negativamente no balanço energético, o que, conseqüentemente, pode alterar o clima local.

Cada vez mais, há no mundo globalizado o acúmulo da população nas regiões metropolitanas. A população urbana continua crescendo e mostrando uma tendência da criação de um mundo urbano. Em vista desse crescimento, o estudo do clima urbano torna-se objeto de estudo frequente em todas as áreas envolvidas em pesquisas nas cidades.

Conceituar o clima urbano muitas vezes envolve as alterações ambientais feitas pelo homem e os reflexos do clima local incidindo na sociedade. Isso pode ser

visto no estudo feito por Mendonça & Dubreuil (2005), no qual o clima urbano é colocado em evidência nas alterações do ambiente precedente, decorrentes das atividades humanas, sendo ele o resultado da interação entre a sociedade e a natureza na cidade.

Souza & Mattos (1997) descrevem o clima urbano, diferenciando-o do ambiente rural, como resultado da ocupação antrópica do meio, possui inter-relações de fenômenos que muitas vezes é causado pela própria urbanização, constituindo assim uma condição ambiental específica denominada clima urbano.

O clima urbano pode ser analisado de uma forma mais ampla, envolvendo as variáveis climáticas e as modificações feitas pelo homem no ambiente. Essa análise é bem abordada por Maitelle (1994), enfatizando que no processo de urbanização a poluição do ar afeta a transferência de radiação e acrescenta núcleos de condensação no ar, aumentando a precipitação. A densidade e a geometria das edificações criam uma superfície rugosa que influencia na circulação do ar e no transporte de calor e vapor de água. Os materiais de construção e o asfaltamento das ruas aumentam o estoque de calor, a impermeabilização do solo e aumenta a possibilidade de enchentes. Esses fatores, associados a outros, contribuem para a formação de um microclima local, denominado clima urbano.

Para Costa (2006), a construção de ambientes urbanizados ocorre diariamente pela ação humana – substituição do ecossistema natural por estruturas artificiais, – com a retirada da vegetação nativa, alteração do relevo, impermeabilização dos solos por meio da pavimentação, e criação de estruturas complexas verticais e/ou horizontais. Segundo a autora, esse processo contínuo ocasiona impactos ambientais em vários níveis, deteriorando principalmente a qualidade do ar e do clima, o que é de grande interesse, pois, representa uma diminuição na qualidade de vida da população. A principal evidência desse processo está na elevação da temperatura do ar, que vem sendo estudado pela climatologia urbana e atraído a atenção da sociedade que vive hoje em ambientes urbanizados sendo, portanto, agentes ativos e passivos do processo.

Uma visão mais ampla e complexa pode ser vista na obra de Monteiro & Mendonça (2003), a qual enfatiza o clima urbano como um sistema dinâmico e adaptativo, revelando a essência de um fenômeno de complexidade muito saliente.

Por causa da abrangência do clima urbano, a noção de espaço necessariamente incluirá o espaço concreto e tridimensional em que age a atmosfera e os espaços relativos, necessários à compreensão do fenômeno urbano. Esta relação é também importante tanto geográfica quanto teoricamente, pois o sistema se projeta tanto em escala ascendente para um número inferior de integrações em sistemas superiores, quanto se fraciona, também infinitamente, em sistemas menores.

A cidade tanto se integra em níveis superiores como se divide em setores, bairros, ruas, casas, ambientes internos entre outros (MONTEIRO & MENDONÇA 2003). A complexidade dos estudos climáticos é bem evidenciada no estudo de Vianello & Alves (2000) no qual aponta que a principal dificuldade surge quando se tenta considerar as interações ocorridas na natureza, desde que essas interações criem muitos mecanismos de realimentação, que agem amplificando ou amortecendo pequenas perturbações iniciais.

Em consequência disso, o sistema climático é não linear e, conseqüentemente representa um verdadeiro desafio a uma completa descrição quantitativa. Essa importância de se estudar o clima urbano como um sistema complexo de causas e efeitos, vem sendo observado em pesquisas anteriores, com a preocupação de que o clima urbano criado nas cidades não demonstre insalubridade no convívio da sociedade. Essa preocupação foi discutida no estudo feito por Morgan et. al. (1977), onde, ao estudar os microclimas em áreas urbanas são apresentados a importância do estudo das mais diversas informações do clima urbano para o planejamento de uma cidade, no controle da poluição do ar, no balanço de energia e outros.

A percepção das atividades do clima urbano é diferenciada quando se pretende chegar a um resultado que possa refletir seus impactos. Segundo Monteiro & Mendonça (2003), a poluição do ar, ilhas de calor, inundações no espaço urbano, dentre outras formas, assumem destaques nos climas urbanos, refletindo, com isso, peculiaridades do clima da cidade, e o agrupamento ordenado dessas produções é sugerido como devendo ser feito através de canais de percepção humana com as seguintes propostas:

- a) Conforto térmico – Englobando as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade. É um filtro perceptivo bastante significativo, pois afeta a todos permanentemente.

Constitui, seja na climatologia médica, seja na tecnologia habitacional, assunto de investigação de importância crescente.

- b) Qualidade do ar – Enfoca a poluição do ar como um dos males no clima urbano. Ao associar com a poluição do solo e da água, constitui-se nos grandes problemas da atualidade.
- c) Meteoros de Impacto – Agrupam todas as formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, neveiro), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestades), que assumindo eventualmente manifestações de intensidade são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando sua circulação.

Um clima urbano ideal dependerá do espaço em que está inserida a sociedade. Regiões de climas com rigores térmicos causados pelo calor e regiões muito frias possuem objetivos claramente diferentes para se gerar conforto aos seus habitantes.

## **2.5 A IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO E CLIMA DAS CIDADES**

### **2.5.1 Áreas Verdes Urbanas**

Desde a Antiguidade, as áreas verdes e jardins tinham finalidades de passeio, lugar para expor luxo e de repouso. Atualmente com os problemas gerados pelas cidades modernas, essas áreas são uma exigência não só para a ornamentação urbana, mas também como necessidade higiênica, de recreação e principalmente de defesa do meio ambiente, diante da degradação das cidades. Além disso, são destinadas para comportar o verde urbano e definem um indicador para a qualidade ambiental. A troca do verde pelo concreto das construções das cidades provoca mudanças nos padrões naturais de percolação das águas, por exemplo, fazendo das áreas urbanas sinônimos de desequilíbrio dos ecossistemas e de vários processos de erosão.

Além de servirem como equilíbrio do ambiente urbano e de locais de lazer, também podem oferecer um colorido e plasticidade. Outro fator importante referente à vegetação, é a arborização das vias públicas que serve como um filtro para atenuar ruídos, retenção de pó, reoxigenação do ar, além de oferecer sombra e a sensação de frescor.

Pelos aspectos citados, a falta de vegetação nas áreas traz consequências negativas para o meio ambiente urbano como: alterações do clima local, enchentes,

deslizamentos e falta de áreas de lazer para a população (AMORIM, 2001), pode também provocar processos erosivos nessas áreas e nos terrenos ao seu entorno.

A distribuição da vegetação na cidade está relacionada com processos históricos ou até culturais, e muitas vezes ficam restritas às decisões das administrações públicas. Algumas áreas destinadas às áreas verdes são inadequadas, como as próximas a cursos d'água, considerando que essas áreas, por lei, deveriam ter espaços reservados com preservação permanente.

A qualidade do ambiente urbano está relacionada a inúmeros aspectos entre eles pode-se ressaltar a influência do verde urbano na cidade. Loboada (2003) relaciona a ausência de áreas verdes às questões relacionadas a aspectos sociais, estéticos, de lazer, políticos e culturais, entre outros.

As relações sociedade-natureza moldam o espaço físico urbano através das atividades e necessidades do ser humano, resultando na transformação e apropriação da natureza.

Para Santos (1997), “essas mudanças são quantitativas, mas também qualitativas”, e “a cidade é cada vez mais um meio artificial, fabricado com restos da natureza primitiva crescentemente encoberta pelas obras dos homens”.

Estes fatos influenciam negativamente na qualidade de vida da população, principalmente se vinculados à falta de planejamento que considere os elementos naturais.

Assim, é possível observar a troca de valores naturais por ruídos, concreto, máquinas, edificações, poluição. Por outro lado, a população não percebe a importância da cobertura vegetal como um fator para a qualidade ambiental urbana.

As áreas verdes são partes integrantes da estrutura urbana e a preservação dessas áreas está relacionada com seu uso e sua integração na dinâmica da cidade, que são reflexos das ações humanas e estão vinculadas ao processo histórico, traduzindo na atenção do poder público no que diz à implantação e manutenção desses espaços na malha urbana.

A partir dessas considerações, está evidente a importância do planejamento do meio físico urbano, no entanto, a preocupação ainda está em torno somente das características socioeconômicas.

Amiúde, evapotranspiração das plantas tem efeito muito positivo no clima urbano, pois durante este processo a planta absorve calorias, promovendo a diminuição da temperatura do microclima nas horas mais críticas. Dimoude & Nikolopoulou (2003) observaram que quando a temperatura do ar atinge 25°C, a vegetação para de contribuir com a evapotranspiração, pois seus estômatos vão se fechando à medida que a temperatura se eleva e a velocidade do vento aumenta, evitando a perda de água para o meio.

As árvores contribuem significativamente para refrigerar nossas cidades, conservar energia e podem fornecer proteção solar às casas, enquanto a evapotranspiração pode reduzir as temperaturas urbanas além de criar espaços externos agradáveis à permanência humana.

Diversos estudos relatam o aumento da umidade das áreas vegetadas em relação às não vegetadas (FONTES & DELBIN, 2002; LIMA & ROMERO, 2005; ABREU, 2008) atribuindo à vegetação a capacidade de conservar a umidade no solo, diminuindo o aquecimento por reter a irradiação.

Segundo Llandert (1982), a conservação da umidade pela vegetação pode ocorrer de três maneiras: evaporação física direta das chuvas, transpiração fisiológica das plantas – inversamente proporcional ao grau higrotérmico do ambiente – e a clorovaporização do vapor de água durante a assimilação clorofílica de CO<sub>2</sub> atmosférico, por meio da ação dos raios solares. Esse mesmo autor afirma que a evaporação em campo aberto pode ser até dez vezes maior do que embaixo da copa das árvores.

A vegetação, conforme inserida na área urbana de maneira correta, é capaz de combater a aridez do clima urbano pela regulação higrométrica. Entretanto, com a impermeabilização do solo e diminuição da cobertura arbórea, grande parte da água das chuvas deixou de ser interceptadas e/ou infiltradas, levando ao escoamento superficial parcial ou total reduzindo consideravelmente a umidade no solo em áreas urbanas.

### **2.5.2 Parques Urbanos**

Os espaços vegetados com fins contemplativos nasceram da percepção de que estes eram importantes para a saúde fisiológica e psicológica da população. Assim,

espaços com vegetação densa semelhante à nativa ou paisagem rural deram origem aos primeiros parques urbanos.

Não é possível tratar dos grandes parques urbanos deste século, sem a devida referência ao movimento conservacionista do Park Moviment<sup>1</sup>. Um referente Frederick Law Olmsted (1822-1903) que defendia a utilização econômica dos espaços livres, criando oportunidades de recreação e também de preservação dos recursos naturais, do controle de enchentes, da proteção dos mananciais, criando espaços agradáveis para passear e morar. Esses trabalhos, além de inspirar a criação de inúmeros parques e da Cidade-jardim de Howard, mudou o conceito de qualidade ambiental urbana.

Superado o modelo de parque do Século XIX, idealizado em bairros burgueses e para exibição social, o Século XX busca novos espaços verdes, expressando uso coletivo. Procura recriar as condições naturais que a vida urbana insiste em negar, local de sociabilidade onde o povo encontre suas origens, no contato físico e ativo com a natureza. São lugares de socialização para jogos e ginástica, como o *Volkspark*, na Alemanha.

Os anos 30 foram marcados, na Europa, pela revisão dos modos de projetar o ambiente urbano. De 1943 a 1963, foi implantado o Bosque de Amsterdã, importante exemplo de parque da cidade moderna funcionalista, e experiência de vanguarda, na gestão urbana e territorial, criando um território de recreação na natureza. No mesmo período, na Holanda, o planejamento territorial corresponde a verdadeiros manifestos da nova estética ambiental, com a formulação de ambientes que uniriam os âmbitos rural e urbano.

Em Estocolmo, há uma difusão de espaço verde em pequena escala, por toda parte, como um tecido paisagístico contínuo, espontâneo e simples. Na Inglaterra, em 1946, as *newtowns* superam a ideia estética da cidade-jardim de Howard, introduzindo um conceito de plano paisagístico, que transforma o sentido do verde urbano, sobrepondo ao programa urbanístico numa ideia de paisagem total.

Segundo Panzini (1995), na década de 50, afirma-se a tendência do neopaisagismo no plano de parques, valorizando características cênicas das áreas verdes, com ambientes agradáveis variados, capazes de despertar o interesse e a fantasia dos usuários.

Nos anos 60, novos parques paisagísticos surgem em todos os lugares: em Hamburgo, em Munique, em Paris, por exemplo. Nos anos 70, uma tendência mais romântica e parques mais exuberantes: Olympia Park, nos jogos olímpicos Munique. Equipamentos esportivos, estádios, edifícios, espelhos d'água, passeios e pequenos bosques formam uma paisagem dinâmica com as estruturas tensionadas de Frei Otto.

Com o emergir do movimento ecológico, reivindicações concretas se fizeram sentir quanto à qualidade do ambiente urbano. Em Amsterdã, o *Thyssenpark* primeiro parque público ecológico. Na recuperação de áreas degradadas, busca-se uma requalificação das cidades industriais, o movimento de naturalização da cidade, reforçando a ligação de áreas verdes num sistema independente, com percursos para pedestres e ciclismo.

Nos anos 80, surge a exigência de melhorar a qualidade dos bairros degradados e a cultura paisagística, preocupada com o jardim público, pesquisa categorias funcionais, valores estéticos, significados simbólicos. Como na arquitetura pós-moderna, o abandono dos estilos decretados pela cultura moderna utiliza-se de composição eclética que vincula o jardim à tradição clássica. Veem-se exemplos em Barcelona, laboratório de requalificação urbana nos jardins com assimetrias, descontinuidades, paisagens temáticas.

O Parque La Villete, considerado o parque símbolo da década, da visão projetual. Pela sua dimensão, custos e carga figurativa foi idealizado para testemunhar a arquitetura do jardim do final do século. Em Paris, também foi inaugurado o Parque André Citroën, em 1993, confirmando a tendência de retorno ao desenho, do seu papel cultural com geometria marcante, unificando as fragmentadas intervenções. Nos parques, hoje, mesmo que projetados como composição formalizada, as ligações da ecologia são consideradas.

No Brasil, podem ser citados: o Parque do Ibirapuera, o Parque do Carmo, em São Paulo, o Parque Barigui, em Curitiba, entre outros e mais recentemente destacam-se: o Parque Setorial, em São José do Rio Preto/ SP, projetado por Jamil Kfoury e Mirthes Baffi, em área de fundo de vale, um dos prolongamentos da faixa de preservação dos mananciais, formando uma área verde destinada à recreação e à prática de esportes, com arborização significativa e localização estratégica, acessível a toda população e o Parque Central em Santo André/ SP, projeto de Raul Pereira,

Martha Gavião e Henrique Zanetta, implantado em área bastante densa, abandonada e deteriorada, combinou recuperação ambiental e lazer, a área de nascente, foi tratada com a recomposição da mata ciliar e o paisagismo, devolvendo-lhe peixes e pássaros e a qualidade ambiental.

Em Cuiabá, há o Parque Municipal Morro da Luz, o primeiro parque Urbano do Centro-Oeste Brasileiro, inaugurado em 22 de Maio de 1925, pelo Prefeito Cel. José Antônio Albuquerque. Como ato inaugural da tão esperada escadaria que ligaria e facilitaria a movimentação da população da rua debaixo à Colina do Seminário. Além do Parque Municipal Morro da Luz há muitos outros parques em Cuiabá, de acordo com os autores (VILANOVA e GUARIM, 2014):

- a) Parque Tote Garcia-Horto Florestal de Cuiabá, localizado às margens do Rio Coxipó;
- b) Horto Florestal que faz parte da história de Cuiabá com a sua criação, em 1951;
- c) Parque Federal da UFMT e Zoológico Estadual, localizado às margens do Córrego do Barbado e dentro da Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso. Este possui uma das áreas verdes mais vitais para a Capital Mato-grossense;
- d) Parque Municipal da Saúde - Zé Bôlo Flôr, criado em 2001 e visa oferecer uma opção de lazer aos moradores do bairro Coxipó, bem como para dar suporte à clientela assistida pelos estabelecimentos de Saúde, localizados em seu entorno, como o hospital Aduato Botelho, a Escola de Saúde Pública e o Caps;
- e) Parque Municipal Tia Nair Criado pela empresa habitacional Alphaville e pela Prefeitura Municipal de Cuiabá;
- g) Parque Tia Nair foi entregue à população Cuiabana em 15 de Dezembro de 2007;
- h) Parque Municipal Lagoa Encantada, inaugurado em março de 2010, possui uma grande área localizado na Estação de Tratamento de Esgoto da Grande Morada da Serra, maior bairro de Cuiabá;
- i) Parque Estadual Massairo Okamura, é um parque estadual, localizado na Avenida Historiador Rubens de Mendonça em Cuiabá, situa-se em área de proteção ambiental, tendo em seus limites nascentes que constituem a cabeceira do córrego do Barbado, tributário do Rio Cuiabá, foi inaugurado em 8 de Abril de 2004, como presente do Estado de Mato Grosso à sua capital, Cuiabá, que naquela época completava 285 anos de fundação;

j) Parque Estadual Mãe Bonifácia, inaugurado em dezembro de 2000 e está localizado na Avenida Miguel Sutil, em uma área de 77 hectares.

## 2.6 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

### 2.6.1 Aspectos históricos dos índices de conforto

Os primeiros estudos acerca da influência das condições termohigrométricas sobre o rendimento no trabalho foram desenvolvidos pela Comissão Americana da Ventilação. Em 1916, presidida por Winslow, essa comissão efetuou estudos e pesquisas com o objetivo de determinar a influência das condições microclimáticas no rendimento do trabalho, visando, principalmente, ao trabalho físico do operário, aos interesses de produção surgidos com a Revolução Industrial e às situações especiais de guerra, quando as tropas são deslocadas para regiões de diferentes tipos de clima. Esses estudos vieram confirmar os resultados encontrados anteriormente por Herrington:

- Para o trabalho físico, o aumento da temperatura ambiente de 20 para 24 diminui o rendimento em 15%;
- A 30 de temperatura ambiente, com umidade relativa 80%, o rendimento cai 28%;

Observações acerca do rendimento do trabalho em minas, na Inglaterra, mostraram o seguinte: o mineiro rende 41% menos quando a Temperatura Efetiva aumenta para 27, a partir de 19.

Foram também observadas variações de produção em indústrias, segundo a mudança das estações do ano, havendo, ainda, estudos que correlacionam ambientes termicamente desconfortáveis com índices elevados de acidentes no trabalho (FROTA & SCHIFFER 2006).

Como pode ser visto nos itens relativos às exigências humanas, as condições de conforto térmico são função da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biótipo, hábitos alimentares etc.

Os índices de conforto térmico procuram englobar, num parâmetro, o efeito conjunto dessas variáveis. E, em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos.

### **2.6.2 Classificação dos índices de conforto**

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados como a seguir:

- a) Índices biofísicos — que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;
- b) Índices fisiológicos — que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;
- c) Índices subjetivos — que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

### **2.6.3 Escolha do índice de conforto térmico**

A escolha de um ou outro tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais, com a atividade desenvolvida pelo indivíduo ou pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto. Há condições termo-higrométricas que podem, mesmo que seja apenas por algum tempo, ser consideradas como de conforto em termos de sensação e provocar distúrbios fisiológicos ao término desse tempo. É o caso, por exemplo, de indivíduos expostos a condições de baixo teor de umidade e que, não percebendo que estão transpirando porque o suor é evaporado rapidamente, não tomam líquido em quantidade suficiente e se desidratam.

Existem muitos índices de conforto térmico, porém, para fins de aplicação às condições ambientais correntes nos edifícios como habitações, escolas, escritórios etc., e para as condições climáticas brasileiras, apoiados por Frota & Shiffer (2001)

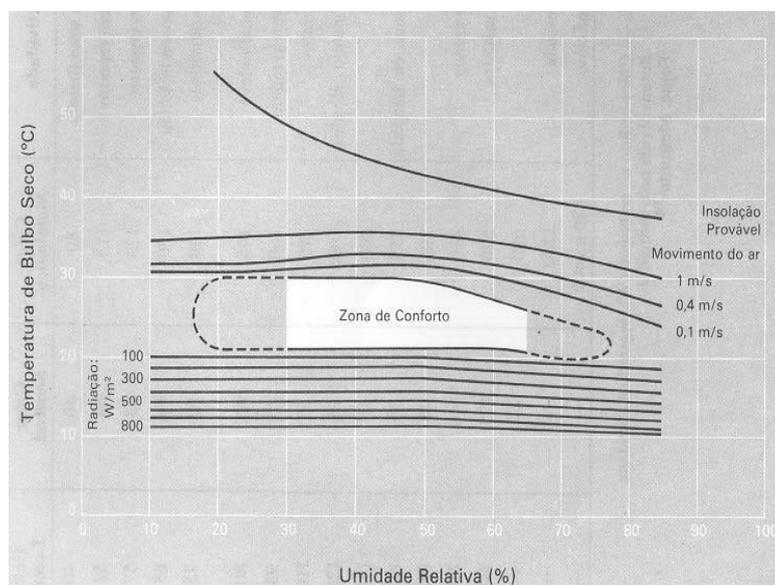
destacam-se três, ao qual fazemos uma inclusão correspondente a nossa escolha, a ser discutida mais adiante.

- a) Carta Bioclimática, de Olgyay;
- b) Temperatura Efetiva, de Yaglou e Houghthen; ou Temperatura Efetiva Corrigida, de Vernon e Warner;
- c) Índice de Conforto Equatorial ou Índice de Cingapura, de Webb;
- d) Índice Climático Termal Universal (adotado neste trabalho).

### 2.6.3.1 Carta Bioclimática de Olgyay

Este índice biofísico — foi desenvolvido a partir de estudos acerca de efeitos do clima sobre o homem, quer ele esteja abrigado quer não, de zonas de conforto e de relações entre elementos de clima e conforto. Foi construída tendo como ordenada a temperatura de bulbo seco e como abscissa a umidade relativa do ar.

A Figura 2 apresenta gráfico para habitantes de regiões de clima quente, em trabalho leve, vestindo 1 “clo”, que corresponde a uma vestimenta leve, cuja resistência térmica equivale a 0,15 m<sup>2</sup>/W.



**FIGURA 2** - Carta Bioclimática para habitantes de região de clima quente, em trabalho leve, vestimenta 1 “clo”

**FONTE:** Koenigsberger (1977)

Na região central da Carta, está delimitada a zona de conforto. Esta área é delimitada pela temperatura do ar em torno de 21 e 29 ° C e umidade relativa entre 30% e 65%, com uma zona de exclusão para o ar muito quente e úmido.

Evidentemente, se os pontos determinados por essas variáveis se localizarem na zona de conforto, as condições apresentadas serão consideradas como adequadas. Se caírem fora da zona de conforto, há necessidade de serem tomadas medidas corretivas.

Se o ponto determinado pelas condições de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa do ar cair acima da zona de conforto, será necessário recorrer-se ao efeito do movimento do ar.

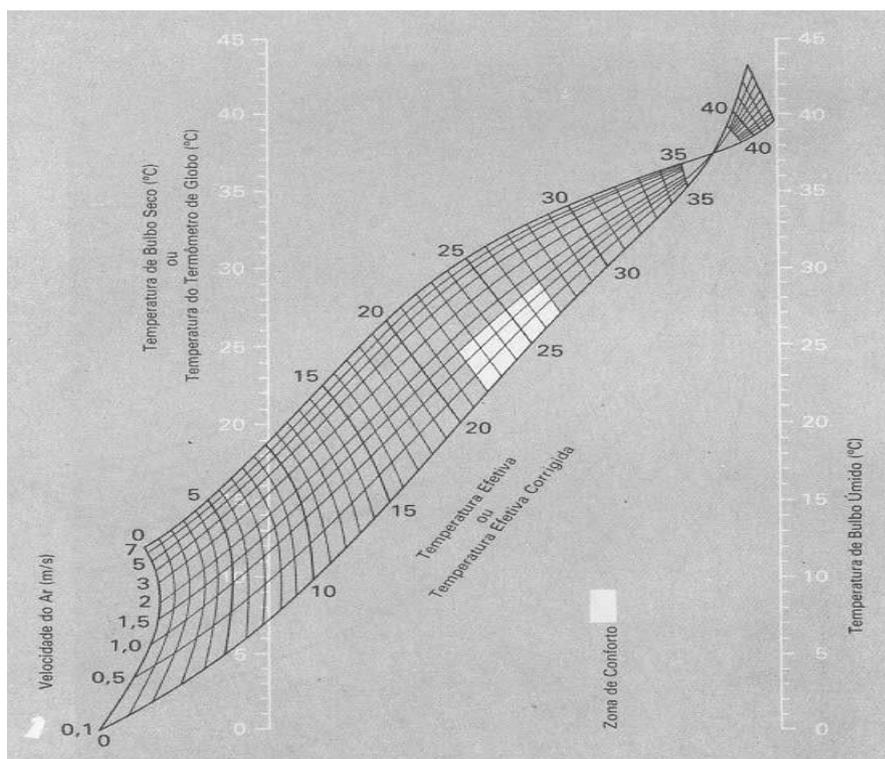
Se a temperatura seca do ar é elevada, mas a umidade é baixa, o movimento do ar pouco favorece.

Quanto à região abaixo do limite inferior da zona de conforto, as linhas representam a radiação necessária para atingir a zona de conforto. Colocar esses dois períodos no mesmo parágrafo

#### 2.6.3.2 *Índice de Temperatura Efetiva*

A Temperatura Efetiva, de Yaglow e Houghten, de 1923, foi definida pela correlação entre as sensações de conforto e as condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, procurando concluir quais são as condições de conforto térmico. É um índice subjetivo. Essas correlações são apresentadas sob a forma de nomograma.

Em 1932, Vernon e Warner apresentaram uma proposta de correção para este índice, utilizando a temperatura do termômetro de globo em vez de temperatura seca do ar, para base dos cálculos, posto que a temperatura de radiação, sendo superior ou inferior à temperatura seca do ar, proporciona alterações na sensação de conforto, observam-se indicações das duas escalas no nomograma da Figura 3. A zona de conforto térmico delimitada sobre o nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve e se referindo aos habitantes de regiões de climas quentes, está em torno 22 e 27, foi adaptada por Koenigsberger et al.(1977).

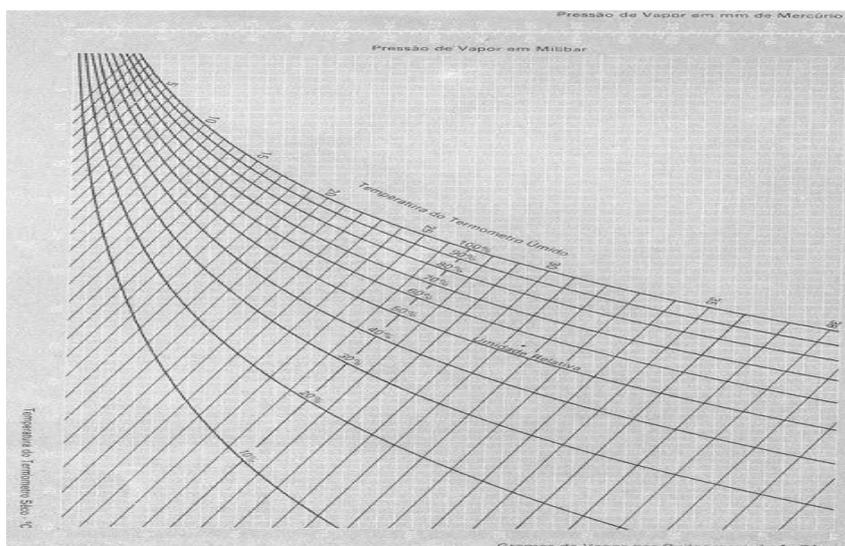


**FIGURA 3** - Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve.

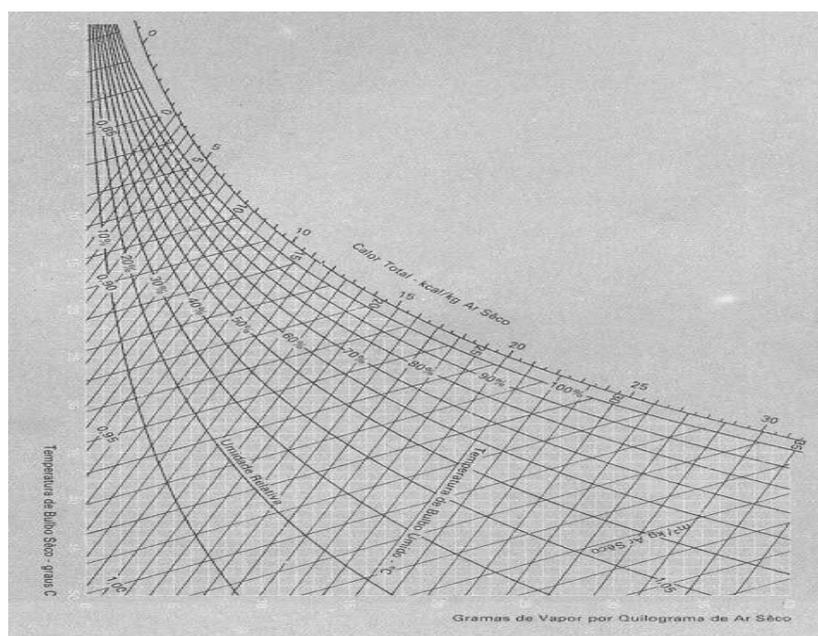
**FONTE:** Koenigsberger (1977).

Quando os dados disponíveis são de temperatura seca, ou do termômetro de globo, umidade e velocidade do ar, esse nomograma é normalmente utilizado em conjunto com a Carta Psicrométrica, a qual fornecerá as correspondências entre a temperatura do termômetro de bulbo seco e a temperatura do termômetro de bulbo úmido, a partir dos dados de umidade relativa.

As Figuras 4 e 5 apresentam as Cartas Psicrométricas para pressão atmosférica normal (760 mm Hg), ao nível do mar, e para São Paulo (pressão atmosférica 695,1 mm Hg).



**FIGURA 4 - Carta Psicrométrica para cidades ao nível do mar.**  
**FONTE:** Koenigsberger (1977).



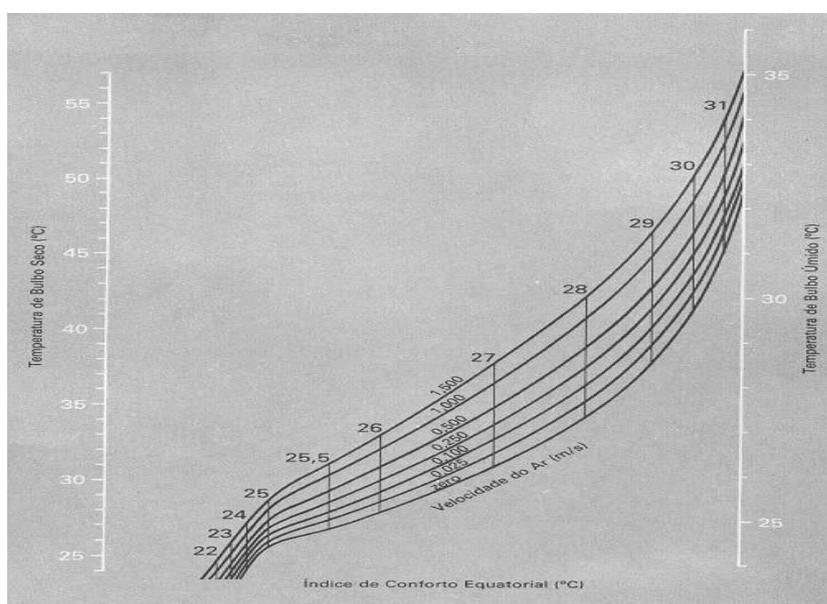
**FIGURA 5 - Carta Psicrométrica para cidade de São Paulo**  
**FONTE:** (FROTA & SHIFFER, 2001).

### 2.6.3.3 Índice de Conforto Equatorial (I. C. E.).

Webb (1960) desenvolveu este índice para ser aplicado a habitantes de climas tropicais, de preferência quente e úmido (FROTA & SHIFFER, 2001). Basearam-se em observações feitas em Cingapura, em habitações correntes e em uma escala climática desenvolvida especialmente para condições tropicais, procurando

correlacionar os valores dessa escala com a sensação de calor, tendo incorporado dados referentes ao P4SR (Previsão da Produção de Suor em 4 horas).

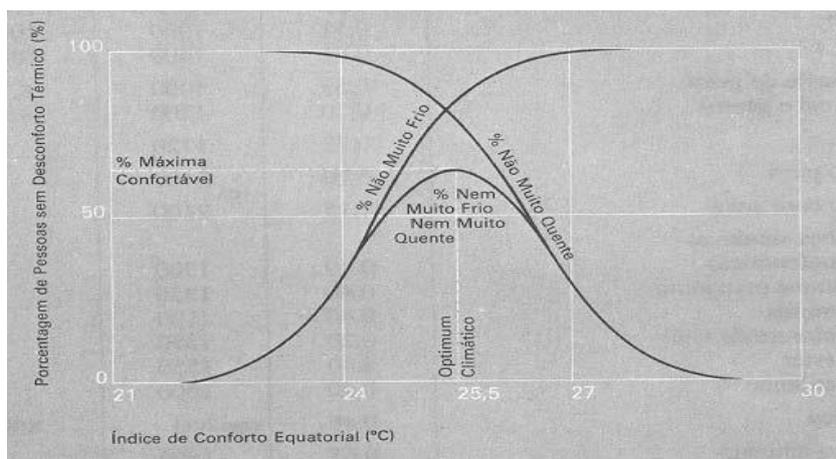
McAriel et al. (1947) desenvolveram o índice de taxa de suor previsto para quatro horas, com base em experimentos em que se avaliavam as respostas fisiológicas em um período de quatro horas, sob determinada condição climática. Esse índice considera a temperatura de globo, a temperatura de bulbo úmido, a velocidade do vento, a taxa metabólica e dois padrões de vestimentas e chegou a um nomograma semelhante ao da Temperatura Efetiva Figura 6.



**FIGURA 6** - Nomograma de Índice de Conforto Equatorial.

**FONTE:** Webb (1960).

O gráfico de conforto de Cingapura, Figura 7, foi elaborado com base em dados obtidos a partir da psicologia experimental, com a análise de testes aplicados em indivíduos completamente aclimatados na região. Esse gráfico indica a existência de um optimum em conforto na faixa de 25,5°C na escala I.C.E.



**FIGURA 7** - Gráfico de conforto para indivíduo residente em Cingapura  
**FONTE:** Webb (1960).

Webb estende a aplicabilidade de seu índice e de seu gráfico de conforto a habitantes de regiões climáticas semelhantes a Cingapura como, por exemplo, a Amazônia.

#### 2.6.3.4 Índice Climático Termal Universal (UTCI)

Uma tentativa de padronização corresponde ao Índice Climático Termal Universal/ UTCI (*Universal Thermal Climate Index/ UTCI*), o primeiro encontro do grupo de trabalho que o elaborou ocorreu em Freiburg, Alemanha, em junho de 2001 (HÖPPE, 2002), sendo desenvolvido pela Comissão da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB –*International Society of Biometeorology*) com o objetivo de avaliar as condições térmicas de ambientes externos por meio da resposta fisiológica do corpo humano.

O Índice Climático Termal Universal (UTCI) considera o modelo termorregulatório multinodal desenvolvido por Fiala et al. (1999, 2001, 2003, 2007, 2011) que tem como parâmetros:

- a) o comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico;
- b) a distribuição da roupa em diferentes partes do corpo e
- c) a redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4km/h em superfície plana.

O UTCI segue o conceito da temperatura equivalente e apresenta para o ambiente de referência as seguintes definições:

- a) 50% de umidade relativa (com pressão de vapor não excedendo 20kPa);
- b) temperatura do ar ( $T_{bs}$ ) igual a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ); e

c) velocidade do ar de 0,5m/s, medida a 10m de altura.

A igualdade das condições fisiológicas é baseada na equivalência da resposta fisiológica dinâmica prevista pelo modelo para o ambiente real e para o ambiente de referência. Como essa resposta dinâmica é multidimensional (temperatura corporal, taxa de sudorese, temperatura da pele, dentre outros, em diferentes tempos de exposição), um índice unidimensional foi estimado através da Análise dos Componentes Principais. Assim, a temperatura UTCI equivalente para dada combinação das variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) é definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse térmico do ambiente real.

O UTCI abrange as seguintes faixas climáticas:  $-50 \leq Ta \leq 50$ ,  $-30 \leq Trm-Ta \leq 70$ , velocidade de vento entre 0,5 e 30,3m/s e umidade relativa de 5% a 100% (pressão de vapor máxima 5kPa). Apresenta as faixas de estresse térmico contidas na Tabela 1.

**TABELA 1** - Faixas de estresse térmico do UTCI

<b>Faixas do UTCI</b>	<b>Categorias de Estresse</b>
acima de 46	extremo estresse para o calor
38 e 46	muito forte estresse para o calor
32 e 38	forte estresse para o calor
26 e 32	moderado estresse para o calor
18 e 26	conforto térmico
9 e 18	sem estresse térmico
0 e 9	pouco estresse para o frio
0 e -13	moderado estresse para o frio
-13 e -27	forte estresse para o frio
-27 e -40	muito forte estresse para o frio
abaixo de -40	extremo estresse para o frio

**FONTE:** Rossi, Krüger e Bröde, (2011)

## 2.7 ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS URBANOS

As primeiras pesquisas de conforto térmico têm caráter iminentemente laboratorial, focando-se, na maioria, em espaços fechados, mas tendo-se posteriormente sido adaptadas para, ou utilizadas em espaços abertos. Houghten e Yaglou (1923), a partir de estudos em laboratório da ASHVE, propõem uma temperatura efetiva (ET), determinada por meio da combinação da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido e da velocidade do vento.

Vernon e Warner (1932) propõem a nova temperatura efetiva (ET\*), mediante a substituição da temperatura de bulbo seco pela temperatura de globo, para consideração dos efeitos da radiação, sendo adotado pela ASHRAE em 1967 e, posteriormente, modificada para o uso da temperatura operativa, em vez da temperatura de globo, com a nomenclatura de nova temperatura efetiva corrigida (CET\*).

No mesmo contexto, reportando a experimentos laboratoriais conduzidos em espaços abertos na Antártida, Siple e Passel (1945) propõem como alternativa a temperatura resfriada pelo vento (WCT).

Belding e Hatch (1955) propõem o índice de estresse térmico por calor (HSI) para espaços externos, através de modelo de balanço térmico. Yaglou e Minard (1957) propõem a temperatura de globo e de bulbo úmido (WBGT), considerando situações internas e externas, sem e com radiação solar direta. Gagge, Stolwijk e Hardi (1967) propõem uma nova determinação para a temperatura efetiva padrão (SET\*), podendo ser definida como a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em um ambiente de referência, um indivíduo apresenta a mesma temperatura da pele e a mesma fração de pele coberta por suor regulatório que a umidade relativa absoluta no ambiente em questão.

Givoni (1969) propõe o índice de estresse térmico (ITS), baseado em balanço térmico, e, para considerar as trocas por radiação em ondas longas, sugere a utilização da temperatura de globo em vez da temperatura do ar no cálculo das trocas convectivas.

Masterton e Richardson (1979) propõem o Humidex (HU), índice que fornece uma temperatura equivalente em função dos valores da temperatura e da umidade

relativa do ar. Jendrizky et al. (1979) propõem o Modelo Climático de Michel, baseado em adaptação do modelo proposto por Fanger (1972), através de um modelo de radiação que computa os fluxos de radiação de ondas longa e curta, considerando-os no valor de temperatura radiante média. Vogt et al. (1981) propõem o índice de taxa de suor requerida (Swreq), a partir do HSI e do ITS, tornando-se parte da norma ISO 7933 (1989).

Dominguez et al. (1992) propõem critérios para a taxa de suor requerida como base para avaliação de conforto. Brown e Gillespie (1995) propõem uma fórmula de conforto específica para ambientes externos. Aroztegui (1995) recomenda a temperatura neutra exterior. Humphreys (1975), baseado em levantamentos de campo, propõe a temperatura neutra, definida como a temperatura ambiente considerada termicamente neutra pela população.

Aroztegui (1995) incorpora variáveis relativas à radiação solar e à velocidade do vento, baseando-se no ITS. Blazejczyk (2002) propõe o modelo de balanço térmico Menex, considerando uma série de índices de caráter laboratorial: carga térmica (HL), estímulo devido à intensidade de radiação ( $R'$ ), esforço fisiológico (PhS), temperatura subjetiva (STI), índice de suor aparente (SP). Freitas (1997) apresenta o índice de capacidade de armazenamento (PSI) e a temperatura da pele que equilibra o balanço térmico (STE), também utilizando o modelo Menex.

Höppe (1999) propõe o Modelo de Munich, baseando-se também na equação de balanço térmico, mas considerando o modelo de dois nós de Gagge (1986) e definindo a temperatura equivalente fisiológica (PET) de dada situação como a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em uma situação típica interna, o balanço térmico do corpo humano é mantido, com temperaturas do centro do corpo e da pele iguais às da situação em questão.

Givoni e Noguchi (2000) relatam pesquisa experimental de conforto térmico em espaços abertos, envolvendo aquisição de respostas de sensação térmica (TS) e sensação global de conforto em caráter laboratorial, através de pesquisa desenvolvida em um parque da cidade de Yokohama, no Japão. Bluestein e Osczevski (2002) realizaram trabalho de pesquisa empírica para reformulação das equações para determinar a nova temperatura resfriada pelo vento (NWCTI).

Os ensaios para a determinação do novo índice basearam-se na modelagem física do rosto do indivíduo exposto ao vento. Nikolopoulou (2004) apresenta o voto real de sensação (ASV), em que, para cada uma das cidades europeias onde foram realizados levantamentos de campo, propôs-se uma equação linear simples, para predição de conforto baseado em dados de estação meteorológica, propondo-se ainda equação única representativa do continente.

Monteiro (2008) propõe a temperatura equivalente percebida (TEP) com base em levantamentos laboratoriais na cidade de São Paulo, podendo ser definida como uma escala de sensação térmica que apresenta valores numericamente iguais aos da temperatura do ar de um ambiente de referência em que se verifica o mesmo valor médio de percepção de sensação térmica que no ambiente em questão.

### **2.7.1 Panorama Brasileiro**

Foram apresentados vinte e seis trabalhos, publicados na primeira década deste século, nos principais eventos científicos e revistas nacionais, que focam a relação entre microclima e usuário, visando ressaltar a contribuição de cada um deles para o tema em questão.

Lois e Labaki (2001) realizam revisão teórica das pesquisas de conforto térmico em espaços externos, dando ênfase para seis diferentes índices de conforto: Índice de Estresse Térmico ITS de Givoni (1969), Modelo Climático de Michel (KMM) de Jendritzky et al. (1979; citados por Jendritzky e Nübler, 1981), Höppe (1999) com o Modelo de Munique (MEMI), de dois nós, busca uma descrição mais apurada das trocas termofisiológicas, Temperatura Equivalente Fisiológica (PET), o autor propõe um índice de temperatura equivalente à sensação térmica do indivíduo, ao invés de fornecer uma série de índices que dependam de escalas predefinidas, Temperatura Neutra Exterior (Tne) de Aroztegui (1995) e Índice de Sensação Térmica (TS), desenvolvido a partir de experimentos da Fujita Corporation em um parque da cidade de Yokohama, no Japão de 1994 a 1995. Concluem colocando que esperam contribuir “para as pesquisas que estão se iniciando no Brasil sobre conforto térmico em espaços urbanos externos”. Labaki e Santos (2001) desenvolvem estudo com cinco espécies de árvores de áreas urbanas de Campinas/SP, visando verificar a redução no efeito da radiação solar e consequente ganho no conforto térmico.

Segundo as autoras, o estudo de Campinas estabeleceu uma metodologia de medição das variáveis ambientais que está à disposição para aplicação em demais casos.

Mendonça e Assis (2001, 2003) realizaram estudo de caso no Bairro Floresta, em Belo Horizonte/MG. O trabalho centra-se principalmente na questão entre ambiente e forma urbana. Para avaliação de resultados, sugerem o emprego do Diagrama Climático de Givoni que, segundo as autoras, é “um índice de conforto gerado para interiores”. O mesmo é comumente empregado para diretrizes em etapas iniciais de projeto de ambientes internos.

Costa e Araújo (2002) realizaram, durante quatro dias de verão, a aplicação de oitenta questionários em bairros de Natal/RN, medindo às 6h e às 13h, a temperatura, umidade e velocidade do ar. Para análise dos resultados utilizaram a temperatura equivalente fisiológica e a temperatura efetiva padrão, concluindo que o primeiro apresentou resultados mais condizentes com a realidade em questão. As mesmas autoras (2003) apresentaram resultados específicos para o Bairro de Petrópolis, dando ênfase no estudo ao levantamento empírico. Concluíram que, quando comparado a estações meteorológicas, o bairro é mais quente e menos ventilado, sendo que a maioria dos usuários sente-se desconfortável.

Costa e Araújo (2004) relataram novos resultados de seus trabalhos (2002, 2003) apresentando, com base nos estudos realizados no Bairro de Petrópolis em Natal, valores referenciais de voto médio estimado, temperatura equivalente fisiológica e temperatura efetiva padrão e, ainda, indicação de faixa de conforto (24,2-30,4°C; 67-89%). Ainda segundo as autoras: “em se tratando de velocidade do vento é impreciso se determinar um intervalo significativo já que os dados variaram enormemente (de 0,14m/s a 2,99m/s)”.

Silva e Corbella (2004) apresentaram também trabalho em andamento através de estudo de caso realizado em Copacabana, no Rio de Janeiro/RJ, com coleta de grande quantidade de variáveis ambientais e aplicação de “enquetes sensoriais”. Concluem os autores que “talvez o aspecto mais importante diga respeito às enquetes sensoriais, sobretudo em função da heterogeneidade dos usuários locais”, indicando para a necessidade de desenvolvimento dos procedimentos utilizados para tal fim.

Alucci e Monteiro (2004) apresentaram resultados de investigação teórica acerca das condições de estresse térmico de usuários, para diferentes situações

ambientais. Para avaliação, foram utilizados os índices SWreq, HL e SP. Os autores concluem apresentando as situações limites teoricamente aceitáveis, em termos fisiológicos e não de conforto, para diversas cidades brasileiras.

Torres e Barbirato (2004) divulgaram resultados de pesquisa realizada em três áreas externas de conjuntos habitacionais de Maceió/AL. Foram levantadas variáveis ambientais e aplicados sessenta questionários. Os autores indicam a área que apresentou melhores resultados, ressaltando o fato de que a mesma é a menos frequentada, apontando para a problemática da falta de diversidade de atividades ofertadas.

Katzschner (2005) utilizou dados obtidos para Salvador/BA e João Pessoa/PB e por meio da utilização da temperatura equivalente fisiológica discute resultados anteriormente divulgados, apontando para um abrandamento das condições de conforto, em contraposição às análises anteriores.

Ananian et al. (2005) realizaram estudo para espaço externo em Bauru/SP, com levantamento de variáveis ambientais e aplicação do índice PMV, não sendo realizada nenhuma ressalva quanto às limitações deste. Monteiro e Alucci (2005a) propõem procedimento para quantificação de variáveis ambientais e subjetivas em espaços abertos. Os mesmos autores apresentam ainda revisão histórica (2005b) e atual estado da arte das pesquisas na área (2005c), contemplando mais de vinte modelos preditivos e trinta índices interpretativos modelos preditivos e trinta índices interpretativos.

Borges e Labaki (2006), através de medições e entrevistas, estudaram três espaços externos de Campinas, comparando o voto médio estimado e as sensações e preferências dos usuários dessas áreas. Concluíram que há diversidade térmica em relação às três áreas analisadas, indicando a existência de microclimas diferenciados e variações de efeito psicológico nas sensações térmicas.

Costa e Araújo (2006) apresentaram novos resultados de sua pesquisa (2004), com faixas-limite distintas para verão (27,3-31,3°C; 65-81%) e inverno (23,2-29,4°C; 70-92%), baseando-se em medições microclimáticas e 171 entrevistas realizadas no Bairro de Petrópolis, em Natal. Concluíram que a definição de faixas-limite por análise estatística e pesquisa de campo por meio de entrevistas é uma metodologia possível, embora deva ser suficiente e cuidadosamente abrangente em

virtude da multiplicidade de variáveis envolvidas. Monteiro e Alucci (2006) apresentaram estudo comparativo com dados preliminares obtidos e no mesmo ano proposta de calibração de modelos preditivos. Alucci e Monteiro (2006) utilizaram esses resultados e por meio do Índice de Carga Térmica Calibrado realizaram avaliação de espaços externos cobertos por membranas têxteis. Apontam ainda para a necessidade de estabelecimento de base empírica em diversos domínios climáticos brasileiros para a melhor adequação do modelo utilizado.

Monteiro e Alucci (2007) apresentaram os resultados finais do estudo comparativo de diferentes modelos preditivos, por meio de levantamentos de caráter laboratorial em espaços abertos. Os mesmos autores apresentam ainda proposta de calibração para esses modelos, considerando, em específico, populações adaptadas às condições climáticas.

Moreno et al. (2007) propõem uma zona de conforto para clima tropical de altitude, elaborada a partir de dados coletados em medições em passeio público (verão) e áreas livres (outono). Foram consideradas as variáveis temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, tendo sido aplicados 108 questionários de sensação térmica e de conforto no Bairro de São José, em Campinas.

Pezzuto e Labaki (2007) avaliam o conforto térmico em áreas abertas de fluxos de pedestres na região central da cidade de Campinas. A pesquisa foi realizada durante o período de verão e inverno, com a aplicação de 778 questionários, em cinco pontos com características tipológicas diferenciadas. As autoras concluem que no verão não há diferença de resultado em relação aos pontos avaliados e que no inverno o ponto próximo a um parque apresenta resultados mais satisfatórios.

Monteiro (2008) propõe novo modelo preditivo, baseado em temperatura equivalente, para predição da sensação térmica de pessoas habituadas às situações climáticas da cidade de São Paulo/SP. O autor apresentou resultados baseados na aplicação de 2250 questionários em levantamentos empíricos de caráter laboratorial e indica a necessidade de sua verificação em situações urbanas reais.

Considerando o panorama brasileiro, verifica-se que estudos de conforto térmico em espaços abertos eram publicações ocasionais em eventos científicos e revistas nacionais (considerando-se os principais eventos e publicações apenas dois

trabalhos realizados no país foram localizados no século passado, a saber: Aneur, 1999 e Katzschner et al., 1999). Neste século, verifica-se o aumento crescente do número de pesquisas e publicações. Atualmente, existem vários grupos de pesquisa pelo país estudando o conforto ambiental, dentre esses grupos está o programa de Pós Graduação de Física Ambiental da UFMT.

No Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, tem-se realizado pesquisas referentes ao conforto ambiental em ambientes externos para cidade de Cuiabá, conforme resumo na Tabela 2.

**TABELA 2 - Trabalhos referentes ao conforto Ambiental conduzidos no PGFA**

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Pesquisa</b>	<b>Resultado</b>
ALMEIDA JÚNIOR	2005	Realizou a avaliação do clima urbano em zonas arborizadas e não arborizadas no bairro central de Cuiabá-MT	As condições climáticas locais estão intimamente relacionadas com o uso do solo e, principalmente, com a carência de indivíduos arbóreos nas áreas urbanizadas.
LEÃO	2007	Realizou um estudo empregando a carta bioclimática de Cuiabá nas estratégias do condicionamento térmico das edificações.	A falta de ventilação na região é um dos fatores agravantes da falta de conforto.
CAMPOS NETO	2007	Fez uma análise microclimática no campus da UFMT, desenvolvido na estação seca e úmida nos períodos matutino e noturno.	Pontos com presença de áreas verdes e superfícies de água retém a umidade relativa do ar nos microclimas e por isso ameniza o calor.
OLIVEIRA	2008	Realizou uma análise da relação das temperaturas superficiais e os revestimentos do solo na praça do aeroporto Marechal Rondon em Várzea Grande-MT.	Relação direta entre as maiores áreas pavimentada e as maiores médias de temperaturas superficiais, e a presença de vegetação de grande porte apresentou a menor média diária de temperatura superficial, em função da interceptação da radiação solar pelas árvores.
COX	2008	Realizou uma análise comparativa das habitações populares em termos de desempenho térmico e sistemas construtivos.	As casas não foram edificadas em concordância com o posicionamento do sol e a arborização não vem sendo utilizada adequadamente.
BARROS	2009	Realizou um estudo microclimático no Parque Mãe Bonifácia em Cuiabá-MT.	Este estudo confirmou a evidência de que existe uma relação direta do campo térmico com os padrões de ocupação do solo e topografia.
		Realizou uma avaliação de estratégias passivas da bioclimatologia em uma	As temperaturas dos ambientes internos estiveram superiores aos externos, reportando

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Pesquisa</b>	<b>Resultado</b>
NINCE	2009	escola na cidade de Cuiabá-MT.	ao desconforto diante do clima local.
ROSSETI	2009	Avaliou a interferência da cobertura vegetada no microclima de dois protótipos localizados no campus da UFMT.	Avaliou o uso de cobertura verde extensiva sobre uma telha de fibrocimento, na cidade de Cuiabá, obtendo resultados que possibilitaram sua caracterização como estratégia passiva adequada para o condicionamento térmico de edifícios localizados na cidade.
FRANCO	2010	Realizou um estudo dentro do contexto urbano da cidade de Cuiabá-MT, mais precisamente no Bairro do Porto.	A conformação urbana e os processos de desenvolvimento das cidades não dependem apenas do modo e distribuição da malha urbana, mas sim do uso e ocupação do solo, da distribuição das áreas verdes e principalmente do funcionamento da vida cidadina.
ALVES	2010	Caracterizou espacialmente a temperatura e a umidade relativa do ar na UFMT, campus de Cuiabá, utilizando a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar e coordenadas geográficas, em dois transectos, buscando contemplar os diferentes tipos de uso e ocupação do solo.	Constatou-se que o ponto pavimento asfáltico apresentou a maior média de temperatura e a menor média de umidade relativa, tornando-o um local quente e seco.
OLIVEIRA	2011	Avaliou as variáveis que contribuem no microclima das praças Popular e 8 de Abril e como isso influencia o uso pelas pessoas; e estudar as relações entre os fatores que participam deste processo, principalmente por intermédio da vegetação.	Concluiu-se que é importante adicionar esforços para qualificar o ambiente de praças públicas por meio de um melhor planejamento e apropriada metodologia na escolha de espécies arbóreas a serem adotadas.
MACIEL	2011	Realizou a análise entre o comportamento da temperatura e umidade do ar com características físicas de uma área urbana da cidade de Cuiabá.	Observou-se uma tendência aos pontos localizados na área verde ou com proximidade a esta de apresentarem valores de temperaturas mais baixos e de umidade relativa do ar mais altos, corroborando estudos consagrados da área de climatologia urbana.
DURANTE	2012	Avaliação dos efeitos do sombreamento arbóreo no desempenho termo energético de salas de aula foi o	Os resultados evidenciaram a contribuição do sombreamento arbóreo como mitigador do microclima externo, demonstrando a

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Pesquisa</b>	<b>Resultado</b>
		objetivo da sua pesquisa.	importância da arborização no desempenho termo energético dos ambientes, em cidades de clima quente.
BARROS	2012	Avaliou a extensão da influência das áreas verdes e sua fragmentação, quantificada pela dimensão fractal, sobre o ambiente térmico de um lugar, o presente estudo foi conduzido em cinco bairros da região sudeste da cidade de Cuiabá, MT, Brasil.	Verificou-se que a fragmentação das áreas verdes, descrita com muita propriedade pela dimensão fractal, atuou de forma mais decisiva nos ambientes térmicos com baixos percentuais de área vegetada, sendo que nesses casos uma vegetação menos fragmentada resultou em menores temperaturas do ar.
CALLEJAS	2012	Avaliou espacial e temporalmente o microclima de três sítios urbanos localizados em posições distintas da cidade sob a óptica do balanço de energia, visto que esta abordagem ainda é de pouca utilização no meio urbano no Brasil.	Através delas foi possível estabelecer correlações entre as variáveis do balanço de energia com as características morfológicas de cada sítio urbano estudado, o que permitiu definir novas diretrizes para o uso e ocupação do solo no plano diretor da cidade, bem como sugerir a implantação medidas mitigadoras para o clima da cidade.
SANTOS	2012	Analisou a influência da ocupação do solo no microclima em Cuiabá-MT-Brasil por meio das diferenças de temperatura e umidade do ar interurbana do município.	Este estudo contribuiu para diagnosticar eventuais mudanças no clima urbano. Devido ao processo de crescimento de Cuiabá, que precisam ser considerados pelos planejadores e gestores para que sejam tomadas medidas que contribuam com a melhoria da qualidade ambiental e de vida da população.
LUZ	2013	Analisar a influência das alterações na cobertura do solo nas variáveis microclimáticas como forma de subsidiar futuros projetos de edificações e de planejamento urbano.	O fator preocupante são as grandes áreas impermeabilizadas que impactam no conforto ambiental de seus usuários.
MACIEL	2014	Condições Microclimáticas de Espaços Abertos: Simulação de Estratégias por meio do Software ENVI-Met.	Espera-se que com os resultados desta pesquisa, o estudo do conforto ambiental para o estado do Mato Grosso e da região Centro-Oeste seja enriquecido, atentando para o papel das estratégias de mitigação de ilhas de calor como agentes amenizadores do rigor climático imposto pelo clima das cidades de porte médio, como é o caso de Cuiabá.
		Praças públicas em Cuiabá-MT: influências nas variáveis	Pela verificação dos resultados, restou como evidenciado o caráter fundamental de se

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Pesquisa</b>	<b>Resultado</b>
TOCANTINS	2015	microclimáticas.	manter e envidar esforços para a proliferação das regiões vegetadas de modo a colaborar para a atenuação do microclima local e, dentre outros benefícios, a promover a sensação de bem-estar termo-higrométrico.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para estimativa de transectos do Índice Climático Termal Universal UTCI no Parque Mãe Bonifácia, Cuiabá-MT, por meio da coleta georeferenciada da temperatura e umidade relativa do ar, foram desenvolvidos e articulados os seguintes tópicos a serem discutidos, respectivamente, nos próximos capítulos.

- Caracterização geral do lócus;
- Procedimentos de coleta de dados para construção de transectos móveis;
- Instrumentação desenvolvida e utilizada;
- Caracterização e modelagem estatística dos experimentos.

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LÓCUS**

O município de Cuiabá possui uma área de 3.224,68 Km<sup>2</sup>, sendo que a área urbana ocupa 251,94 Km<sup>2</sup> e a área rural ocupa 2.972,74 Km<sup>2</sup>, limita-se ao norte, com os municípios de Acorizal, Rosário Oeste e Chapada dos Guimarães, ao leste com Chapada dos Guimarães, ao sul com Santo Antônio de Leverger e a oeste com Várzea Grande e Acorizal (MAITELLI, 1994). Está situada nas coordenadas geográficas centrais de 15° 35' 56" latitude Sul e 56° 06' 01" de longitude oeste, na região central do Brasil, denominada "depressão cuiabana".

Segundo Maitelli (1994), a depressão cuiabana, parte integrante da depressão do Rio Paraguai, compreende uma área rebaixada, localizada à margem esquerda do Rio Cuiabá, limitando-se ao sul com o Pantanal Mato-grossense. A oeste, noroeste e norte com a Província Serrana e a leste com a Chapada dos Guimarães. Localiza-se na confluência de três importantes biomas brasileiros: o Pantanal, o Cerrado e a Floresta Amazônica.

Cuiabá está localizada no centro sul do estado de Mato Grosso, Figura 8, com altitude de 165 metros acima do nível do mar, variando em sua área urbana de 146 a 250 metros. Situa-se na província geomorfológica, denominada Depressão Cuiabana que consiste numa peneplanície de erosão, onde predominam relevos de baixas amplitudes. Na área urbana e seu entorno, assinalam sete unidades distintas, segundo o modelo do relevo: canal fluvial, dique marginal, planície de inundação, área alagadiça, área aplainada, colinas e morrotes, que apresentam características próprias e comportamento específico quanto às diversas formas de uso e ocupação do solo (CUIABÁ, 2004).



**FIGURA 8** - Localização da cidade de Cuiabá no estado de Mato Grosso

Fonte: Oliveira 2011.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, típico do regime tropical continental com temperaturas médias, situando entre 20 e 28. Esse clima caracteriza-se por apresentar duas estações bem definidas, uma seca, de abril a outubro e outra chuvosa, de novembro a março, período em que as médias atingem entre 32,6 a 38 (MAITELLI, 1994).

Segundo Piaia (1997), a pluviosidade média anual fica em torno de 1500 mm, concentrada na estação chuvosa, dominada pela presença de massa de ar equatorial continental quente e úmida, enquanto que na outra estação, raros são os episódios de chuva, pois geralmente essa estação é influenciada pela massa de ar tropical continental que estaciona na região, originando ventos quentes e secos. As duas

estações são sujeitas a descontinuidades pelos fenômenos do veranico nas chuvas e friagem na seca.

A cobertura vegetal da área urbana é constituída por remanescentes de cerrado, cerradão, matas ciliares e por vegetação exótica. No cerrado, durante a seca, o capim apresenta cor amarelada e árvores de pequeno e médio porte, trocam as folhagens remanescentes por outras totalmente novas, fato que favorece a queima dessa vegetação. A troca de folhas não ocorre a um só tempo, de forma que, mesmo no auge da estação, o cerrado apresenta algum verde no seu estrato arbóreo-arbustivo.

O principal curso d'água da cidade é o Rio Cuiabá, que recebe os afluentes Rio Coxipó, Ribeirão da Ponte, Ribeirão do Lipa, Córregos Manuel Pinto, Gambá, Barbado e São Gonçalo, que se integram a sua bacia na zona urbana.

Nesse contexto geográfico, encontra-se o Parque Mãe Bonifácia, localizado na região norte da macrozona urbana do Município de Cuiabá, em uma região de grande expansão de empreendimentos imobiliários, resultado, em parte, pela existência do Parque.

### **3.1.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo é o Parque Estadual Mãe Bonifácia, localizado no bairro Quilombo, na região oeste de Cuiabá e ocupa uma área de 77,16 hectares. Foi inaugurado em dezembro de 2000, seu nome é uma homenagem à escrava que viveu naquela região nos fins do século XIX. No local, há pista para caminhada e corrida, mirante, trilha de areia, aparelhagem para exercícios físicos, parque infantil, concha acústica e abriga diversos eventos ao longo do ano, conforme Figuras 9 e 10.



**FIGURA 9** - Localização da área de estudo  
**FONTE:** Google 2015



**FIGURA 10** - Vista panorâmica do Parque Mãe Bonifácia  
**FONTE:** Google 2015

### 3.1.2 Aspecto Histórico

A cidade de Cuiabá, MT, que experimentou, a partir da década de 1970, um crescimento da área urbana, devido ao processo de invasões das áreas periféricas,

passou a conviver com grandes problemas ambientais como: córregos assoreados cheios de esgoto, poluição do ar e sonora e a formação de ilhas de calor nas áreas centrais (PIAIA, 1997). Apesar da ocupação descontrolada do espaço urbano, segundo um estudo do Departamento de Geologia da UFMT, realizado em 2008, a extensão de áreas verdes por habitante dentro do perímetro urbano local é três vezes maior que o recomendado pela Organização das Nações Unidas – ONU, reafirmando o notório título, ostentado há anos, de “Cidade Verde” (DEUS, 2008). Para garantir uma melhor qualidade de vida à população, conservando e recuperando as áreas verdes remanescentes no tecido urbano, em 1992, foi criado o Sistema Municipal de Unidades de Conservação – SMUC, que define as áreas de interesse como Unidades de Proteção Integral ou Unidades de Manejo Sustentável.

Nesse mesmo ano, a Mata da Mãe Bonifácia, área que outrora abrigara cativos foragidos, lugar ermo de uma ou outra casa pontilhada ali e acolá, de água abundante nas cheias, onde lavadeiras e engomadeiras se aninhavam daqueles lados, frequentado também por praticantes de caça esportiva e, mais recentemente, sob a guarda do Exército Brasileiro, serviu como área de treinamento militar, foi considerada como Unidade de Conservação de interesse local pelo SMUC (RODRIGUES, 1985).

Criado pelo decreto nº 1470 de 9 de julho de 2000, com a denominação de Parque da Cidade Mãe Bonifácia, foi construído a partir de então com recursos de uma empresa multinacional, como medida de compensação pelos impactos ambientais causados pela instalação da usina termoelétrica no Distrito Industrial de Cuiabá.

Antes da inauguração, chegou a ser sugerido, em homenagem ao Exército, que o parque fosse intitulado Marechal Rondon, porém, prevalecendo à histórica designação popular, foi inaugurado, em 23 de dezembro de 2000, com o nome da velha negra que, por habitar aquele espaço, tornou-o conhecido.

### **3.1.3 Infraestrutura**

O Parque possui três Portais de acesso, 6.961 Km de trilhas pavimentadas, três estações de exercícios, mirante, praça cívica onde são promovidos eventos culturais, a Casa Grande, onde funcionam a administração da sede de Secretaria do Estado de Meio Ambiente – SEMA, além de exposições.

A extensão do Parque é cortada pelos córregos Mãe Bonifácia e Caixão que fazem parte da micro-bacia do Ribeirão da Ponte.

A cobertura vegetal apresenta três gradientes: Mata Ciliar, margeando os córregos, afastando-se do curso d'água um Cerradão, e o Cerrado Stricto sensu nos terrenos mais elevados (GUARIM & VILANOVA 2008).

### **3.1.4 Caracterização macrometeorológica**

Para este trabalho, foram utilizados os dados registrados pela estação meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon em Várzea Grande, MT, a 9 km de Cuiabá, com a finalidade de descrever o comportamento do clima local no período do estudo, de junho de 2014 a março de 2015, considerando as variáveis Temperatura e Umidade Relativa do ar e Precipitação, cujos dados estão registrados na Tabela 3.

A análise das variáveis climáticas permitiu afirmar que, segundo a caracterização macroclimática de Cuiabá, elaborada por Campelo Júnior et al. (1991), apresentaram um comportamento típico para a região ao longo de todo o período do estudo. Não houve precipitação em agosto; a mínima ocorreu em junho e a máxima em fevereiro. Em relação às temperaturas, as máximas ocorreram em setembro, outubro e novembro, três meses seguidos, enquanto que a mínima foi em julho, consequência da invasão de Massas Polares do Atlântico que atingiram a região entre os meses de junho e agosto.

No período da estação seca, que para nossa região ocorre de abril a outubro, segundo Maitelli (1994), a baixa umidade relativa do ar atinge valores críticos, nas horas mais quentes do dia. Esta é responsável por elevadas amplitudes térmicas diárias, os maiores registros ao longo do ano. Na estação chuvosa, a umidade relativa do ar mantém-se sempre elevada, especialmente nos dias de registros de precipitações, estabilizando a temperatura do ar, de forma a não ocorrência de grandes oscilações desta variável ao longo do dia.

**TABELA 3** - Dados da Estação Meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon

Ano	Mês	Temperatura média (°C)	Umidade Relativa média (%)	Precipitação total (mm)
2014	Junho	25	73	9,2
	Julho	23	71	48,6
	Agosto	26	55	0
	Setembro	29	59	46,9
	Outubro	29	67	50,2
	Novembro	29	70	231,3
	Dezembro	27	75	155,9
2015	Janeiro	28	73	270,9
	Fevereiro	27	77	328,6
	Março	27	78	320,1

FONTE: Estação Meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon 2015.

### 3.2 TRANSECTO MÓVEL

Até a década de noventa, pouco havia se avançado na utilização de equipamentos sofisticados, sobretudo em estudo de ambiente atmosférico no Brasil, devido ao seu elevado valor. A partir dos anos noventa, o emprego de miniestações meteorológicas automáticas começou a ser utilizado. Mesmo assim, os dados eram pontuais, devido ao alto custo dessas estações (MENDONÇA, 2003).

A partir de então, iniciou-se a massificação da utilização da técnica de medidas móveis em transectos. As medidas móveis são usualmente utilizadas para detalhar a distribuição horizontal das variáveis do clima. Nesse método, os sensores são normalmente instalados em veículos ou carregados manualmente por uma pessoa ao longo de um trajeto específico do ambiente de estudo.

O método dos transectos móveis é de grande utilidade, pois permite avaliar o comportamento da temperatura e umidade do ar em cada intervalo de percurso e cobre grande parte da área de estudo, garantindo a acurácia das medidas. Esse

método vem sendo usado largamente, por possibilitar e multiplicar o número de observações, se comparado com estações fixas, propiciando um maior detalhamento da camada atmosférica, favorecendo a análise microclimática (MAITELLI, 1994, GARTLAND, 2010).

A utilização desta técnica requer certos cuidados como a duração do percurso, pois em trajetos longos, a diferença de tempo entre a primeira e a última medida pode ser significativa, o que pode interferir nos resultados (MAITELLI, 1994; PEZZUTO, 2007; GARTLAND, 2010), além do que a proteção dos sensores contra radiação solar e a posição dos instrumentos são de extrema importância para a acurácia das medidas.

Em diversos estudos a respeito do microclima, o tempo de percurso utilizando a técnica de transecto não ultrapassa o tempo de 1 hora. Por exemplo, nos trabalhos de Brandão (2009), Cox (2008) e Viana (2008), os transectos variaram de 30 minutos à 1 hora. Ao se tomar esses cuidados, a técnica de medidas móveis pode ser empregada plausivelmente. Tendo isso em vista, optou-se, neste trabalho, em se adotar a técnica do transecto móvel.

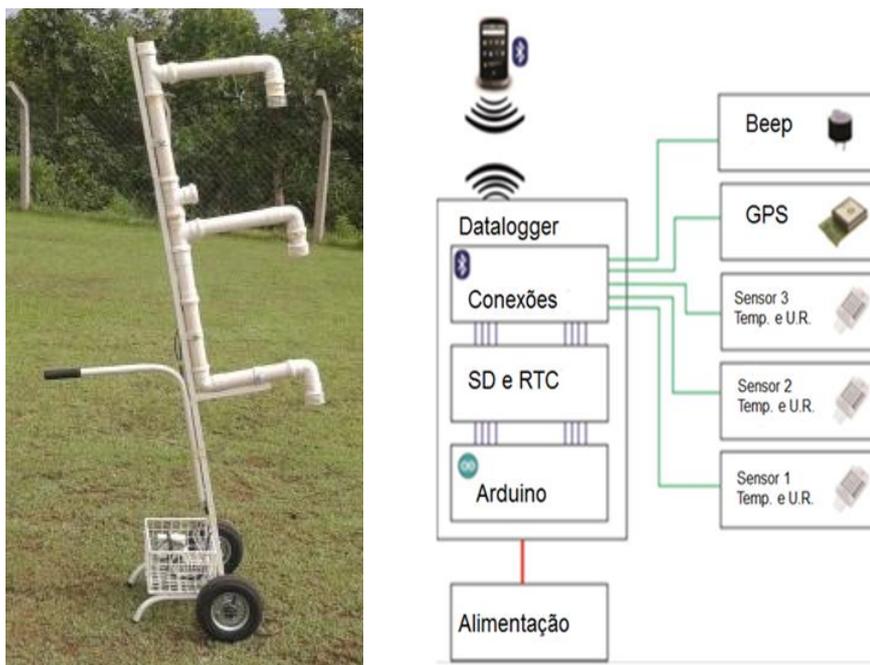
### **3.2.1 Escolha do Transecto**

No transecto, buscou-se contemplar as diferentes topografias e ocupação do solo, observados por meio da combinação de dados cartográficos e visitas em campo. O transecto foi 5,35 km, adequando-se as recomendações técnicas de não ultrapassar à uma hora e proteção dos sensores contra a radiação solar.

Próximo à Praça do Cerrado, na entrada principal do Parque, há um posto para prática de exercícios, onde acontece a maior concentração de visitantes, por esse motivo foi escolhido como o ponto inicial do transecto.

## **3.3 INSTRUMENTAÇÃO**

O sistema de coleta e armazenamento de dados *Datalogger* é constituído por um conjunto de placas no padrão do Arduino, podendo ou não ser usado em conjunto com outros periféricos, desde que se respeite a pinagem, a tensão de alimentação e os critérios de *software*. A concepção desse modelo é apresentada na Figura 11, e o Termômetro de Globo ITWTG-2000, Figura 12.



**FIGURA 11** - *Datalogger* na estrutura e Diagrama esquemático  
ELAB: Pereira, (2013)



**FIGURA 12** - Termômetro de Globo ITWTG-2000

### 3.3.1 Estrutura de suporte dos sensores

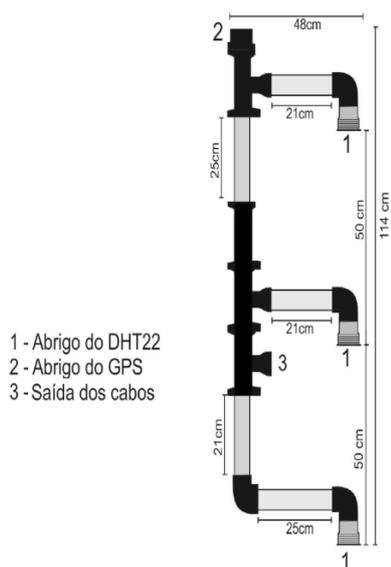
Para melhor fixação de todos os sensores, bem como a acomodação da fixação que se conecta os sensores ao equipamento, foi produzida uma estrutura geral que desse suporte a sua fixação.

Com base nessas informações, pensou-se em um conjunto de materiais que fosse relativamente fácil de encontrar no mercado local, chegando assim na utilização de canos de PVC de 50 mm.

A escolha dos canos de PVC de 50 mm foi devido ao seu diâmetro interno o que facilita a passagem dos fios, pela cor branca que ajuda na reflexão da luz solar, diminuindo a absorção de calor, pela espessura da parede do cano por possibilitar certo grau de rigidez e por possuir um conjunto de conexão como: curvas e luvas que possibilitam moldá-lo da forma necessária a esse requisito (Figura 13). A esse conjunto de estrutura de PVC equipado com sensor de temperatura, umidade relativa (1) e GPS (2) ilustrado nas Figuras 14 e 15 denominado *Datalogger*.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM), entidade internacional ligada à ONU, que coordena as atividades operacionais na área das Ciências Atmosféricas, estabelece normas e alturas padronizadas para instalação dos instrumentos meteorológicos, portanto, o conjunto sensor de temperatura e a umidade relativa do ar devem ser efetuados a uma altura entre 1,25 a 2,00 m acima do solo.

Com isso em mente e posto que o objetivo foi estimar um gradiente de temperatura e umidade relativa, e com eles referentes para os balanços de massa e energia no *footprint* do *Datalogger*, os sensores, seguindo orientação dada por Oliveira (2013), foram distribuídos em três níveis: o primeiro sensor está a 0,75m do solo, a distância entre o segundo e o terceiro sensor é de 0,50m perfazendo assim uma distância de 1,75m do último sensor ao solo, conforme apresentado na Figura 13.



**FIGURA 13** - Estrutura de PVC de suporte dos sensores de Temperatura, Umidade Relativa e GPS



**FIGURA 14** - Sensor de temperatura e umidade relativa DHT22.  
FONTE: AOSONG (2013).

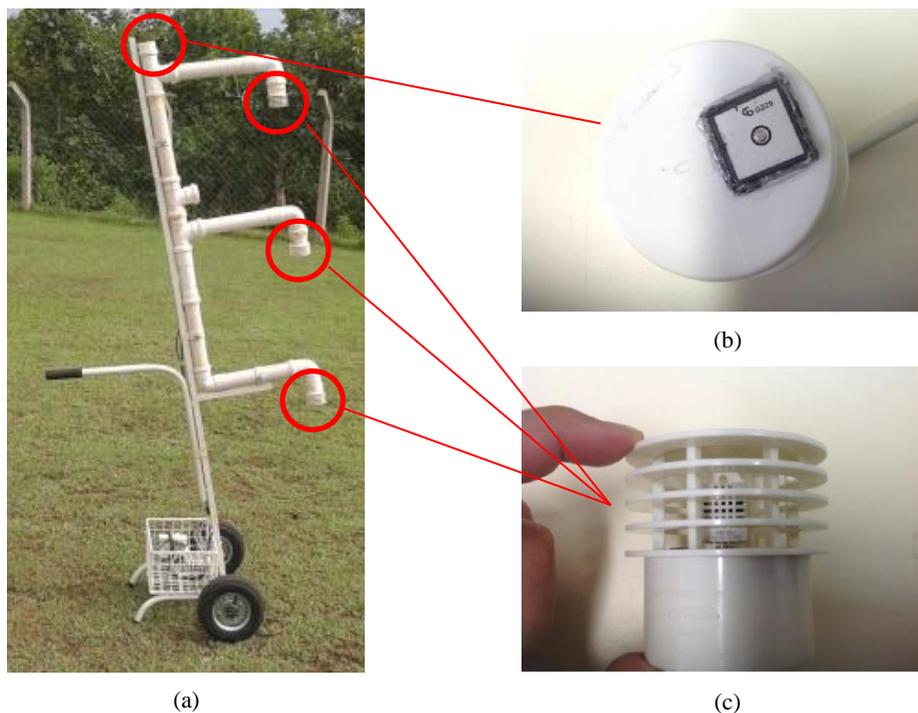


**FIGURA 15** – GPS - SKM53.  
FONTE: SKYLAB (2010).

O sensor de temperatura e umidade relativa DHT22 (Figura 14), também conhecido como AM2302 ou DHT03, é um sensor digital de temperatura e umidade relativa do ar, encapsulado em uma estrutura de plástico branco, tendo ele um baixo consumo energético, com faixa de leitura de umidade 0-100% UR, temperatura -40 ~ 125°C, acurácia de Umidade + - 2% e Temperatura 0,1°C.

O GPS - SKM53 (Figura 15) é um sensor com antena embutida, baseado no chip de alto desempenho da MediaTek 3327 com sensibilidade Tracking -165 dBm, Acquisition -148dBm, acurácia posição 3.0m 3D RMS, velocidade 0.1m/s, tempo (PPS) 60ns RMS.

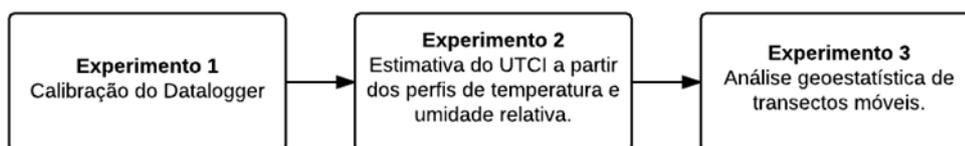
Para maior praticidade no deslocamento dentro do Parque, a estrutura de suporte de sensores, foi fixada num carrinho de metal, conforme ilustrado na Figura 16 (a) com detalhes do GPS (b) e do abrigo do sensor de temperatura e umidade relativa (c), com caixa para abrigar a bateria, equipamento de armazenamento dos dados e um suporte para conduzir o carrinho.



**FIGURA 16** - Datalogger na estrutura de metal (a) com detalhes do GPS (b) e do abrigo do sensor de temperatura e umidade relativa (c).

### 3.4 EXPERIMENTOS

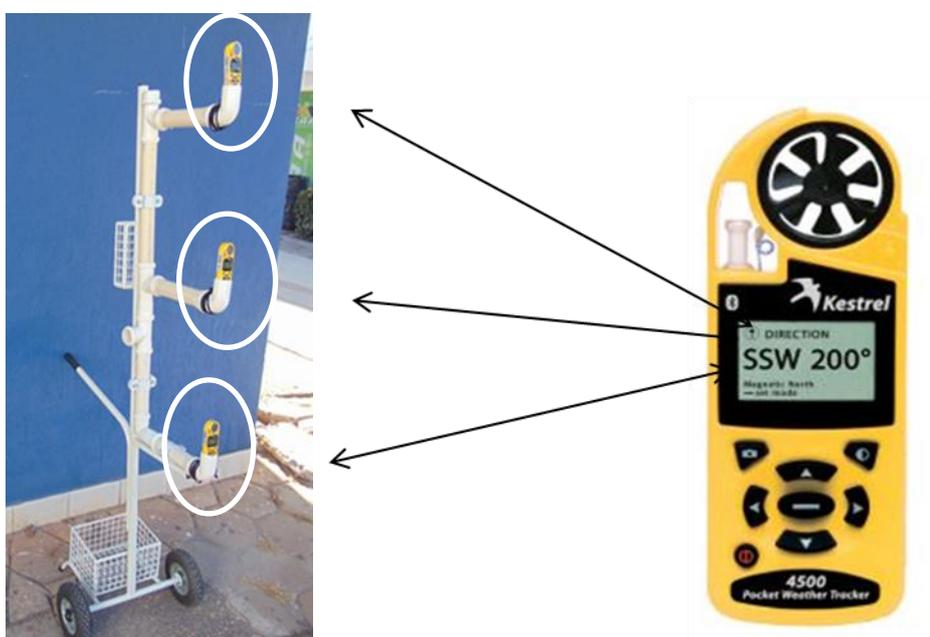
O esquema geral dos modelos e experimentos estatísticos, desenvolvidos, está disposto na Figura 17 e serão discutidos nos tópicos a seguir, tendo sido operacionalizados com o suporte dos *softwares* IBM SPSS 23.0 e ArcGis 10.2.



**FIGURA 17** - O esquema geral dos modelos e experimentos estatísticos.

### 3.4.1 Experimento 1: Calibração do *Datalogger*

Foi desenvolvido um experimento de calibração, mediante a coleta de dados simultâneos nas mesmas condições do experimento final de um transecto móvel no Parque Mãe Bonifácia, com o *Datalogger* e um aparato composto de uma estrutura de suporte com alturas e disposições idênticas a Figura 16, com três Miniestações Kestrel 4500 – Figura 18. A calibração foi efetivada pelo teste pareado de Wilcoxon ( $\alpha > 5\%$ ) e correlação de Kendall ( $\rho = 0.999$ ,  $\alpha = 0.000$ ).



**FIGURA 18** - Aparato composto por três Miniestações KESTREL 4500.

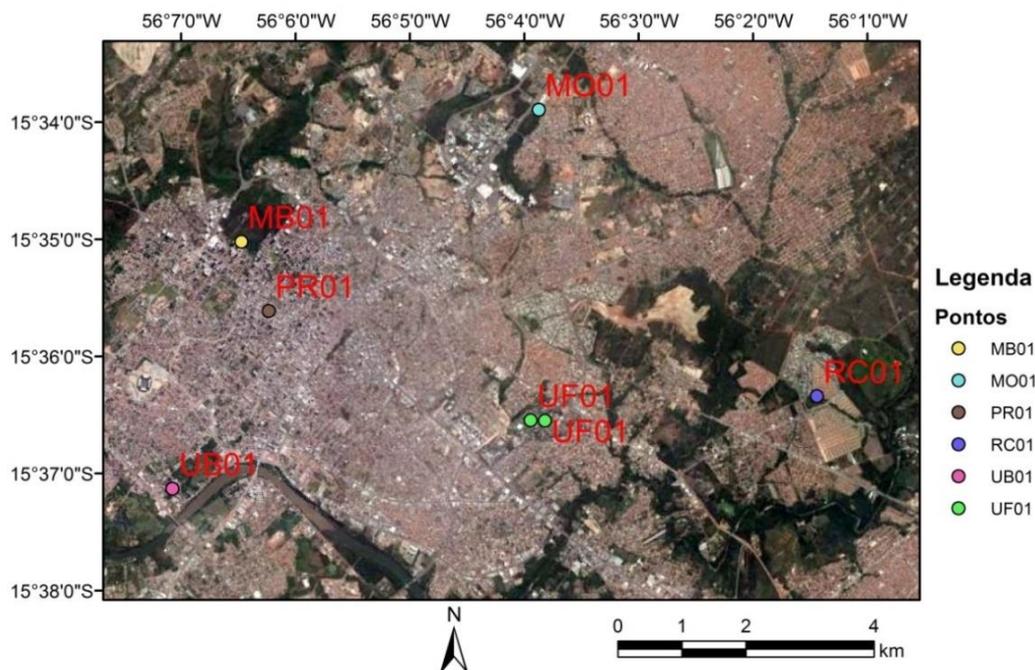
### 3.4.2 Experimento 2: Estimativa do UTCI a partir dos perfis de Temperatura e Umidade Relativa

Após a calibração do *Datalogger*, foram realizadas medidas dos perfis de temperatura e umidade relativa em vários pontos da cidade, com características diferentes quanto à topografia, a região e em diferentes locais: arborizado, com solo nu, com solo revestido, buscando a máxima variabilidade para as condições de operação, tendo como referência os dados meteorológicos estimados pelo Termômetro de Globo ITWTG-2000, Figura 12.

Foram coletados dados em trinta e três pontos em ambiente aberto, conforme Figura 19, estabelecidos dias com condições de tempo atmosférico ideal, ou seja, céu

claro ventos fracos (OKE,1982) em todas as estações do ano, em horários próximos das 9h e às 16h, selecionados de modo a maximizar a variabilidade das condições ambientais, sendo os seguintes:

- Quatro pontos no **Parque Estadual Massairo Okamura** (MO-01), localizado na Avenida Historiador Rubens de Mendonça, em Cuiabá, área de preservação ambiental.
- Quatro pontos no **Residencial Coxipó** (RC-01), condomínio fechado, com aproximadamente 200 casas, sitiado de vegetação nativa com infraestrutura: ruas asfaltadas, área de lazer para crianças.
- Cinco pontos na **Universidade de Cuiabá, Campus Barão** (UB-01), situada na Avenida Barão de Melgaço, com quatro blocos de dois andares, cada um com jardim gramado e pequeno arbustos, calçada e estacionamento revestido por asfalto.
- Dez pontos na **Universidade Federal de Mato Grosso** (UF-01), em Cuiabá, que, pelo tamanho do Campus, tem uma variedade de ambientes externos com bosques, jardins, estacionamento externo em solo nu e revestido com asfalto, parque aquático, propiciando assim diferentes ambientes para fazer medição.
- Cinco pontos em **Praças** (PR-01), com características diferentes quanto à localização, umas no centro da cidade em local de tráfego intenso de veículo, cercado de comércio com intenso movimento de pessoas, nos bairros, em local bem arborizado, justamente para verificar as diferentes medidas das grandezas meteorológicas.
- Cinco pontos no **Parque Mãe Bonifácia** (MB-01), onde apresentam as trilhas com diferentes topografias.



**FIGURA 19** - Pontos de medição com o *Datalogger* e com Termômetro de Globo  
**FONTE:** Google Maps, 2015.

Os pontos de coleta dos dados meteorológicos foram distribuídos, como vistos acima, com a estrutura do *Datalogger* fixado no carrinho de metal, programada para registrar os dados de temperatura e umidade relativa, a cada cinco segundos, em três níveis para verificar gradiente da temperatura e umidade e o Termômetro de Globo num tripé a um metro do solo, Figura 20.



**FIGURA 20** - Medição de variáveis meteorológicas com o *Datalogger* e com Termômetro de Globo.

A fim de reduzir a dimensionalidade dos dados coletados no *Datalogger*, foi aplicado um modelo de decomposição por análise de componentes principais (ACP), obtendo um percentual de variância explicada de 95%, não detectando diferença significativa no teste de medida de adequação de amostragem de Kaiser-Meyer-Olkin ( $\alpha > 5\%$ ), e diferenciando a matriz de correlação dos dados da matriz identidade pelo teste de Bartlett para esfericidade ( $\alpha < 1\%$ ).

Os coeficientes do primeiro componente principal (CP1) estão registrados na Tabela 4.

**TABELA 4** - Os coeficientes do primeiro componente principal

	<b>Componente</b>
T <sub>1</sub>	0,053746119
UR <sub>1</sub>	-0,03729187
T <sub>2</sub>	0,177672796
UR <sub>2</sub>	0,033779846
T <sub>3</sub>	0,057058549
UR <sub>3</sub>	0,032198822

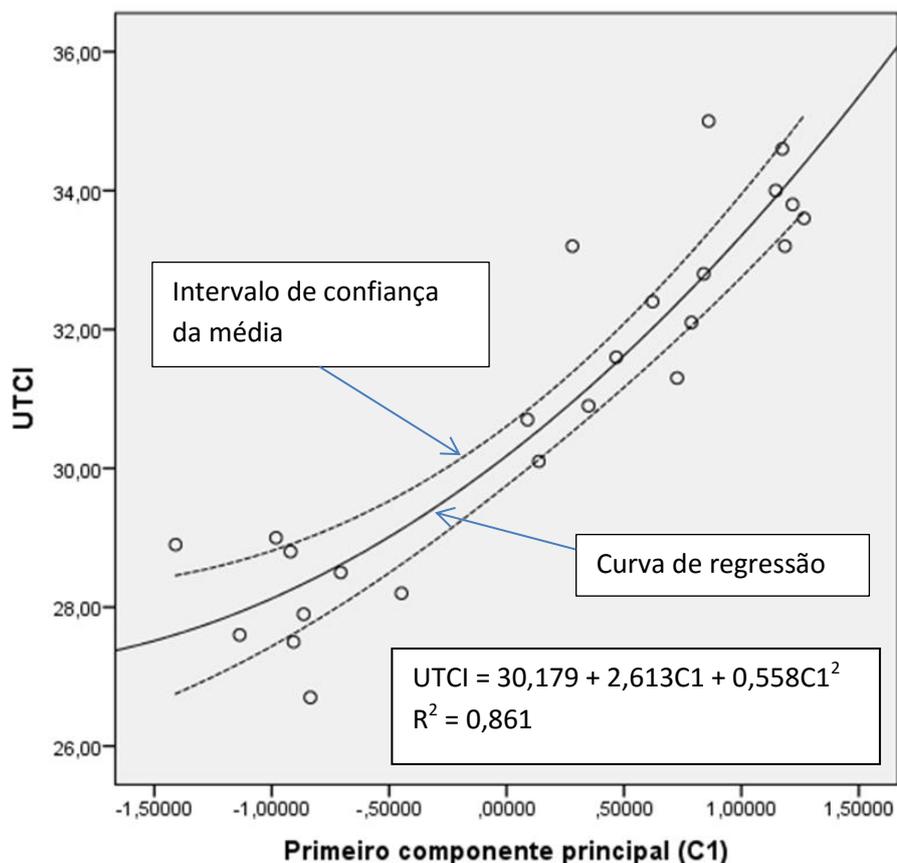
Ao resultado da ACP foi aplicado um modelo de regressão,  $R^2 = 0,861$  ( $\alpha < 1\%$ ), entre o UTCI e os componentes principais, Equações 1 e 2.

$$C1 = 0,054T1 + 0,178T2 + 0,057T3 - 0,037UR1 + 0,034UR2 + 0,032UR3 \quad (1)$$

Os valores de CP1 foram submetidos a uma análise de regressão quadrática tendo como variável dependente a UTCI, utilizando o *applet* disposto em UTCI (2015), a partir da temperatura de globo, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento igual a zero.

Os pressupostos de autocorrelação, ajuste dos resíduos a distribuição Normal e homocedasticidade, foram avaliados pela estatística de Durbin-Watson (DW=2.1,  $\alpha > 5\%$ ), teste de Kolmogorov Smirnov ( $\alpha > 5\%$ ) de Wald-Wolfowitz ( $\alpha > 5\%$ ), respectivamente. A representação gráfica desse modelo pode ser observada na Figura 21 e o modelo obtido na Eq.2.

$$UTCI = 30,179 + 2,613C1 + 0,558C1^2 \quad (2)$$



**FIGURA 21** - Curva de regressão quadrática entre o resultado, análise dos componentes principais e o UTCI

### 3.4.3 Experimento 3: Análise Geoestatística de Transectos Móveis

A pesquisa de campo foi estabelecida de forma a seguir as orientações do roteiro metodológico de Monteiro (2003), que propõe coletas de dados nos períodos de inverno e verão, neste caso, o período chuvoso e o seco, compreendendo assim as duas estações da região. Dessa forma, as medições foram realizadas nos dias 03 e 27 de junho de 2014, período quente e seco; nos dias 11 e 22 de março de 2015, no período quente e chuvoso, às 09h da manhã e às 16h da tarde, respectivamente.

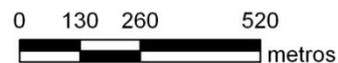
O sistema de coleta e armazenamento de dados do Parque foi feito com *Datalogger*, após a calibração. O transecto foi traçado, conforme a Figura 22, passando pelos locais mais usados pelos frequentadores.

Os dados registrados seguiram para análise semivariográfico, krigagem e geoestatística utilizando os programas ArcGis 10.2 e IBM SPSS 23.0.



**Legenda**

- Transecto
- ▭ Parque Mãe Bonifácia



**FIGURA 22** -Transecto móvel no Parque Mãe Bonifácia

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS**

### **4.1.1 Dados Climáticos dos dias de coleta da Estação Meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon.**

Cuiabá possui duas estações bem distintas, com um período chuvoso entre os meses de outubro a abril e seco de maio a setembro. O índice médio de precipitação anual de 1.500 mm e a temperatura média mensal varia entre 21,9°C e 31,3°C (MAITELLI, 1994; MAITELLI e VILANOVA, 2009). Há uma irregularidade mensal na direção do vento mais intenso, predominando no período seco a direção próxima de 180° que provém da chegada de frentes frias, e no período chuvoso predomina a direção próxima de 360°, devido ao fenômeno da zona de convergência do atlântico sul, assim como outras direções quaisquer (VIDAL, 2009).

Para o presente estudo, foram feitas medições de temperatura e umidade por transectos móveis nos períodos de seca, em 2014 e chuvoso, em 2015. Orientado por Oke (1982), foram selecionados dias com condições de tempo atmosférico ideal para caracterização de dia típico, ou seja, céu claro e ventos fracos nas duas estações do ano e os horários de coleta nos centroides da manhã, 9h e da tarde 16h.

Os registros obtidos com as medições realizadas com o *Datalogger*, no transecto foram comparados aos dados registrados pela Estação Meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon, conforme Tabela 5.

**TABELA 5** - Valores médios de temperatura do ar, umidade relativa do ar, registrados pelo *Datalogger* e da Estação do Aeroporto Marechal Rondon.

			<i>Datalogger</i>		Estação Aeroporto	
	Data	Hora	T(°C)	UR(%)	T(°C)	UR (%)
Seca	03/06/14	16:00	26,80	79	27,00	65
	27/06/15	09:00	28,84	63	29,00	51
Chuvoso	11/03/15	16:00	31,21	70	31,00	58
	22/03/15	09:00	29,12	79	30,00	62

Os dias de medição apresentaram céu claro, com características da região no período seco e chuvoso sem precipitação. O valor da temperatura registrado pelo *Datalogger* foi bem próximo dos valores registrados pela estação meteorológica do Aeroporto Marechal Rondon. As umidades relativas registradas no Parque Mãe Bonifácia foram as maiores, possivelmente, devido ao fato do Parque estar localizado em uma área bem arborizada, cortada por dois córregos: um que leva o seu nome e o outro córrego do Caixão, tendo assim a contribuição da evaporação dos córregos e da evapotranspiração das árvores na umidade relativa.

## 4.2 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

### 4.2.1 Semivariografia

Uma vez calculado o UTCI, a partir dos dados brutos, seus valores foram submetidos a ajustes semivariográficos, tendo como referência os modelos Exponencial, Esférico, Gaussiano e Estável. Sua validação cruzada foi efetivada pelo teste pareado de Wilcoxon e correlação de Kendall, Tabela 6. Os modelos com melhor ajuste foram utilizados para a krigagem ordinária, dos dados coletados, no transepto móvel.

**TABELA 6** Validação do teste pareado de Wilcoxon e correlação de Kendall

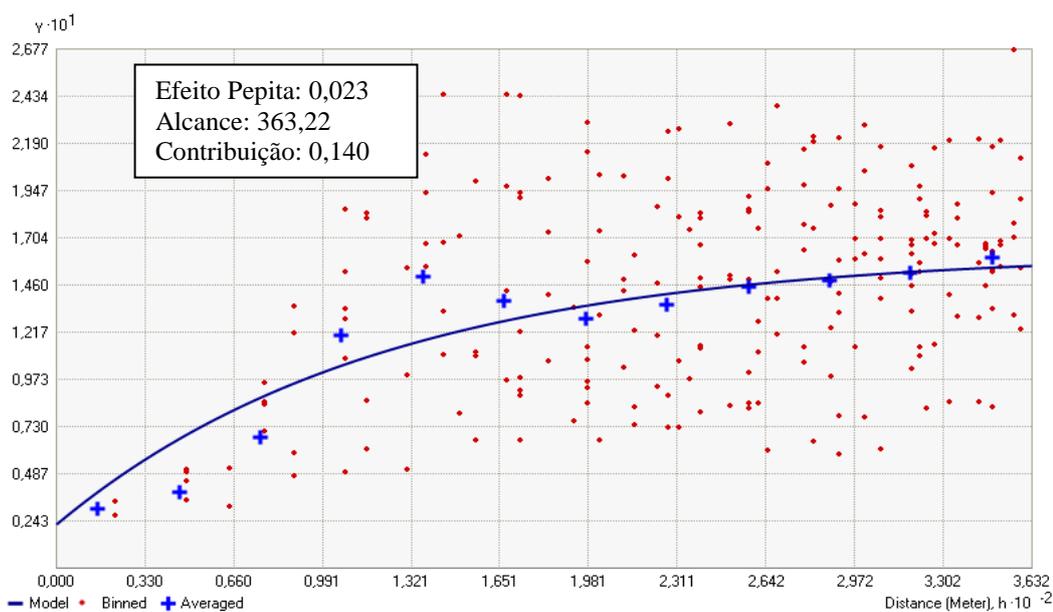
Estação	Período	Modelo	Nível de significância do teste de Wilcoxon a	Coefficiente de correlação de Kendall b	Efeito Pepita	Maior Alcance	Patamar
Chuvosa	Manhã	<b>Exponencial</b>	<b>0,817</b>	<b>0,816</b>	<b>0,023</b>	<b>363,2</b>	<b>0,140</b>
		Gaussiano	0,722	0,779	0,027	183,1	0,123
		Esférico	0,747	0,805	0,027	271,2	0,125
		Estável	0,722	0,779	0,027	183,1	0,123
	Tarde	Exponencial	0,620	0,847	0,000	649,9	0,237
		Gaussiano	0,512	0,792	0,012	361,7	0,210
		<b>Esférico</b>	<b>0,624</b>	<b>0,847</b>	<b>0,000</b>	<b>480,4</b>	<b>0,224</b>
		Estável	0,493	0,821	0,009	414,9	0,219
Seca	Manhã	Exponencial	0,629	0,894	0,006	456,9	0,481
		<b>Gaussiano</b>	<b>0,694</b>	<b>0,872</b>	<b>0,022</b>	<b>228,8</b>	<b>0,426</b>
		Esférico	0,780	0,864	0,000	323,3	0,459
		Estável	0,791	0,864	0,034	237,8	0,415
	Tarde	Exponencial	0,515	0,864	0,001	491,4	0,086
		Gaussiano	0,812	0,864	0,009	225,8	0,068
		Esférico	0,563	0,909	0,002	295,1	0,075
		<b>Estável</b>	<b>0,573</b>	<b>0,910</b>	<b>0,003</b>	<b>363,0</b>	<b>0,079</b>

a Estimado por 10000 amostragens por Monte Carlo.

b Estimado por 1000 reamostragens *bootstrap*.

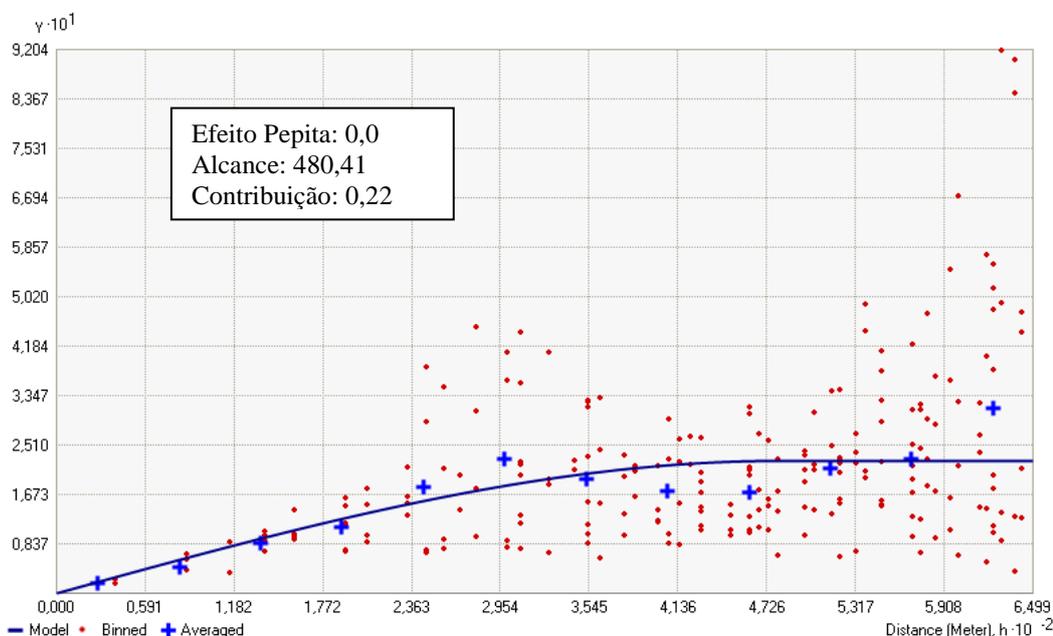
\*\* Nível de significância bilateral menor que 1%.

Na estação chuvosa, período matutino, Figura 23, o modelo de semivariograma que se ajustou foi o Exponencial, com um efeito pepita de 0,023. O efeito pepita reporta ao componente aleatório da variância, sendo um valor próximo a zero, possivelmente, indicador de dependência espacial. O alcance foi de 363,22 m, a partir desse ponto em diante, sendo esses valores de referência limite para dependência espacial entre as medições, uma vez que a variância da diferença entre pares torna-se invariante, a partir desse ponto.



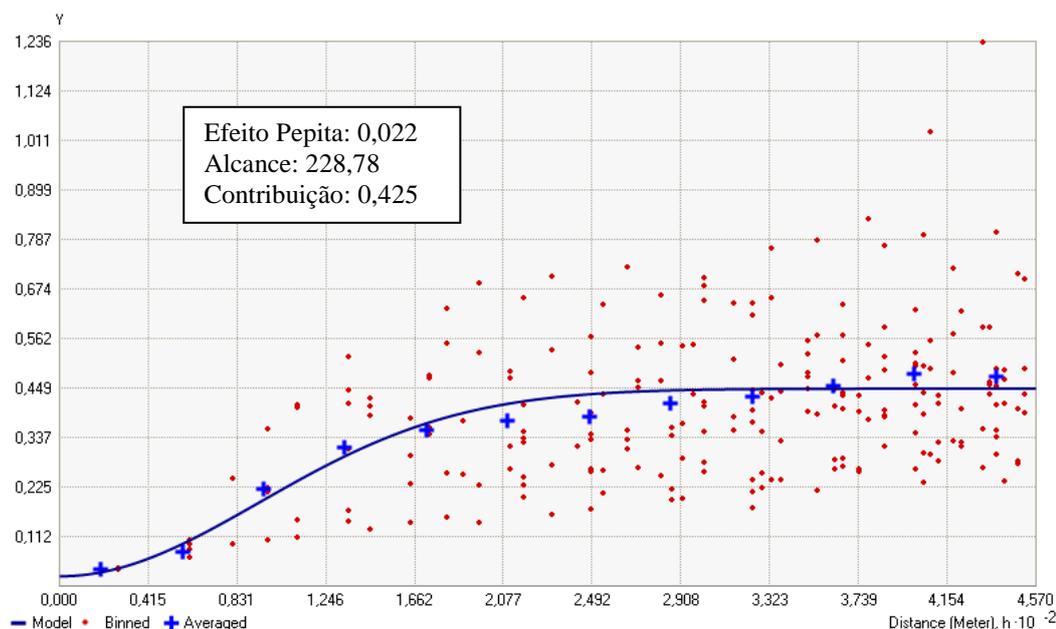
**FIGURA 23** - Semivariograma Exponencial estação chuvosa período matutino.

Na estação chuvosa, período vespertino, Figura 24, o modelo de semivariograma que se ajustou foi o Esférico. Não temos o efeito pepita, e o alcance foi de 480,41m sendo maior que no período matutino, indicando uma maior dependência espacial entre as medições.



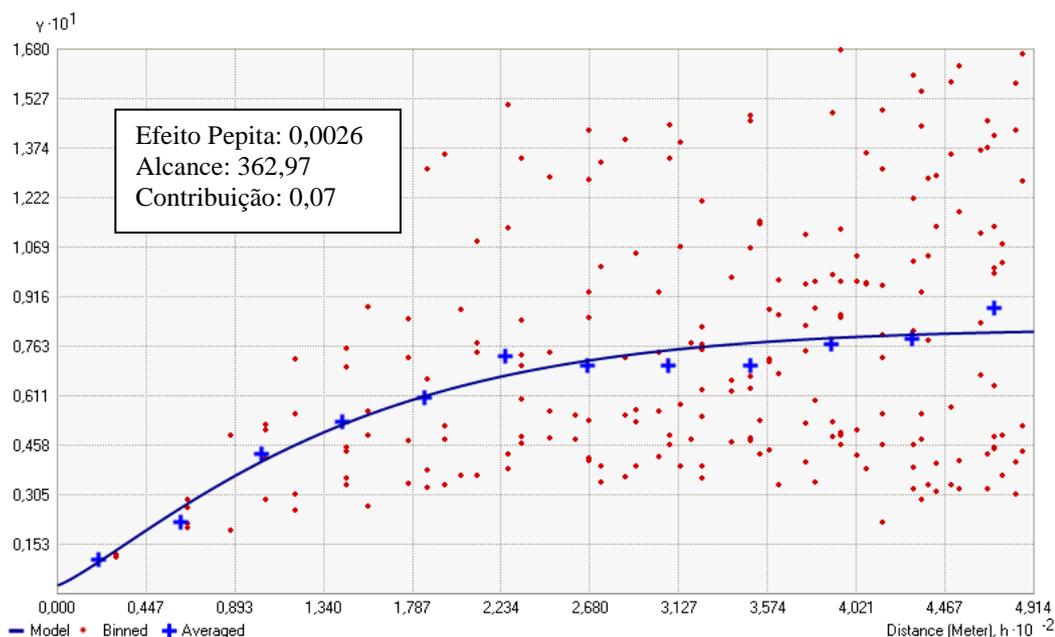
**FIGURA 24** - Semivariograma Esférico estação chuvosa período vespertino.

Na estação seca, período matutino, Figura 25, o modelo de semivariograma que se ajustou foi o Gaussiano. Apresentou um efeito pepita 0,022 alcance de 228,78m. A correlação espacial entre as amostras foi demonstrada próxima ao ponto zero e houve uma boa correlação espacial entre elas, até atingir o patamar, a partir desse ponto começou a independência espacial entre as amostras.



**FIGURA 25** - Semivariograma Gaussiano, estação seca, período matutino.

Na estação seca, período vespertino, Figura 26, o modelo de semivariograma que se ajustou foi o Estável. O efeito pepita foi próximo de zero 0,0026, tendo um alcance de 362,97m. Ambos, apresentaram indicativos de correlação espacial entre as amostras.



**FIGURA 26** - Semivariograma Estável, estação seca, período vespertino.

Na análise dos semivariogramas, pode-se observar que na estação chuvosa o valor do alcance foi maior e teve-se também o efeito pepita próximo de zero. Isso significa que, valores inferiores a esse, terão uma descontinuidade do semivariograma porque as distâncias são menores que a menor distância entre as amostras. Na estação seca, tem-se o efeito pepita e o alcance é menor. Pode-se perceber que houve uma boa correlação espacial entre as amostras, até atingir o patamar.

#### 4.2.2 Krigagem e Análise dos Pontos

Os modelos com melhor ajuste do semivariograma foram utilizados para a krigagem ordinária dos dados coletados, no transecto móvel, sendo realizado nas duas estações características da região (chuvosa e seca) e nos períodos matutino e vespertino.

O valor do Índice Climático Térmico Universal (UTCI), determinado nas trilhas, variou de um mínimo 27,16 a um máximo 30,55, com arranjos variados, conforme a combinação entre Estação e Período.

Para fins de análise, selecionou-se quatro pontos em locais estratégicos do Parque Mãe Bonifácia, Figura 27, tomando por critério o contraste entre os valores de UTCI obtidos e a configuração dos loci.

Na estação chuvosa, período matutino, Figura 28, a configuração do mapa apresenta duas ilhas de frescor: uma próximo ao ponto 3, ao noroeste do Parque, e outra menor, ao sudoeste. São locais com mediano de 27, próximos aos córregos Mãe Bonifácia e do Caixão, respectivamente, com trilhas sombreadas por árvores, características da região, de médio porte.

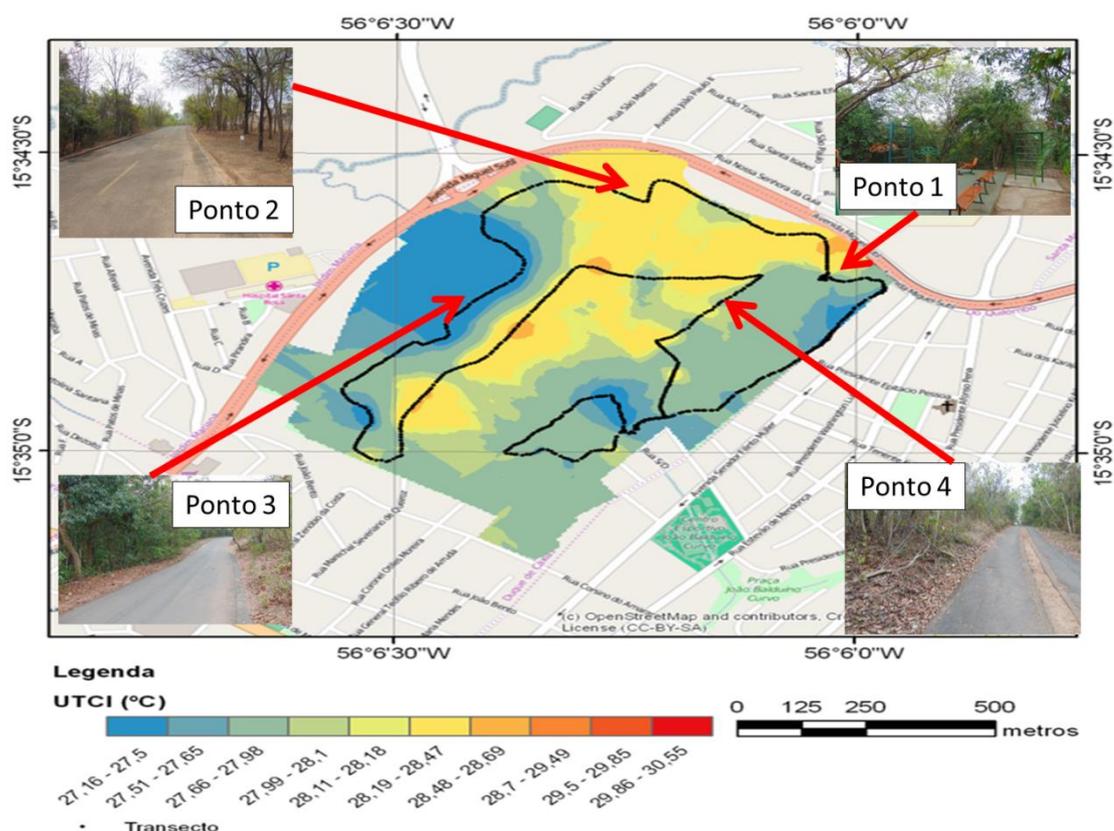
Em contraste, teve-se os pontos 1, 2 e 4 que caracterizam uma região de calor aproximadamente triangular com uma das bases ao norte margeando a Avenida Miguel Sutil. Essa forma sugere uma influência dessa avenida, cujo calor fornecido foi gradativamente reduzido, à medida que adentrava no Parque. Em detalhe:

- Ponto 1 – localizado num ambiente muito frequentado, estão dispostos para exercícios físicos, seu solo é revestido com cimento, e está próximo a uma mata bem preservada com árvores de grande porte. Nesse ponto, o valor do UTCI foi de 27 caracterizando um moderado térmico, conforme Faixa de UTCI, disposto na Tabela 1.
- Ponto 2 – obteve um UTCI médio de 28, sendo próximo da Avenida Miguel Sutil uma via asfaltada com grande fluxo de veículos. Teve seu reflexo no índice de UTCI, a pesar de ter sombras esparsas na trilha.
- Ponto 4 – o valor de índice de UTCI médio foi de 28 por uma longa extensão. Nesse local, a trilha possui pouca arborização tendo o solo revestido com asfalto e pequena faixa de solo nu. Predomina vegetação características de cerrado com árvore de pequeno porte e bem espaçadas perfazendo espaços com poucas sombras.





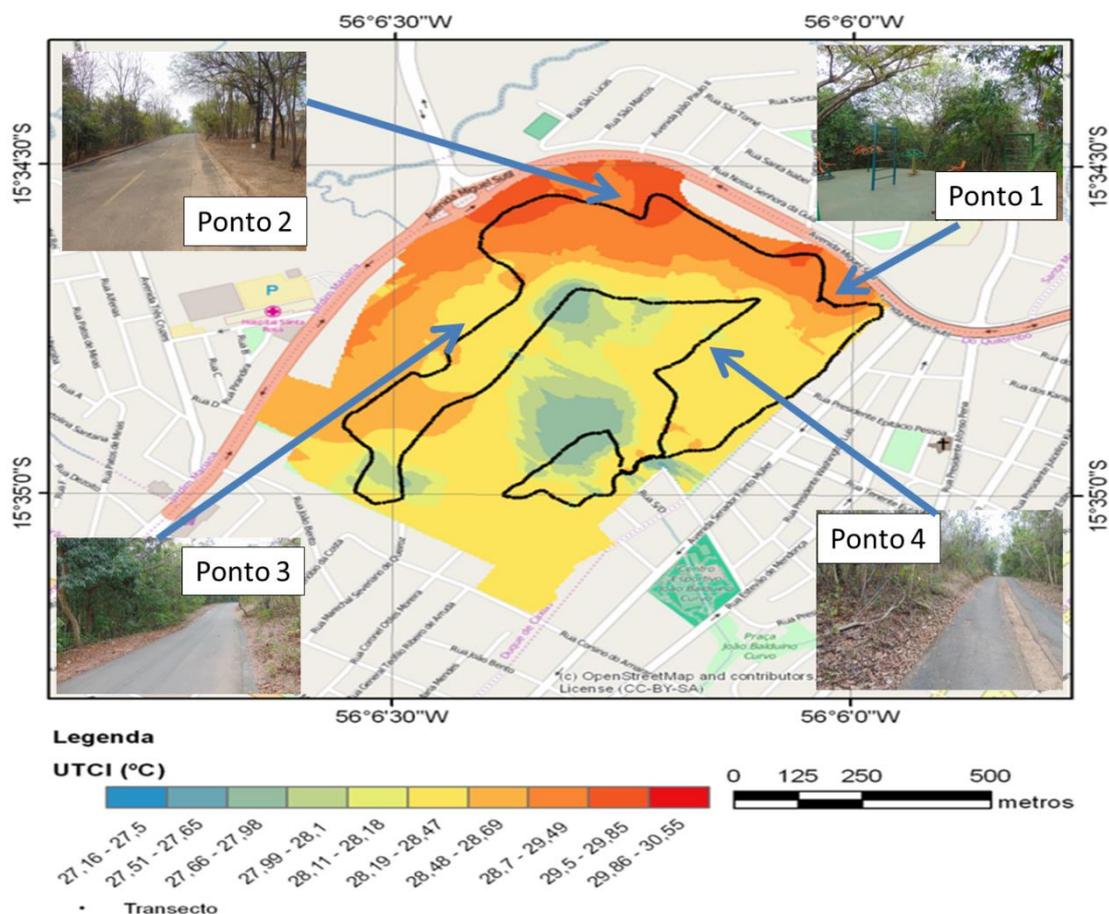
**FIGURA 27** - Pontos Analisados das trilhas, conforme Índice de conforto UTCI



**FIGURA 28** - UTCI estação chuvosa período matutino.

A estação chuvosa, período vespertino, Figura 29, em contraste com o obtido no período matutino, apresenta zonas de frescor menores e mais centralizadas. Houve prevalência em região com UTCI maior que 28.18, em destaque uma zona de calor, margeando o Parque a noroeste e norte, nas proximidades da Avenida Miguel Sutil. Amiúde, observa-se que na trilha do ponto 1 até o ponto 2, houve predominância de índice de UTCI elevado em torno de 30, possivelmente relacionado ao seu relevo, resultando em maior incidência da radiação solar, até por volta das 16h30.

- Os pontos 3 e 4 obtiveram o índice de UTCI mais ameno, em torno de 28. Possivelmente, devido a maior interceptação da radiação solar pela cobertura vegetal.



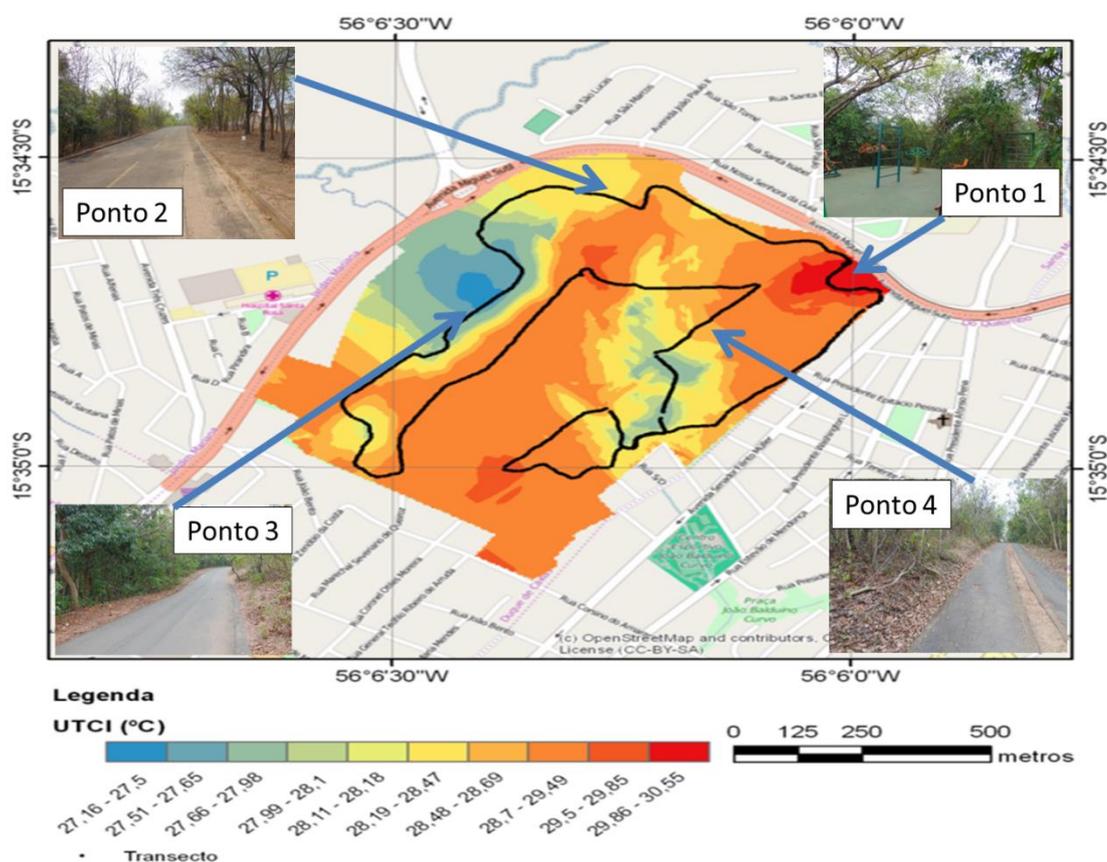
**FIGURA 29** - UTCI estação chuvosa, período vespertino.

A estação seca, no período matutino, Figura 30, comparada com a estação chuvosa, período vespertino, apresentou valores de UTCI mais elevado que levou a classificar boa parte do Parque como na categoria de moderado estresse térmico. Sua estrutura também é semelhante quanto à presença de ilha de frescor, aqui também a noroeste e sudeste. As zonas de calor são mais pronunciadas, atravessando totalmente o Parque no sentido nordeste-sudoeste, apresentando ainda uma destacada ilha de calor a nordeste. Em detalhe:

- No Ponto 1, o índice de UTCI está em torno de 30, só não está maior, devido à interceptação da radiação solar pelas árvores de grande porte,

reportando diminuição do índice de área foliar, característica dessa estação o que permite maior incidências da radiação solar.

- No ponto 2, o índice de UTCI foi em torno de 28. Possivelmente se considerar que esses dados foram obtidos na estação seca, a sensação de conforto térmico sofreu uma atenuação, devido às árvores estarem próximas da trilha.
- No ponto 3, o índice de UTCI obtido foi em torno de 27, sendo moderado estresse térmico por calor.
- No Ponto 4, o índice é de 28 ao longo da trilha aberta que, para o relevo do local, maximizou a incidência da radiação solar.

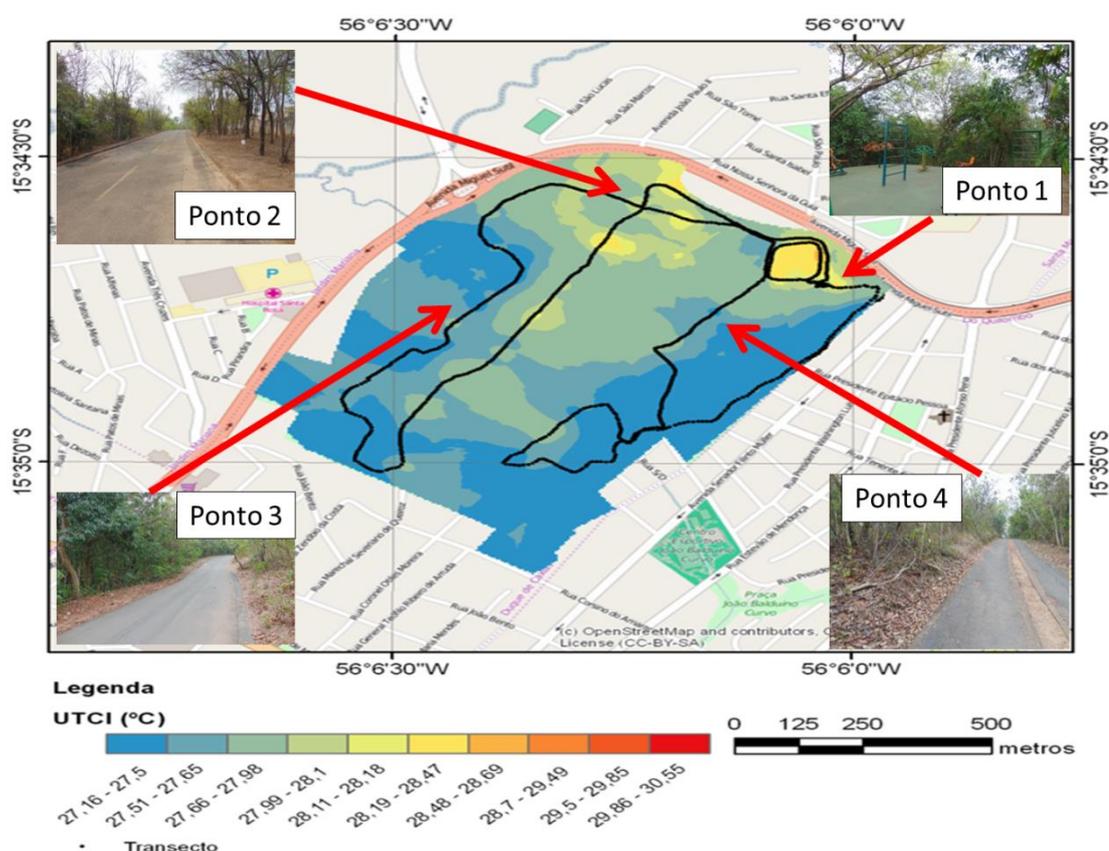


**FIGURA 30** - UTCI estação seca, período matutino.

Na estação seca, período vespertino, Figura 31, obteve-se os menores valores de UTCI. Não obstante ter sido um dia típico com valores e condições aderentes às normatizadas, observou-se, *post hoc*, que foram registradas pancadas de chuvas na região nos dois dias anteriores, afetando, possivelmente, os córregos e todo o lençol

freático. Na figura 31, observa-se que a maior parte das trilhas está com o índice de UTCI com valor em torno de 27. Os pontos 1 e 2 registraram maior valor de índice UTCI de 28. Nos pontos 3 e 4, o índice UTCI foi de 27, correspondendo a moderado estresse para o calor.

Em termos estruturais, observou-se uma maior homogeneização: a ilha de calor de formato triangular, observada para a estação chuvosa ampliou, tomando toda fronteira ao nordeste do Parque e as ilhas de frescor se uniram formando uma região em forma de U, com base ao sudoeste do Parque.



**FIGURA 31** - UTCI estação seca, período vespertino.

Em todas as combinações entre Estação e Período, a presença de vegetação nas ilhas de frescor, foi um fator favorável.

Amiúde, conforme Guarim e Vilanova (2008), a vegetação do Parque é composta por formações características do bioma cerrado, distribuída em, pelo menos, três estratos distintos: Mata de Galeria, Cerradão e Cerrado.

- A Mata de Galeria, que ocorre ao longo do curso d'água, e o Cerradão, ao longo de um vale afastando-se do curso d'água, são formações florestais nas quais são encontradas espécies de grande porte e perenifólias que contribuem o ano todo, com o processo de evapotranspiração e sombreamento.
- A Mata de Galeria e o Cerradão ocorrem no ponto 3 de forma mais íntegra e a Mata de Galeria é encontrada, também, no ponto 1, já de forma bastante alterada.
- O cerrado ocorre nas áreas mais elevadas do parque e é formado por árvores de porte médio e arbustos (VILANOVA e CHICHORRO, 2014). Essa formação coincide com os Pontos 2 e 4.
- É importante, ainda, considerar que os pontos 1, 2 e 3 estão próximos ao limite do parque e, por isso, das grandes avenidas e prédios que o circundam.

Resultados consonantes com Lombardo (1985), o qual remete a maior estocagem de energia aos componentes do tecido urbano, o que contribuiriam para manter o ar aquecido por mais tempo; enquanto que a remoção da vegetação e a redução de superfícies líquidas diminuiriam as taxas de evapotranspiração.

Além disso, possivelmente, a poluição do ar, via efeito estufa e aumento da insalubridade, bem como da introdução de calor pelas atividades urbanas contribui para elevar a sensação térmica, devido a esses fatores, à predominância do índice de UTCI foi classificada como desconfortável ( $UTCI > 26$ ).

## 5 CONCLUSÕES

O *Datalogger* e o aparato desenvolvido, especificamente, para este trabalho comportou-se de forma estável nas coletas de dados, não apresentando maiores dificuldades na sua operação e recolha.

O modelo estatístico proposto possibilitou a estimativa da UTCI a partir de perfis de temperatura e umidade relativa obteve um aproveitamento acima de 0.95 para o primeiro componente principal, e um  $R^2$  de 0.861 ( $\alpha < 1\%$ ) entre este e o UTCI.

Os ajustes semivariográficos, seguidos por krigagem foram avaliados como significativos ( $\alpha < 1\%$ ), a partir de procedimentos de validação cruzada, sendo esta efetivada pelo teste pareado de Wilcoxon e correlação de Kendall.

Para além do proposto, detectamos uma influencia da contribuição de chuvas em dias anteriores, mesmo com seleção aderente ao prescrito por Oke (1982) para seleção de dia típico, afetou o comportamento espacial do UTCI nos valores médios e nas formas das ilhas de frescor e de calor.

A presença de ilhas de frescor e de calor e sua dinâmica foram associadas à disposição espacial das trilhas no Parque, sendo predominante a presença de valores de UTCI maiores que 26 (desconforto).

## **6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Avaliação da influência do entorno no microclima no Parque numa escala de 200 em 200 metros partindo da Avenida Miguel Sutil na direção do centro do Parque.

Compor um modelo preditivo para os índices de conforto para o Parque com alcance de dez anos e comparar com os estudos feitos nesta tese.

Ampliar o protótipo para o uso do embarcado Raspberry Pi e uso de anemômetros e radiômetros.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ALVES, E. D. L. **CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA DO CAMPUS DE CUIABÁ DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO** 2011. 70 f Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Sol Energy**, v. 70, p. 295–310, 2001.

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332p, 1v.

BARROS, M. P. **ESTUDO MICROCLIMÁTICO ETOPOFÍLICO NO PARQUE MÃE BONIFÁCIA DA CIDADE DE CUIABÁ – MT** 2009. 147 f Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

BORGES, M. A. A. Compreensão da sociedade da informação. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 29, n.º. 3, set/ dez. 2000. Disponível em <http://www.scielo.br>>. Acesso em: 25 fev. 2001.

CONTI, J. B. **Clima e Meio Ambiente**. 5ª ed. São Paulo: Atual, 1998. 88p, v1.

COUTINHO, Antonio Souto. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho**. João Pessoa: Edições PPGE, 1998.

COX, Joe W. **Temperaturas Extremas**. In: FUNDACENTRO. Curso para Engenheiros de Segurança do Trabalho. São Paulo, 1973. v. 3, p. 684 – 711.

DUARTE, D. H. S. **A Reposição do Verde em Áreas Urbanas: Desmistificação e proposição de alternativas para o caso de Cuiabá**. 1997, Salvador. ANAIS DO IV ENCAC. Salvador, BA: FAUFBA/LACAM/ANTAC.

FROTA, SCHIFFER - **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. — 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2006.

GOMES, M. A. S; AMORIM, M.C.C.T.; arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de presidente prudente (SP)

**CAMINHOS DE GEOGRAFIA - REVISTA ON LINE v.7. set/2003**  
www.ig.ufu.br/caminhos\_de\_geografia.html ISSN 1678-6343 Caminhos de Geografia 7(10)94-106, set/2003

GUARIM, V. L. M. S.; VILANOVA, S. R. F. **Parques Urbanos de Cuiabá, Mato Grosso: Mãe Bonifácia e Massairo Okamura.** Entrelinhas EDUFMT, Cuiabá, MT, 2008.

LABAKI, L. C.; SANTOS R. F.; BARTHOLOMEI, B.; LOTUFO, C.; ABREU, L. V.; **vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos.** **Forum Patrimonial**, Mudanças climáticas e o impacto das cidades, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES-LABEE **Desempenho térmico de edificações**, Florianópolis, maio de 2011.142p.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002. Disponível em: <www.labee.ufsc.br/arquivos>. Acesso em: 15 abr. 2015.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T.; **a importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades.** **Revista Formação**, UNESP. SP nº13, p. 139 – 165, 2006.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles – O exemplo de São Paulo.** São Paulo: Hucitec, 1985.

MAITELLI, G. T. **Uma Abordagem Tridimensional do Clima Urbano em Área Tropical Continental: o exemplo de Cuiabá/MT.** Tese (Doutorado em Climatologia) – USP, São Paulo, SP, 1994.

MASCARÓ, L. R. de. **Ambiência Urbana.** 1. ed. Porto Alegre: Sagra – D.C. Luzzatto, 1996.

MENDONÇA, F. A.; DUBREUIL, V. **Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (região metropolitana de Curitiba / PR).** **R. Ra'ega**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005.

MONTEIRO .L. M.; ALUCCI. M. P.; **Comparação cruzada entre pesquisas laboratoriais e de campo em conforto térmico em espaços abertos urbanos – 2010.** **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 79-101, out./dez. 2010.

MONTEIRO .L. M.; ALUCCI. M. P.; **Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos – 2007.** **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P.; **Índices de conforto térmico em espaços urbanos abertos**. 2010 **Fórum Patrimonial**: ambiente construído e patrimonial sustentável . Belo Horizonte , v . 4 , n . 1 , j a n . / j u n . 2 0 1 0.

NETO, A. A. C. **ESTUDO BIOCLIMÁTICO NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO CUIABÁ-MT** 2007. 177 f Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

NINCE, P. C. C.; **VEGETAÇÃO E REVESTIMENTOS URBANOS: IMPLICAÇÕES NA SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS DO CAMPUS DA UFMT EM CUIABÁ-MT** 2013. 90 f Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

NOBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. S. **O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife**. Revista de Geografia (UFPE), v.28, n.1, p. 93-109, 2011.

OKE, T. R. **"Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites"**. Instruments and Methods of Observation Program, IOM Report No. 81, WMO/TD 1250, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland , 2004. Disponível em: <http://www.geog.ubc.ca/~toke/JournalPublications.htm>. Acesso em 14 de fevereiro de 2007

OLIVEIRA, A. G. **AVALIAÇÃO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DO SOLO EM RELAÇÃO À CONFORMAÇÃO URBANA EXISTENTE NA PRAÇA DO AEROPORTO MARECHAL RONDON EM VÁRZEA GRANDE-MT** 2008. 80 f Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

OLIVEIRA, A. S. **INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO ARBÓREA NO MICROCLIMA E USO DE PRAÇAS PÚBLICAS. CUIABÁ**, 2011. 146f. Tese (Doutorado) - Programa de Pósgraduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo SP: Agronômica Ceres, 1981.440p, 1v.

PIAIA, I. I. **Geografia de Mato Grosso**. EDUNIC, Cuiabá, MT, 1997.

SANTOS, F. M. M. **INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO DO SOLO NA VARIAÇÃO TERMOHIGROMÉTRICA NA CIDADE DE CUIABÁ-MT**. Cuiabá, 2012. 88f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

SCALISE W; **Parques Urbanos** - evolução, projeto, funções e uso. **Revista Assentamentos Humanos**, Marília SP, v4, n. 1, p17-24, 2002.

SILVA, I. M.; GONZALEZ, L. R.; FILHO, D. F. S.; **recursos naturais de conforto térmico: um enfoque urbano**. **Revista Soc. Bras. de Arborização Urbana**, REVSBAU, Piracicaba – SP, v.6, n.4, p. 35-50, 2011.

SOUZA, L. C. L. ; MATTOS, A. . **Ilha de calor e geometria urbana na cidade de São Carlos/SP**. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1997, Salvador. ANAIS DO IV ENCAC. Salvador,BA: FAUFBA/LACAM/ANTAC, 1997. p. 97-101.

VIANELLO, R. LEITE; ALVES, A. RAINIER, **Meteorologia Básica e Aplicada**. 1ª edição. Viçosa: Editora UFV, 2002. 449p, 1v.

VILANOVA, S.R.F.; GUARIM, V.L.M.S. Fragmentos de Habitat em Cuiabá-MT. In: GUARIM, V.L.M.S.; VILANOVA, S.R.F. (Orgs.). **Parques Urbanos de Cuiabá, Mato Grosso – Mãe Bonifácia e Massairo Okamura**. Cuiabá: Entrelinhas; EdUFMT, 2008. 112p.

VILANOVA, S.R.F; Chichorro, J. F. Cerrado: aspectos Florísticos e estruturais. IN: GUARIM, V.L.M.S.; VILANOVA, S.R.F. (Orgs.). **Parque da cidade: aspectos socioambientais : Mãe Bonifácia**. Cuiabá: EdUFMT, 2014. 133 p.

WEBB, C.G. — A “**Confort Graph**” for life in the tropics. New Scientist.

UTCI. *UTCI Calculator*. Disponível em:< <http://www.utci.org/utci/utci.php>>. Acesso em: 16/11/2015.