

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

***“EFEITOS DO USO DE TELHADOS VEGETADOS EM ILHAS DE  
CALOR URBANAS COM SIMULAÇÃO PELO SOFTWARE  
ENVI-Met”***

**KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI**

Orientadora: **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**

**CUIABÁ - MT**  
**2013**

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

***“EFEITOS DO USO DE TELHADOS VEGETADOS EM ILHAS DE  
CALOR URBANAS COM SIMULAÇÃO PELO SOFTWARE  
ENVI-Met”***

**KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI**

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

Orientadora: **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**

**CUIABÁ - MT**  
**2013**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

A553e Andrade Carvalho Rosseti, Karyna de.  
Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas  
com simulação pelo software ENVI-Met / Karyna de Andrade  
Carvalho Rosseti. -- 2013  
xx, 253 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso,  
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física  
Ambiental, Cuiabá, 2013.  
Inclui bibliografia.

1. Microclima urbano. 2. Modelo climático. 3. ENVI-Met. 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: EFEITOS DO USO DE TELHADOS VEGETADOS EM ILHAS  
DE CALOR URBANA COM SIMULAÇÃO PELO  
SOFTWARE ENVI-MET**

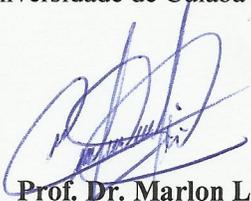
**AUTORA: KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI**

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 18 de dezembro de 2013, pela comissão julgadora:

  
**Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus  
Albuquerque Nogueira- Orientadora**  
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia  
UFMT

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

  
**Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes**  
**Examinador Interno**  
Instituto de Física - UFMT

  
**Prof. Dr. Marlon Leão**  
**Examinador Externo**  
Universidade do Estado de Mato  
Grosso/UNEMAT

  
**Profa. Dra. Érika Fernanda Toledo Borges Leão**  
**Examinadora Externa**  
Universidade do Estado de Mato Grosso/UNEMAT

## **DEDICATÓRIA**

Algumas marcas são deixadas na nossa vida, seja por pessoas que nos ajudam a construí-la, ou ainda nos apresentam projetos de sonho e sobretudo aquelas que nos desafiam a concluí-los. Este trabalho é dedicado a Deus, responsável pela construção da minha vida, a minha família pela força e incentivo na realização dos meus sonhos, e aos amigos do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, por me desafiarem a concluí-lo.

## **AGRADECIMENTOS**

- Aos meus Pais, Roque Rosseti Sobrinho e Ildete de Andrade Carvalho Rosseti, por todo o apoio concedido não só neste trabalho, mas em todas as atividades já desenvolvidas na minha vida;
- Ao meu irmão, Rafael de Andrade Carvalho Rosseti e a minha cunhada Laís Braga Caneppele, pelo incentivo e pela ajuda fornecida sempre que era preciso;
- Ao meu esposo, Igor Antonio Kuhnen, pelo amor, apoio e compreensão;
- A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pela dedicação e confiança na minha capacidade de concluir este trabalho;
- Aos meus colegas do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, pela amizade construída nestes anos de trabalho. Especialmente aos amigos Ivan Julio Callejas, Luciane Cleonice Durante, Flavia Maria de Moura Santos, Fernanda Miguel Franco, Osvaldo Borges Pinto Junior e Geraldo Aparecido Rodrigues Neves que contribuíram diretamente no desenvolvimento deste trabalho.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela dedicação e empenho no programa de pós-graduação.
- Ao professor Dr. Jorge Luís Nunes e Silva Brito, coordenador do projeto E-foto, pela atenção e auxílio fornecido durante a etapa de levantamento aerofotogramétrico.
- A professora Dr.<sup>a</sup> Eleonora Sad de Assis pela generosidade em nos ter fornecido seu amplo conhecimento sobre modelagem microclimática em sistemas urbanos e pela atenção que nos foi dada sempre que requisitada.
- A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XV
LISTA DE QUADROS .....	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XVII
RESUMO .....	XIX
ABSTRACT .....	XX
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. URBANIZAÇÃO E CLIMA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1. Escalas e Subcamadas atmosféricas do clima urbano .....</b>	<b>6</b>
2.1.1.1. Escalas de estudo do clima urbano.....	6
2.1.1.2. Camada Limite Atmosférica .....	8
2.1.1.3. Camada Limite Urbana .....	9
2.1.1.3.1. Camada de mistura (CM) (Mixed Layer – ML).....	10
2.1.1.3.2. Sub-camada inercial (SI) (Inertial Sub-layer – IS).....	10
2.1.1.3.3. Sub-camada rugosa (SR) (Roughness Sub-layer- RS) .....	10
2.1.1.3.4. Camada do Dossel urbano (CDU) (Urban Canopy Layer - UCL).....	11
2.1.1.4. Camada do Dossel Urbano (CDU) .....	12
<b>2.1.2. Balanço de Energia em Superfícies Urbanas .....</b>	<b>13</b>
2.1.2.1. Resultados sobre o balanço de energia em Cuiabá .....	15
<b>2.1.3. Zonas Climáticas Urbanas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4. Ilha de Calor Urbana .....</b>	<b>17</b>
2.1.4.1. Causas da formação da ICU .....	18
2.1.4.2. Estudos sobre a ICU .....	19
2.1.4.3. Comportamento Diário da ICU .....	20
2.1.4.3.1. Início do dia: .....	20
2.1.4.3.2. Momento de pico solar: .....	20
2.1.4.3.3. Final do dia .....	21
2.1.4.3.4. Noite .....	22
2.1.4.4. Mitigação dos Efeitos da ICU .....	22
<b>2.2. VEGETAÇÃO E CLIMA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1. Mecanismos de Arrefecimento da Vegetação .....</b>	<b>25</b>
2.2.1.1. Evapotranspiração .....	25
2.2.1.2. Sombreamento .....	27
<b>2.2.2. Telhado vegetado.....</b>	<b>28</b>
2.2.2.1. Classificação dos telhados vegetados .....	29
2.2.2.1.1. Telhados vegetados intensivos.....	29
2.2.2.1.2. Telhados vegetados extensivos .....	30
2.2.2.2. Equação do balanço de energia em coberturas verdes .....	30
2.2.2.3. Efeitos da implantação do Telhado vegetado .....	31
2.2.2.3.1. Mitigação dos efeitos da ICU.....	34
2.2.2.3.3. Orçamento energético dos edifícios .....	36
2.2.2.3.4. Aumento da vida útil da Cobertura .....	38

2.2.2.3.5.	<i>Implicações no manejo das águas das chuvas</i> .....	38
2.2.2.3.6.	<i>Impactos na redução da poluição</i> .....	40
2.2.2.3.7.	<i>Redução do ruído</i> .....	41
2.2.2.3.8.	<i>Melhorias do espaço verde</i> .....	42
2.2.2.3.9.	<i>Preservação do habitat</i> .....	42
2.2.2.3.10.	<i>Valorização do imóvel</i> .....	43
2.2.2.3.11.	<i>Custos de implantação e manutenção</i> .....	43
2.2.2.4.	<b>Considerações sobre telhados vegetados em Cuiabá</b> .....	44
2.2.2.4.1.	<i>Benefícios da implantação do Telhado vegetado</i> .....	44
2.2.2.4.2.	<i>Custos e dificuldades para a implantação do Telhado vegetado</i> .....	45
2.3.	<b>CONFORTO TÉRMICO – AMBIENTES EXTERNOS</b> .....	46
2.3.1.	<b>Índices de conforto</b> .....	47
2.4.	<b>TÉCNICAS DE PESQUISA EM CLIMA URBANO</b> .....	49
2.4.1.	<b>Experimentos de campo</b> .....	49
2.4.2.	<b>Experimentos em túneis de vento</b> .....	50
2.4.3.	<b>Simulações numéricas</b> .....	51
2.4.3.1.	<b>ENVI-Met</b> .....	52
2.5.	<b>FOTOGRAMETRIA</b> .....	53
2.5.1.	<b>Estações Fotogramétricas Digitais</b> .....	55
2.5.1.1.	<b>E-foto</b> .....	Erro! Indicador não definido.
2.5.2.	<b>Operações fotogramétricas</b> .....	56
2.5.2.1.	<b>Operações de preparação das imagens</b> .....	57
2.5.2.1.1.	<i>Orientação interior</i> .....	57
2.5.2.1.2.	<i>Orientação exterior</i> .....	57
2.5.2.1.3.	<i>Fototriangulação Analítica</i> .....	58
2.5.2.1.4.	<i>Retificação e normalização de imagens</i> .....	58
2.5.2.2.	<b>Operações de extração de informações</b> .....	59
2.5.2.2.1.	<i>Extração do Modelo Digital de Superfície (MDS)</i> .....	59
2.5.2.2.2.	<i>Geração de Ortoimagens</i> .....	62
3.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	63
3.1.	<b>PROCEDIMENTOS DE ESCOLHA DA ZONA URBANA DE ESTUDO</b> .....	63
3.1.1.	<b>Caracterização da Zona urbana – Jardim Califórnia</b> .....	65
3.1.1.1.	<b>Aspectos Gerais</b> .....	65
3.2.	<b>MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS</b> .....	69
3.2.1.	<b>Período de Medição</b> .....	70
3.2.2.	<b>Materiais e Método de Medição</b> .....	71
3.2.2.1.	<b>Sub-camada Rugosa (SR)</b> .....	71
3.2.2.2.	<b>Camada de Dossel Urbano (CDU)</b> .....	71
3.2.3.	<b>Definição dos Pontos de Medição</b> .....	72
3.3.	<b>MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS</b> .....	75
3.3.1.	<b>Materiais</b> .....	75
3.3.1.1.	<b>Par estereoscópico e Certificado de calibração da câmera</b> .....	76
3.3.1.2.	<b>Estação Fotogramétrica Digital</b> .....	76
3.3.1.3.	<b>GPS geodésico de precisão</b> .....	76
3.3.1.4.	<b>Par de óculos (Anaglifo)</b> .....	77
3.3.2.	<b>Procedimentos Metodológicos</b> .....	78
3.3.2.1.	<b>Aerofotogrametria</b> .....	78
3.3.2.1.1.	<i>Orientação Interior</i> .....	78
3.3.2.1.2.	<i>Orientação Exterior</i> .....	80
3.3.2.1.3.	<i>Extração Manual de Feições e Geração do MDS</i> .....	84

3.3.2.1.4.	<i>Validação do levantamento aerofotogramétrico</i>	86
3.3.2.2.	<i>Caracterização das superfícies urbanas</i>	86
3.3.2.3.	<i>Caracterização das espécies arbóreas</i>	89
<b>3.4.</b>	<b>MODELAGEM CLIMÁTICA – ENVI-MET</b>	<b>90</b>
3.4.2.	<i>Materiais</i>	92
3.4.3.	<i>Métodos</i>	94
3.4.3.1.	<i>Modelo Física Ambiental</i>	95
3.4.3.1.1.	<i>Levantamento da área</i>	95
3.4.3.1.2.	<i>Compatibilização da base de dados da Vegetação</i>	97
3.4.3.1.3.	<i>Edição do modelo</i>	97
3.4.3.1.4.	<i>Configuração do arquivo de entrada</i>	99
3.4.3.1.5.	<i>Simulação</i>	99
3.4.3.2.	<i>Modelo Jardim Califórnia</i>	99
3.4.3.2.1.	<i>Edição do modelo</i>	100
3.4.3.2.2.	<i>Definição da vegetação usada no telhado vegetado</i>	102
3.4.3.2.3.	<i>Configuração do arquivo de entrada</i>	103
3.4.3.2.4.	<i>Definição dos parâmetros para análise do Conforto do pedestre</i>	103
3.4.3.2.5.	<i>Simulação</i>	104
3.4.3.2.6.	<i>Definição dos cenários com telhado vegetado</i>	105
<b>3.5.</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA</b>	<b>106</b>
<b>4.</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>109</b>
<b>4.1.</b>	<b>RESULTADOS PRELIMINARES PARA CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE ENVI-MET</b>	<b>109</b>
4.1.1.	<i>Produto final da Aerofotogrametria – MDS e MDT</i>	109
4.1.2.	<i>Validação do levantamento aerofotogramétrico</i>	111
4.1.3.	<i>Caracterização das superfícies urbanas</i>	113
4.1.3.1.	<i>Albedo das superfícies do cânion e das telhas</i>	113
4.1.4.	<i>Caracterização das superfícies arbóreas</i>	114
4.1.5.	<i>Construção do Modelo no ENVI-Met</i>	117
4.1.5.1.	<i>Modelo para análise na Sub-camada Rugosa (SR)- Física Ambiental</i>	117
4.1.5.1.1.	<i>Levantamento da área</i>	117
4.1.5.1.2.	<i>Base de dados de Vegetação</i>	118
4.1.5.1.3.	<i>Produto da edição do modelo</i>	120
4.1.5.2.	<i>Modelo para análise na Camada do Dossel Urbano (CDU) – bairro Jardim Califórnia</i>	121
4.1.5.2.1.	<i>Produto da edição do modelo</i>	121
4.1.5.2.2.	<i>Vegetação usada no telhado vegetado</i>	123
<b>4.2.</b>	<b>VALIDAÇÃO</b>	<b>125</b>
4.2.1.	<i>Sub-Camada Rugosa (SR) – Física Ambiental</i>	125
4.2.2.	<i>Camada do Dossel Urbano (CDU) – bairro Jardim Califórnia</i>	129
4.2.2.1.	<i>Definição das equações de calibração</i>	134
<b>4.3.</b>	<b>EFEITOS DA VENTILAÇÃO NO MODELO</b>	<b>135</b>
4.3.1.	<i>Temperatura do ar</i>	137
4.3.2.	<i>Umidade relativa do ar</i>	140
<b>4.4.</b>	<b>EFEITOS DO TELHADO VEGETADO EM 10% DAS EDIFICAÇÕES</b>	<b>143</b>
4.4.1.	<i>Temperatura do ar</i>	143
4.4.2.	<i>Umidade relativa do ar</i>	153
4.4.3.	<i>Conforto Térmico do pedestre</i>	162
<b>4.5.</b>	<b>EFEITOS DO TELHADO VEGETADO EM 50% DAS EDIFICAÇÕES</b>	<b>164</b>
4.5.1.	<i>Temperatura do ar</i>	164
4.5.2.	<i>Umidade relativa do ar</i>	172
4.5.3.	<i>Conforto Térmico do pedestre</i>	182

<b>4.6.</b>	<b>EFEITOS DO TELHADO VEGETADO EM 100% DAS EDIFICAÇÕES .....</b>	<b>184</b>
4.6.1.	<i>Temperatura do ar .....</i>	184
4.6.2.	<i>Umidade relativa do ar.....</i>	193
4.6.3.	<i>Conforto Térmico do pedestre.....</i>	203
<b>4.7.</b>	<b>ANÁLISE GERAL DOS EFEITOS DO TELHADO VEGETADO NO MICROCLIMA URBANO .....</b>	<b>205</b>
4.7.1.	<i>No espaço dos quintais.....</i>	205
4.7.2.	<i>No espaço das ruas.....</i>	208
4.7.2.1.	<i>Temperatura do ar.....</i>	208
4.7.2.2.	<i>Umidade relativa do ar.....</i>	210
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>213</b>
5.1.	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>214</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIAS.....</b>	<b>215</b>
6.1.	<b>BIBLIOGRAFIAS CITADAS .....</b>	<b>215</b>
6.2.	<b>BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....</b>	<b>237</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>		<b>239</b>
<b>APÊNDICE 1.....</b>		<b>1</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>		<b>2</b>
<b>APÊNDICE 3.....</b>		<b>3</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Escalas Climáticas Urbanas .....	8
<b>Figura 2</b> - Representação esquemática da estrutura vertical da camada limite urbana no período diurno. ....	9
<b>Figura 3</b> - Cânion urbano com altura média dos edifícios (H) e largura média da rua (W). ....	12
<b>Figura 4</b> - Volume do dossel urbano.....	14
<b>Figura 5</b> - Representação esquemática das componentes do balanço de energia na região urbana considerando um volume de controle envolvendo todo o dossel urbano.....	15
<b>Figura 6</b> - Ilustração das causas da formação da ICU.....	19
<b>Figura 7</b> - Comportamento diário dos componentes do balanço energético na área urbana e rural .....	20
<b>Figura 8</b> - Processo de evapotranspiração.....	26
<b>Figura 9</b> - Temperatura do ar x Evapotranspiração.....	27
<b>Figura 10</b> - (a) Ilustração dos componentes de um telhado vegetado tradicional (b) Coberturas verdes extensivas (Austrália) .....	29
<b>Figura 11</b> - (a) Detalhe das camadas de telhado vegetado intensivo e (b) Exemplo de telhado vegetado de sistema intensivo em Singapura .....	29
<b>Figura 12</b> - (a) Detalhe das camadas de telhado vegetado extensivo e (b) Telhado Vegetado extensivo em Cuiabá-MT/Brasil. ....	30
<b>Figura 13</b> - Troca de energia entre um telhado vegetado extensivo e seu ambiente. ....	30
<b>Figura 14</b> – (a) Protótipos com telhado instalado e (b) detalhe aproximado das telhas vegetadas.....	44
<b>Figura 15</b> - Os componentes do balanço de energia radiante humana. ....	48
<b>Figura 16</b> - Visão atual de fotogrametria como uma das técnicas do sensoriamento remoto.....	54
<b>Figura 17</b> - Tomada de imagens com região de adjacência a partir de fotos aéreas.....	55
<b>Figura 18</b> – Visualização 3D, a partir da estação fotogramétrica System BLUH, dos resultado da extração 3D utilizando-se dos módulos do E-foto.....	56
<b>Figura 19</b> - Imagem original, com suas devidas inclinações, e imagem retificada, de modo que não esteja rotacionada.....	58
<b>Figura 20</b> -Tipos de modelagem de superfície.....	59
<b>Figura 21</b> - Medição manual de polígonos no <i>software</i> E-foto.....	61
<b>Figura 22</b> - Grade regular em vista isométrica (à esquerda) e TIN em vista de topo (à direita).....	61
<b>Figura 23</b> - Geração do MDS no ambiente E-foto (2011).....	62
<b>Figura 24</b> - Imagem térmica da cidade de Cuiabá com indicação das áreas que se enquadram nas limitações físicas impostas pelo estudo. ....	64
<b>Figura 25</b> - Imagens de satélite da área escolhida para o estudo (bairro Jardim Califórnia) .....	65
<b>Figura 26</b> - Localização do Bairro Jardim Califórnia na Macrozona de Cuiabá .....	65
<b>Figura 27</b> - Casas localizadas no bairro Jardim Califórnia .....	66
<b>Figura 28</b> - Imagem a partir de satélite indicando a posição da região de estudo e seu entorno próximo.....	67
<b>Figura 29</b> - Médias mensais das variáveis climatológicas observadas em Cuiabá de 1970 a 2007.....	68
<b>Figura 30</b> - Levantamento da configuração topográfica da área de estudo .....	68

<b>Figura 31</b> - Mapa da evolução da ocupação urbana de Cuiabá, destaque para a zona urbana do Bairro Jardim Califórnia .....	69
<b>Figura 32</b> - Equipamentos de medição das variáveis microclimáticas: (a) Termômetro Digital Portátil, (b) Termômetro Higrômetro Digital Portátil e (c) Medidor de Energia Solar. ....	72
<b>Figura 33</b> - Abrigo em cano de PVC instalado no vidro do veículo utilizado nos transectos móveis. ....	72
<b>Figura 34</b> - Posicionamento dos pontos de medição das variáveis microclimáticas na zona de estudo. ....	73
<b>Figura 35</b> - Par estereoscópico da área de estudo, (a) imagem 01 e (b) imagem 02, obtidas nesta sequencia .....	76
<b>Figura 36</b> - GPS geodésico de precisão .....	77
<b>Figura 37</b> - Par de óculos anaglifo .....	77
<b>Figura 38</b> - Seção de configuração da câmera na página inicial do projeto na estação E-foto .....	79
<b>Figura 39</b> - Módulo orientação interior do <i>software</i> E-foto .....	79
<b>Figura 40</b> - Posicionamento dos pontos de controle localizados nas duas fotografias .....	81
<b>Figura 41</b> - Registros fotográficos do posicionamento dos pontos de controle .....	82
<b>Figura 42</b> - Inserção dos dados dos pontos de medição no <i>software</i> E-foto .....	83
<b>Figura 43</b> - Módulo <i>Spatial Ressection</i> operado na Foto 01 do par estereoscópico do estudo .....	84
<b>Figura 44</b> - Módulo <i>Stereoplotter</i> do <i>software</i> E-foto .....	85
<b>Figura 45</b> - Módulo <i>Stereoplotter</i> com definição dos contornos dos edifícios .....	85
<b>Figura 46</b> - Módulo <i>DEM Extraction</i> do <i>software</i> E-foto .....	86
<b>Figura 47</b> - Sensores utilizados no experimento sobre as telhas .....	88
<b>Figura 48</b> - Fotos obtidas durante a catalogação das árvores na área de estudo .....	90
<b>Figura 49</b> - Servidor utilizado para o processamento dos cenários .....	93
<b>Figura 50</b> - NoBreak ligado às baterias automotivas .....	93
<b>Figura 51</b> - Localização da estação fixa acima da cobertura do bloco de Pós Graduação em Física Ambiental ..	94
<b>Figura 52</b> - Fotografia aérea da região estudada no modelo Física Ambiental .....	96
<b>Figura 53</b> - Fotos obtidas durante o levantamento in loco da área estudada .....	96
<b>Figura 54</b> - Área de edição do modelo no ENVI-Met com mapa de fundo (Física Ambiental) .....	98
<b>Figura 55</b> - Receptores posicionados na proximidade da estação fixa .....	98
<b>Figura 56</b> - Definição da área de modelagem .....	101
<b>Figura 57</b> - Localização dos receptores no modelo Jardim Califórnia .....	101
<b>Figura 58</b> - Área total modelada ( <i>área urbanizada + nesting grids</i> ) .....	104
<b>Figura 59</b> - Localização das edificações com telhado vegetado (cenário com 10% de telhado vegetado) .....	105
<b>Figura 60</b> - Localização das edificações com telhado vegetado (cenário com 50% de telhado vegetado) .....	106
<b>Figura 61</b> - Visualização, a partir do módulo DEM Extraction, do MDS (a) e do MDT (b) .....	110
<b>Figura 62</b> - Produto Georreferenciado da subtração dos Modelos de Superfície e de Terreno gerado pelo ArqGIS (ArqMap) .....	111
<b>Figura 63</b> - Visualização 3D da subtração dos Modelos de Superfície e de Terreno gerado pelo ArqGIS (ArqScene) .....	110
<b>Figura 64</b> - Informações coletadas <i>in loco</i> (esquerda) e medidas no MDS (direita) .....	112
<b>Figura 65</b> - Gráfico das médias das diferenças de altura observadas e medidas por aerofotogrametria .....	112

<b>Figura 66</b> - Mapa Temático das superfícies observadas na área de estudo .....	113
<b>Figura 67</b> - Mapa temático com identificação das espécies arbóreas presentes na área de estudo.....	115
<b>Figura 68</b> - Mapa de revestimentos e edifícios .....	118
<b>Figura 69</b> - Mapa de vegetação.....	118
<b>Figura 70</b> - Edição de edifícios e vegetação no ENVI-Met (modelo Física Ambiental).....	120
<b>Figura 71</b> - Edição de superfícies no ENVI-Met (modelo Física Ambiental).....	121
<b>Figura 72</b> - Edição de edifícios e vegetação no ENVI-Met (Jd Califórnia) .....	122
<b>Figura 73</b> - Edição de superfícies no ENVI-Met (Jd Califórnia) .....	122
<b>Figura 74</b> - Comparação das respostas fotossintéticas de plantas C3 e C4 a aumentos de luminosidade e temperatura .....	123
<b>Figura 75</b> - Teste de vegetação para o telhado vegetado, C4, período Seco e Úmido.....	124
<b>Figura 76</b> - Caracterização do entorno da estação fixa quanto aos atributos de ocupação do solo .....	126
<b>Figura 77</b> - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período úmido (estimada x modelada) .....	127
<b>Figura 78</b> - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período seco (estimada x modelada) .....	128
<b>Figura 79</b> - Gráfico de dispersão da Umidade do ar no período úmido (estimada x modelada) .....	128
<b>Figura 80</b> - Gráfico de dispersão da Umidade do ar no período seco (estimada x modelada) .....	129
<b>Figura 81</b> - Caracterização dos atributos de superfícies no entorno dos pontos de receptores.....	130
<b>Figura 82</b> - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período úmido (estimada x modelada) .....	132
<b>Figura 83</b> - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período seco (estimada x modelada) .....	133
<b>Figura 84</b> - Gráfico de dispersão da umidade relativa do ar no período úmido (estimada x modelada) .....	133
<b>Figura 85</b> - Gráfico de dispersão da umidade relativa do ar no período seco (estimada x modelada).....	134
<b>Figura 86</b> - Comportamento da ventilação ao nível do pedestre nos dois períodos estudados.....	136
<b>Figura 87</b> - Comportamento da ventilação em corte, nos dois períodos estudados.....	137
<b>Figura 88</b> - Efeitos da ventilação na temperatura do ar, nos dois períodos estudados .....	138
<b>Figura 89</b> - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período úmido .....	139
<b>Figura 90</b> - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período seco .....	140
<b>Figura 91</b> - Efeitos da ventilação na umidade relativa do ar, nos dois períodos estudados.....	141
<b>Figura 92</b> - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período úmido .....	142
<b>Figura 93</b> - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período seco .....	143
<b>Figura 94</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	144
<b>Figura 95</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	146
<b>Figura 96</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais .....	147
<b>Figura 97</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	149
<b>Figura 98</b> - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período úmido, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real .....	150

<b>Figura 99</b> - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período seco, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real .....	151
<b>Figura 100</b> - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido .....	152
<b>Figura 101</b> - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco .....	152
<b>Figura 102</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	153
<b>Figura 103</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	155
<b>Figura 104</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	156
<b>Figura 105</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	158
<b>Figura 106</b> - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período úmido, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real .....	159
<b>Figura 107</b> - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período seco, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real .....	160
<b>Figura 108</b> - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido .....	161
<b>Figura 109</b> - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco .....	161
<b>Figura 110</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações no PPD durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	162
<b>Figura 111</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações no PPD durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	163
<b>Figura 112</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	164
<b>Figura 113</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	166
<b>Figura 114</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais .....	167
<b>Figura 115</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	169
<b>Figura 116</b> - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período úmido.....	170
<b>Figura 117</b> - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período seco.....	171
<b>Figura 118</b> - Perfil vertical da diferença da temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido .....	172
<b>Figura 119</b> - Perfil vertical da diferença da temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco .....	172
<b>Figura 120</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	173
<b>Figura 121</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	175

<b>Figura 122</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	176
<b>Figura 123</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	178
<b>Figura 124</b> - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período úmido.....	179
<b>Figura 125</b> - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período seco.....	180
<b>Figura 126</b> - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido.....	181
<b>Figura 127</b> - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco.....	181
<b>Figura 128</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações no PPD durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	182
<b>Figura 129</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações no PPD durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	183
<b>Figura 130</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	185
<b>Figura 131</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	186
<b>Figura 132</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	188
<b>Figura 133</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	190
<b>Figura 134</b> - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período úmido.....	191
<b>Figura 135</b> - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período seco.....	192
<b>Figura 136</b> - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido.....	193
<b>Figura 137</b> - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco.....	193
<b>Figura 138</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	194
<b>Figura 139</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	196
<b>Figura 140</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	197
<b>Figura 141</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais.....	199
<b>Figura 142</b> - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período úmido.....	200
<b>Figura 143</b> - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período seco.....	201
<b>Figura 144</b> - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido.....	202
<b>Figura 145</b> - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco.....	202
<b>Figura 146</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações no PPD durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo.....	203

<b>Figura 147</b> - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações no PPD durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo .....	204
<b>Figura 148</b> – Efeito geral da incorporação do telhado vegetado na temperatura do ar ao nível do pedestre, durante o período úmido .....	209
<b>Figura 149</b> – Efeito geral da incorporação do telhado vegetado na temperatura do ar ao nível do pedestre, durante o período seco .....	209
<b>Figura 150</b> - Efeito geral da incorporação do telhado vegetado na umidade relativa do ar durante o período úmido .....	210
<b>Figura 151</b> - Efeitos geral da incorporação do telhado vegetado na umidade relativa do ar durante o período seco .....	211

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores típicos da rugosidade $Z_g(m)$ para terrenos urbanizados .....	11
<b>Tabela 2</b> - Composição de custos do telhado convencional e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011 .....	45
<b>Tabela 3</b> - Composição de custos do telhado vegetado extensivo e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011 .....	45
<b>Tabela 4</b> - Composição de custos do telhado vegetado intensivo e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011 .....	46
<b>Tabela 5</b> - Fatores de correção do albedo (ACF) e albedo médio ponderado de energia diária (EWA) para conjuntos de simulações de radiação envolvendo as quatro categorias de uso da terra urbanizada, cada um com 10, 60 ou 100 edifícios por célula da grade de simulação. ....	114
<b>Tabela 6</b> - Base de dados de Vegetação criado para o modelo Física Ambiental .....	119
<b>Tabela 7</b> - Indicadores de desempenho do modelo ENVI-Met (Validação).....	127
<b>Tabela 8</b> - Proporção da área de ocupação dos atributos no entorno de cada Receptor .....	130
<b>Tabela 9</b> - Indicadores de desempenho do modelo ENVI-Met (Jd Califórnia) .....	131
<b>Tabela 10</b> - Resumo dos efeitos da ocupação de 10% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período úmido .....	205
<b>Tabela 11</b> - Resumo dos efeitos da ocupação de 10% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período seco .....	205
<b>Tabela 12</b> - Resumo dos efeitos da ocupação de 50% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período úmido .....	206
<b>Tabela 13</b> - Resumo dos efeitos da ocupação de 50% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período seco .....	206
<b>Tabela 14</b> - Resumo dos efeitos da ocupação de 100% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período úmido .....	207
<b>Tabela 15</b> - Resumo dos efeitos da ocupação de 100% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período seco .....	207

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Escalas espaciais no meio ambiente urbano .....	11
<b>Quadro 2</b> - Classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem decrescente de sua capacidade de impactar o clima local .....	17
<b>Quadro 3</b> - Resumo dos resultados quantitativos dos ordenamentos da abordagem sistêmica sobre telhado vegetado .....	32
<b>Quadro 4</b> - Localização e caracterização dos pontos de medição .....	73
<b>Quadro 5</b> - Catálogo das árvores identificadas na área de estudo .....	115

## LISTA DE ABREVIATURAS

<i>ICU</i>	Ilha de Calor urbana
<i>CLA</i>	Camada Limite Atmosférica
<i>CLU</i>	Camada Limite Urbana
<i>CLS</i>	Camada Limite Superficial
<i>CS</i>	Camada Superficial
<i>CM</i>	Camada de Mistura
<i>SI</i>	Sub-camada Inercial
<i>SR</i>	Sub-camada Rugosa
<i>CDU</i>	Camada do Dossel Urbano
<i>CU</i>	Cânyon Urbano
<i>FVC</i>	Fator de Visão do Céu
<i>ZCU</i>	Zonas Climáticas Urbanas
<i>ET</i>	Evapotranspiração
<i>IAF</i>	Índice de Área Foliar
<i>CUB</i>	Custo Unitário Básico
<i>VME</i>	Voto Médio Estimado
<i>PPI</i>	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
<i>TEP*</i>	Temperatura Efetiva Padrão
<i>TEP-EXT*</i>	Temp. Efetiva Padrão Externa
<i>TFE</i>	Temp. Fisiológica Equivalente
<i>MCM</i>	Modelo Climático de Michel
<i>DCF</i>	Dinâmica Computacional dos Fluidos
<i>MOH</i>	Modelo Objetivo de Histerese
<i>MDS</i>	Modelo Digital de Superfície

MDT	Modelo Digital de Terreno
<i>RTI</i>	Rede de Triangulação Irregular
<i>IBGE</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PVC	Policloreto de Vinila
<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS
DAF	Densidade de Área Foliar
DAR	Densidade de Área Radicular
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> - Raiz Quadrada do Erro Médio
MAE	<i>Mean Absolut Error</i> – Erro Médio Absoluto
MBE	<i>Mean Bias Error</i> – Desvio das Médias

## RESUMO

ROSSETI, K.A.C. *Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met*. 2013. 273f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

A urbanização, pela modificação da paisagem natural, provoca alterações nas propriedades aerodinâmicas e radiativas da superfície, nas propriedades térmicas do substrato e nas propriedades hidráulicas da superfície e do solo, modificando, desta forma, as propriedades térmicas e radiométricas da atmosfera urbana. O efeito da vegetação no clima urbano já é investigado há algum tempo e seus benefícios podem ser observados não só na área vegetada, mas também no seu entorno. Uma possível solução para incorporação da vegetação dentro do contexto urbano é a transformação dos telhados tradicionais dos edifícios em telhados vegetados. O objetivo geral deste trabalho é avaliar os efeitos de telhados vegetados em uma ilha de calor urbana com simulação pelo *software ENVI-Met* na cidade de Cuiabá, MT. A metodologia de desenvolvimento deste trabalho envolve duas fases principais: Levantamento (microclimático e espacial) e Simulação. O levantamento microclimático foi realizado por meio de uma estação micrometeorológica fixa e transecto móvel, nos períodos de Janeiro/2013 a Março/2013 (quente úmido) e Julho/2013 a Setembro/2013 (Quente seco). O levantamento espacial foi realizado pela aerofotogrametria, na estação fotogramétrica digital E-foto, complementada por observações *in loco*. A simulação foi desenvolvida no *software ENVI-Met*, durante dois períodos do ano, em quatro cenários diferentes, sendo um cenário real, um com incorporação do telhado vegetado em 10% dos telhados, outro em 50% e outro em 100%. Em geral, os resultados confirmaram a validade do modelo *ENVI-Met* como uma ferramenta de previsão microclimática na cidade de Cuiabá, MT. Todos os cenários interferem no microclima local, o que valida o telhado vegetado como uma estratégia para minimização dos efeitos da ilha de calor urbana, principalmente na região acima dos telhados e ao nível dos quintais. Os impactos mais expressivos foram obtidos no cenário com 100% de cobertura vegetada, admitindo redução na temperatura do ar de até 1,56°C e elevação na umidade relativa do ar de até 4,80%. Os cenários com telhado vegetado não interferem no conforto térmico ao nível do solo. Esses mesmos resultados evidenciam a importância e os benefícios do telhado vegetado como estratégia passiva de condicionamento térmico tanto dos edifícios quanto do espaço urbano, reforçando a importância do planejamento urbano bioclimático para garantia da qualidade de vida dos seus habitantes.

**Palavras-chave:** Microclima urbano, modelo climático, ENVI-Met.

## ABSTRACT

ROSSETI, K. A. C. *Use's effects of green roofs in urban heat islands with simulation in ENVI-Met software*. 2013. 273s. Thesis (Doctorate in Environmental Physic); Institute of Physic, Federal University of Mato Grosso.

Urbanization, by modification of the natural landscape, alters the aerodynamic and radiative properties of the surface, in the thermal properties of the substrate and in the hydraulic properties of the surface and the soil, modifying thus the thermal and radiometric properties of the urban atmosphere. The effect of vegetation on urban climate is already investigated some time ago and its benefits can be observed not only in the vegetated area, but also in its surroundings. A possible solution for the incorporation of vegetation within the urban context is the transformation of traditional roofs of buildings in green roofs. The aim of this study is to evaluate green roof's effects in a urban heat island with simulation at ENVI-Met software in the city of Cuiabá, MT. The development methodology of this study involves two main phases: Survey (microclimatic and spatial) and Simulation. The microclimatic survey was carried out through a fixed micrometeorological station and a mobile transect, in the periods of the january to march of 2013 (hot humid ) and the july to september of 2013 (hot dry). The spatial survey was conducted by aerial photogrammetry in the photogrammetric station digital E-Photo, complemented by in situ observations. The simulation was developed in the software ENVI-Met, for the two periods of the year, in four different scenarios, being a real scenario, with the incorporation of vegetated roof in 10% of roofs, another 50% and another with 100%. In general, the results confirmed the validity of the model ENVI-Met as a tool of microclimate forecast for the city of Cuiabá, MT. All scenarios cause interference in local microclimate, which validates the vegetated roof as a strategy for minimizing the effects of the urban heat island, mainly in the region above the rooftops and the level of backyards. The most significant results were obtained in the scenario with 100% of green roof, assuming decreasing of air temperature of up to 1.56 °C and an increase in relative humidity of up to 4.80%. The scenarios with green roof do not interfere on thermal comfort at ground level. These results highlight the importance and benefits of green roof as a passive strategy of both thermal conditioning of buildings as urban space, reinforcing the importance of bioclimatic urban planning to ensure the quality of life of its inhabitants.

**Keywords:** Urban microclimate, climate model, ENVI-Met.

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. PROBLEMÁTICA**

A urbanização, pela modificação da paisagem natural, provoca alterações nas propriedades aerodinâmicas e radiativas da superfície, nas propriedades térmicas do substrato e nas propriedades hidráulicas da superfície e do solo. Além disso, as emissões antropogênicas de calor e poluentes e as alterações nos padrões de evaporação da superfície, modificam as propriedades térmicas e radiométricas da atmosfera urbana.

Os danos sobre o ambiente natural e construído, causados pelo uso especulativo dos espaços urbanos, foram tomando sua forma mais intensa, e, do ponto de vista climático, têm sido prejudiciais para as cidades e seus moradores. Efeitos adversos destas alterações incluem a deterioração do ambiente natural, aumento do consumo de energia e até mesmo o aumento nas taxas de mortalidade.

A fim de evitar esses danos e criar melhores condições bioclimáticas, estudos sobre o clima urbano, ilha de calor urbana (ICU) e poluição do ar urbano são estimulados. Este incentivo ocorre não só pela necessidade de adquirir conhecimento dos numerosos efeitos secundários da urbanização excessiva, mas também por necessidades muito práticas de planejamento urbano.

A maioria dos modelos, que são utilizados em pesquisas sobre mudanças climáticas, não se aplica a superfícies urbanas. Isto se deve ao fato de as áreas urbanas representarem uma pequena fração da superfície terrestre global (1% a 4%) e, assim, a sua influência em grandes médias temporais e espaciais é reduzida. No entanto, 3,5 bilhões de pessoas, representando mais da metade da população mundial, vivem em áreas urbanas, estando diretamente expostas a problemas de aquecimento urbano.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

O efeito da vegetação no clima urbano já é investigado há algum tempo. Os benefícios podem ser observados não só na área de vegetação, mas também no seu entorno, evidenciando sua eficácia em reduzir os efeitos da ICU.

Considerando que, em áreas densamente urbanizadas, existem poucos espaços residuais com potencial para serem convertidos em áreas verdes, uma possível solução para incorporação da vegetação dentro do contexto urbano é a transformação dos telhados tradicionais dos edifícios em telhados vegetados.

Os telhados constituem cerca 20 a 25% da superfície urbana e sua utilização como área vegetada pode dar origem a muitos benefícios. Estes se manifestam tanto na redução dos efeitos da ICU, quanto na melhoria da qualidade do ar, gestão de águas pluviais, aumento da biodiversidade e melhorias no conforto do pedestre.

Os efeitos do telhado vegetado na escala do edifício são amplamente estudados, sendo identificadas interferências tanto no aumento da vida útil dos materiais de construção abaixo do solo, redução no ruído e no consumo energético da construção, especialmente durante o verão, em várias localidades do mundo. Estudos sobre os efeitos desta cobertura na escala da cidade, no entanto, ainda são incipientes e, em sua maioria, direcionados a climas temperados ou subtropicais.

Embora a compreensão geral das interações entre a atmosfera e áreas urbanizadas, com base em estudos experimentais, realizados com cuidado, seja emergente, a complexidade e diversidade das cidades ao redor do mundo, confirma a limitação destes estudos observacionais, ou a um local particular ou a um único processo físico. Neste caso modelos climáticos podem dimensionar efeitos de mudanças do uso do solo sobre a dinâmica climática de cidades.

O *software* ENVI-Met é um modelo tridimensional, não hidrostático, que foi criado por Michael Bruse como parte de sua tese de doutorado, realizada na Alemanha. Este *software* utiliza modelos numéricos de simulação de fluxos de ar, de turbulências, fluxos de radiação, de estratificação da temperatura e da umidade do ar, que ocorrem entre a atmosfera e as superfícies próximas ao solo, simulando as interações entre as superfícies urbanizadas, vegetação e atmosfera.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos de telhados vegetados em uma ilha de calor urbana com simulação pelo *software* ENVI-Met na cidade de Cuiabá, MT. Para alcançar esse objetivo geral foram necessários os seguintes objetivos

específicos: escolher e caracterizar a zona urbana mais adequada ao desenvolvimento do estudo; realizar levantamento microclimático da zona escolhida para validação do modelo; realizar levantamento espacial da zona escolhida utilizando-se da aerofotogrametria; simular as características morfológicas reais do local de estudo para verificar a compatibilidade do *software ENVI-Met* à realidade climática local; criar um arquivo de configuração de entrada do modelo com descrição detalhada da obtenção de cada parâmetro; elaborar cenários com a incorporação do telhado vegetado em diferentes proporções de ocupação; verificar os efeitos de cada cenário nos parâmetros de temperatura do ar, umidade relativa do ar e conforto térmico dos pedestres.

Portanto, espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam despertar a atenção, por parte dos gestores desta cidade, para os benefícios do telhado vegetado, empregado como estratégia passiva de condicionamento térmico tanto para edifícios quanto para espaços urbanos. Os resultados reforçam a importância do planejamento bioclimático na busca pela qualidade de vida da população.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

As discussões propostas para esta tese envolvem técnicas e conceitos provenientes de mais de uma disciplina. Desta forma, este capítulo apresenta fundamentos teóricos necessários à compreensão destas discussões, incluindo noções de climatologia urbana, efeitos da vegetação no clima, conforto térmico em espaços abertos, modelagem climática e fotogrametria.

### **2.1. URBANIZAÇÃO E CLIMA**

As cidades ocupam 0,05% da superfície do planeta (UNITED NATIONS, 2011) e, a partir de 2010, passaram a abrigar mais da metade da população do mundo. O número de habitantes urbanos aumentou de 729 milhões, em 1950, para 3,5 bilhões, em 2010, e projeções atuais das Nações Unidas supõem que esse crescimento continuará. Em 2045, espera-se que duas em cada três pessoas estejam vivendo em áreas urbanizadas, o que corresponde a 5,9 bilhões de pessoas (UNITED NATIONS, 2011).

No Brasil, aproximadamente 85% da população reside em regiões urbanas e as projeções mostram que, se a taxa de crescimento projetada para esta década for mantida, esta proporção chegará a 90% em 2045 (UNITED NATIONS, 2011).

O aumento da população urbana, associada ao reduzido número de ações para diminuir o impacto das cidades no ambiente natural, favorece o aumento dos problemas ambientais decorrentes da expansão urbana (ASSIS, 2006).

Os problemas ambientais observados dentro das cidades têm sido reconhecidos há algum tempo (HAWLEY, 1971; LANDSBERG, 1981). Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento identificou uma série de graves problemas ambientais causados pelo rápido crescimento urbano. Cidades de países em desenvolvimento enfrentam problemas de abastecimento de água e eliminação do esgoto, contaminação através dos resíduos, poluição do ar e poluição industrial. As fontes

pontuais de poluentes afetam o meio ambiente urbano local e ambientes distantes das próprias cidades (LANDSBERG, 1981; BERRY, 1990).

A modificação da paisagem natural pela incorporação de edifícios e superfícies pavimentadas provoca alterações nas propriedades aerodinâmicas e radiativas da superfície, nas propriedades térmicas do substrato e nas propriedades hidráulicas da superfície e do solo. Além disso, as emissões antropogênicas de calor e poluentes e as alterações nos padrões de evaporação da superfície modificam as propriedades térmicas e radiométricas da atmosfera urbana (LANDSBERG, 1981; OKE, 1982).

Regionalmente (escala espacial de dezenas de quilômetros), estas mudanças são observadas tanto pela ocorrência de maiores temperatura do ar dentro do ambiente urbano, como pelo aumento no número de tempestades severas e óbitos relacionados à poluição do ar e ao desconforto térmico (OKE, 1982; LANDSBERG, 1981; ARNFIELD, 2003; MASSON, 2006; ROTH, 2007).

Desta forma o clima urbano tem sido intensivamente investigado em cidades localizadas nas latitudes médias e altas, em países da América do Norte e Europa (COHEN, 2004; ROTH, 2007). O conhecimento científico acumulado nestes estudos tem subsidiado ações governamentais de gerenciamento e planejamento, de forma a garantir os padrões da qualidade de vida das populações urbanas nestas regiões.

Por outro lado, o agravamento sistemático dos problemas ambientais das cidades localizadas em regiões de clima tropical e subtropical tem apresentado imensa lacuna existente no conhecimento científico, relativo às mudanças induzidas pela urbanização no clima dessas regiões (TEJEDA-MARTÍNEZ; JÁUREGUI, 2005; ROTH, 2007). A falta de conhecimento tem impedido o desenvolvimento de ações de gerenciamento e planejamento ambientais que possam melhorar a qualidade de vida da população.

Os estudos de climatologia urbana são, portanto, importantes para o planejamento e a preservação da qualidade físico-ambiental urbana, mas sua aplicação permanece limitada. Isso ocorre não apenas devido à fragmentação dos diversos campos do conhecimento envolvidos, mas também porque a maioria dos trabalhos nessa área são apenas descritivos, restringindo os resultados apenas ao caso estudado. Além disso, em grande parte da literatura especializada, as recomendações de planejamento e projeto urbanos, climaticamente responsáveis, são muito genéricas, como as apresentadas pela WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO (1996):

- a) melhorar o conforto dos habitantes, dentro e fora das edificações;

- b) reduzir a demanda de energia dos edifícios, tanto para o aquecimento no inverno quanto para a refrigeração no verão;
- c) reduzir a quantidade e aumentar a qualidade de escoamento da água de chuva.

### **2.1.1. Escalas e Subcamadas atmosféricas do clima urbano**

#### ***2.1.1.1. Escalas de estudo do clima urbano***

A superfície urbana é notavelmente heterogênea, variando em faixa de escalas espaciais. O conceito de escala auxilia no entendimento das formas pelas quais os elementos da superfície urbana interagem com as camadas atmosféricas adjacentes (BRITTER; HANNA, 2003).

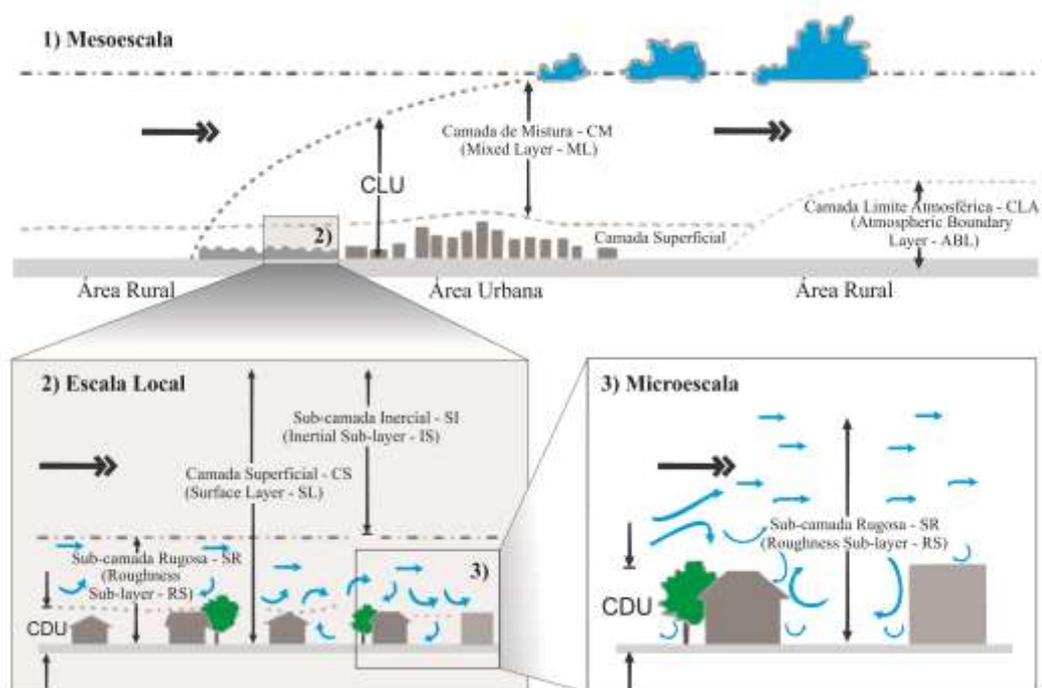
A complexidade da superfície urbana pode ser observada quando destacamos os elementos presentes nesta superfície, como, por exemplo, as construções individuais, formada por paredes e telhado, cada um com diferenças no tempo e no ângulo de exposição à radiação, diferentes materiais e variados comportamentos térmicos, posições diferenciadas em relação à incidência dos ventos, além dos diferentes afastamentos, alturas e dimensões dos edifícios em relação aos demais que compõem seu entorno (ARNFIELD, 1984, 2000, APELT; PATERSON, 1989, VERSEGHY; MUNRO, 1989a, 1989b). Destacam-se ainda as superfícies horizontais ao nível do solo, com jardins gramados e superfícies pavimentadas (OKE, 1979; SUCKLING, 1980), e ainda algumas árvores com características aerodinâmicas e barreiras de sombreamento variadas (OKE, 1989; GRIMMOND et al., 1996; KJELGREN; MONTAGUE, 1998).

Estes diferentes elementos de superfície possuem orçamentos de energia que geram diversos contrastes nas características destas superfícies (especialmente na temperatura superficial), e leva a interações mútuas de troca radiativa e de advecção em pequena escala. Estas unidades morfológicas fundamentais podem ser agregadas hierarquicamente. As paredes do edifício e os elementos situados entre os prédios, por exemplo, definem o Cânion Urbano (CU) (*Urban Canion – UC*). Os CUs e os telhados de edifícios adjacentes definem blocos da cidade, que, por sua vez, arrançados, formam bairros, zonas de uso da terra e, em última instância, toda a cidade. Em cada escala, as unidades possuirão balanços energéticos distintos que, em geral, representam mais do que a média ponderada dos orçamentos dos elementos individuais. Além disso, cada unidade interage com as adjacentes, da mesma categoria de escala, por advecção (CHING et al., 1983).

Com o aumento da escala espacial de estudo uma cidade, a variabilidade espacial é reduzida, ou seja, há menos diferença entre duas zonas de uso da terra do que entre cânions adjacentes a face norte e a face sul de um edifício (SCHMID; OKE, 1992). A climatologia urbana deve se adequar a essa heterogeneidade e complexidade, de forma explícita, em termos de mapeamento detalhado desta morfologia urbana (ELLEFSEN, 1990-1991; GRIMMOND; SOUCH, 1994; CIONCO; ELLEFSEN, 1998), ou na interpretação de observações em diferentes escalas.

Considerando estas diferentes interações entre a cidade e as camadas atmosféricas adjacentes Oke (2004a) define diferentes escalas climáticas urbanas (extensão horizontal) e limites da camada atmosférica influenciados por cada escala (extensão vertical). As escalas climáticas urbanas são classificadas (Figura 1) segundo Oke (2006) em:

- a) **Mesoescala** – escala que incorpora a influencia integrada da cidade no clima urbano. Abrange dezenas de quilômetros de extensão, dependendo da dimensão da cidade estudada.
- b) **Escala Local** – escala que inclui os efeitos climáticos decorrentes da forma da paisagem, tal como as características topográficas do relevo, mas exclui os efeitos microclimáticos de cobertura de solo, tamanho e disposição dos edifícios, etc. Abrange de um a vários quilômetros.
- c) **Microescala** – escala típica do microclima urbano, está relacionada com as dimensões individuais dos elementos urbanos (edifício, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, etc). Varia de um metro a centenas de metros.



**Figura 1** - Escalas Climáticas Urbanas

Fonte: adaptado de Oke (2006).

Os limites da camada atmosférica influenciados por estas escalas são definidos por Oke (1976, 1978) e seguem a mesma estrutura de divisão utilizada para áreas não urbanizadas (florestas, fazendas, estradas, etc), com algumas particularidades. Para melhor compreensão destes limites no espaço urbano deve-se primeiro compreender sua aplicação em espaços não urbanizados.

### **2.1.1.2. Camada Limite Atmosférica**

A Camada Limite Atmosférica (CLA) (Atmospheric Boundary Layer - ABL) é a região turbulenta da atmosfera, em contato direto com a superfície. Nela localiza-se a maior parte das fontes naturais e antropogênicas de energia, umidade e momento (quantidade de movimento por unidade de massa). Na CLA as propriedades dinâmicas e termodinâmicas médias variam em uma escala de tempo inferior ou igual a 1 hora e os poluentes sofrem as primeiras transformações químicas, enquanto são transportados pelo vento médio ou pela turbulência (STULL, 1988; HARMAN, 2003).

A extensão vertical da CLA varia durante o período diurno de algumas centenas de metros, no final da noite, até alguns quilômetros, no final do dia. A variação espacial dos fluxos verticais turbulentos de calor sensível, calor latente e de momento determina,

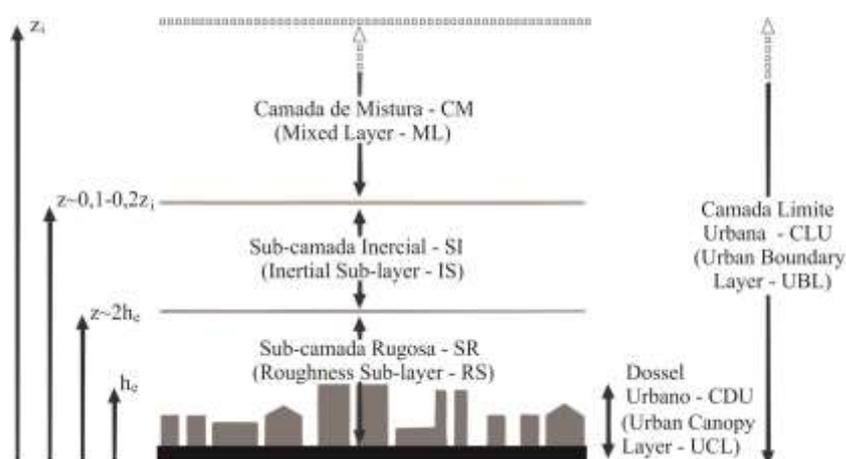
em grande parte, a configuração vertical da temperatura, umidade e vento médio na CLA (STULL, 1988; RAUPACH, 2001).

Em condições ideais (topografia plana e ocupação do solo horizontalmente homogênea), a CLA pode ser dividida em camadas. Durante o dia (CLA convectiva) observa-se a formação de duas camadas: Camada Superficial (CS) (Surface Layer - SL) e Camada de Mistura (CM) (Mixed Layer - ML). No período noturno (CLA estável) se observa ainda a presença da Camada Limite Superficial (CLS) (Surface Boundary Layer - SBL), onde a turbulência é gerada exclusivamente pelo cisalhamento vertical do vento médio. Acima da CLS estável, a intensidade da turbulência diminui gradativamente em virtude da estratificação térmica induzida pelo resfriamento radiativo da superfície e da dissipação molecular (HARMAN, 2003).

### 2.1.1.3. Camada Limite Urbana

Sobre regiões urbanas a Camada Limite Atmosférica é denominada Camada Limite Urbana (CLU) (Urban Boundary Layer - UBL). Apesar da maior complexidade das superfícies urbanas, no período diurno, a CLU apresenta uma estrutura vertical similar a CLA convectiva, horizontalmente homogênea, com suas camadas adjacentes e com características similares a Camada Superficial (CS) e a Camada de Mistura (CM) (OKE, 1987).

Sobre a área urbana, esse particionamento tradicional da CLA é modificado, levando em conta os grandes impactos da urbanização sobre a camada limite (OKE, 1987). Esta modificação se traduz na formação de camadas atmosféricas, como ilustrado na Figura 2, apresentada a seguir.



**Figura 2** - Representação esquemática da estrutura vertical da camada limite urbana no período diurno.

**Fonte:** Herman, 2003

#### 2.1.1.3.1. *Camada de mistura (CM) (Mixed Layer – ML)*

Nesta camada os fluxos e a temperatura potencial são rapidamente misturados, resultando em perfis horizontalmente homogêneos e verticalmente uniformes. Durante a noite esta sub-camada pode ser dividida em uma camada residual de mistura do dia anterior e uma camada de inversão, que recobre a superfície resfriada abaixo (ROTH, 2000).

#### 2.1.1.3.2. *Sub-camada inercial (SI) (Inertial Sub-layer – IS)*

Representa a região da SL urbana onde os fluxos verticais turbulentos não variam significativamente com a altura (ROTH, 2000; ARNFIELD, 2003). É a região onde as propriedades estatísticas do escoamento turbulento são uniformes também na direção horizontal e os perfis médios de velocidade horizontal, temperatura e umidade específica obedecem a Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov<sup>1</sup>. A SI apresenta extensão vertical de algumas dezenas de metros (ROTACH, 1993; HOGSTROM, 1996; MAHRT, 2000).

#### 2.1.1.3.3. *Sub-camada rugosa (SR) (Roughness Sub-layer- RS)*

Está localizada adjacente à superfície e é influenciada mecânica e termicamente pelos elementos de rugosidade que compõem a camada do dossel urbano (RAUPACH et al., 1991; ROTH, 2000). Na RS os fluxos turbulentos são heterogêneos e dependem das escalas de comprimento locais, tais como comprimento das edificações, altura e distância entre as construções (OKE, 1988a; ROTH, 2000), e geometria das edificações (GRIMMOND; OKE, 1999a; RAFAILIDIS, 1997).

Considerando a dificuldade em se realizar sua medição, sugerem-se alguns valores típicos para altura da SR (Tabela 1) em terrenos urbanizados (OKE, 1996).

---

<sup>1</sup> Refere-se à camada superficial da atmosfera, em situações não neutras, ou seja, condições instáveis e estáveis, auxiliando no entendimento do fenômeno da Turbulência, sendo esta controlada por influências dominantes como forçantes térmicas, mecânicas e topografia. O objetivo da hipótese de similaridade é encontrar escalas que permitam que observações feitas em diferentes alturas ou em diferentes condições possam ser descritas através de relações comuns, onde os fluxos verticais são considerados constantes com a altura. Esta teoria combina a turbulência mecânica com a convectiva (MOREIRA; TIRABASSI; MORAES, 2008; MARQUES FILHO, 2004).

**Tabela 1** - Valores típicos da rugosidade  $Z_g(m)$  para terrenos urbanizados

TERRENO	$Z_g(m)$
Povoados esparsos (fazendas, vilas, Árvores)	0,2-0,6
Suburbano, baixa densidade, residenciais e jardins	0,4-1,2
Suburbano, alta densidade	0,8-1,8
Urbano, alta densidade, fileiras de edificações e blocos < 5 pavimentos	1,5-2,5
Urbano, alta densidade, blocos de multiandares	2,5-10

Fonte: Oke (1996)

#### 2.1.1.3.4. Camada do Dossel urbano (CDU) (Urban Canopy Layer - UCL)

Uma sub-camada separada (OKE, 1987), representando a parte mais baixa da sub-camada rugosa, abaixo da altura dos edifícios. O fluxo é espacialmente heterogêneo e submetido a ação dos ventos no interior dos cânions urbanos (BELCHER et al., 2003). As observações mais rotineiras em áreas urbanas são realizadas no interior desta camada, devendo ser utilizadas com cuidado, tendo em vista que refletem os processos dinâmicos e térmicos determinados pela ação individual dos elementos que compõem o dossel urbano (edificações, árvores, ruas, etc) (OKE, 1988a; RAUPACH et al., 1991; ROTH, 2000; BELCHER et al., 2003).

De forma a ilustrar as relações que ocorrem dentro da atmosfera urbana Oke (1976) desenvolveu um quadro (Quadro 1) que relaciona as unidades de morfologia urbana (edifício, cânion, quadras, bairros...) com as escalas climáticas urbanas e as camadas atmosféricas influenciadas por cada uma destas escalas.

**Quadro 1** - Escalas espaciais no meio ambiente urbano

Unidade Urbana	Características Urbanas	Dimensões Espaciais (m)		Escala	Camadas Atmosféricas
		Largura	Comprimento		
Edifício	Edificação individual, árvores ou jardins	10	10	Micro	CDU – Camada do Dossel urbano incluindo sub-camada rugosa
Cânion	Ruas e Faces dos edifícios	30	300		
Quadra	Quadras, Parques, Complexo fabril	500	500	Local	CS – Incluindo a sub-camada Inercial
Zona de uso do solo	Residencial, comercial,	5.000	5.000	Meso	CLU – Incluindo a Sub-camada de Mistura e Inercial
Cidade	Industrial, etc. Área Urbana	25.000+	25.000+		

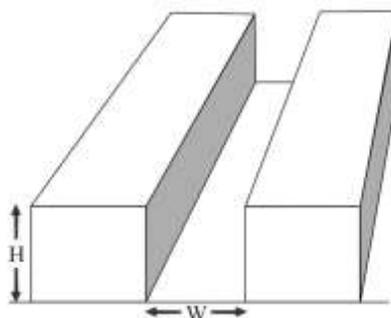
Fonte: Adaptada a partir de Oke (1984)

#### 2.1.1.4. *Camada do Dossel Urbano (CDU)*

Abaixo das coberturas dos edifícios, dentro da CDU, muitos pesquisadores consideram que a geometria dos espaços abertos é o parâmetro mais relevante responsável pela variação microclimática (OKE, 1988b; NUNEZ; OKE, 1977; OKE, 1981; NAKAMURA; OKE, 1988; TODHUNTER, 1990; YOSHIDA et al., 1990-91; SANTAMOURIS et al., 1999; BOURBIA; AWBI, 2004; ALI-TOUDERT; MAYER, 2005, 2006).

A geometria urbana, dentro da camada de Dossel urbano (CDU), é expressa pela relação geométrica do cânion urbano, unidade padrão para o estudo do microclima, e pelo Fator de Visão do Céu (FVC) (Sky View Factor – SVF).

Os cânions são formados por três superfícies (paredes e piso) e três lados abertos (Figura 3). O microclima nos cânions é determinado pelas características radiativas, térmicas e de umidade dos materiais construtivos, pela geometria dos cânion (relação altura e largura) e pela orientação quanto ao sol e aos ventos (SILVEIRA, 2007). A geometria dos cânions é definida a partir da relação entre a altura média dos edifícios e a largura média da rua ( $H/W$ ).



**Figura 3** - Cânion urbano com altura média dos edifícios (H) e largura média da rua (W).

**Fonte:** Silveira, 2007

O Fator de Visão Céu é a razão entre a porção de céu visível de um determinado ponto e o céu potencialmente disponível a partir deste ponto (CHAPMAN, 2007). Watson e Johnson (1987) consideram o FVC como a razão entre a radiação solar recebida (ou emitida) por uma superfície plana comparada com aquela recebida (ou emitida) por todo o entorno. É um valor adimensional que varia de 0 a 1.  $FVC = 0$  significa que o céu está completamente obstruído e a radiação de onda longa de saída é mantida no interior dos cânions urbanos.  $FVC = 1$  significa que o céu está completamente aberto e a radiação é livremente emitida para fora da camada do dossel urbano.

Por causa de seu importante papel em programas de balanço energético, o SVF tem sido comumente adaptado para relacionar a geometria urbana com a manifestação da Ilha de Calor Urbana em estudos de climatologia urbana (UNGER, 2004). Em resumo, quanto menor o FVC maior a probabilidade de manifestação da ICU.

De acordo com Santamouris (2001), há estreita relação entre o padrão de temperatura das superfícies e a geometria das ruas. Quanto maior for o fator de visão de céu, menor a temperatura das superfícies devido menor exposição a radiação solar (BOURBIA; AWBI, 2004). Entretanto, a temperatura média do ar nas ruas é governada por fatores mais complexos e específicos, apesar de também ser influenciada pela geometria do cânion.

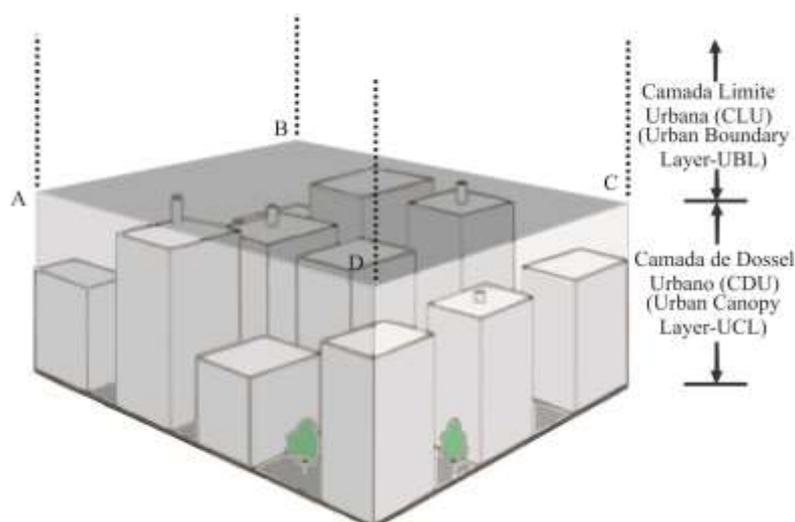
Santamouris (2001) evidencia que a temperatura do ar na região central do cânion não é influenciada pela orientação da rua em nenhum período do dia, sendo controlada pelos processos de circulação do ar. A influência exercida pela orientação das ruas no cânion urbano se manifesta na temperatura das superfícies e na temperatura da camada de ar junto às fachadas.

### **2.1.2. Balanço de Energia em Superfícies Urbanas**

O balanço de energia na interface superfície-atmosfera é determinado pelos ganhos e perdas de energia e pelo armazenamento da energia no interior do dossel urbano.

O equilíbrio entre os termos da equação do balanço de energia na superfície urbana é substancialmente diferente quando comparado com o observado em regiões rurais adjacentes. O armazenamento maior de radiação solar, a retenção da radiação infravermelha emitida pelos cânions e as fontes de calor antropogênicas (veicular, estacionária e metabólica) adicionam uma quantidade maior de energia na região urbana. Estes fatores contribuem para que o balanço de energia nas cidades seja mais positivo (ganho de energia maior) do que nas regiões rurais adjacentes (FERREIRA, 2010).

Embora possamos identificar muitos elementos de superfície individuais na área urbana (pavimento, paredes, vegetação, telhados, etc.), a abordagem de Oke (1988a) trata estes simplesmente como faces de uma superfície urbana integrada, que é um volume. A Figura 4 ilustra a visão conceitual deste volume de dossel urbano, contendo elementos de rugosidade, como árvores e edifícios, superfícies horizontais, como estradas, calçadas e telhados e o ar contido no interior do dossel.



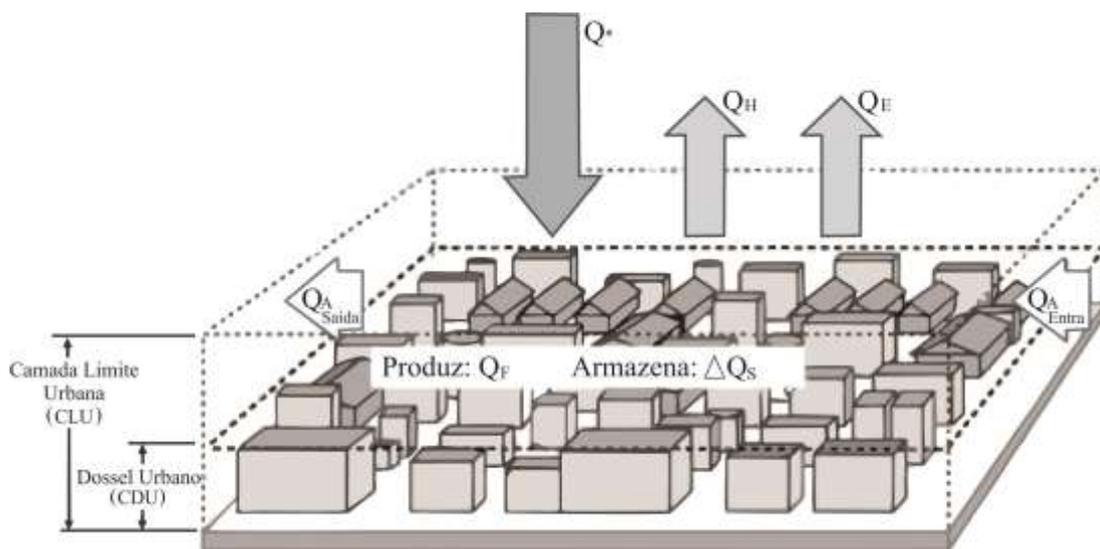
**Figura 4 - Volume do dossel urbano**  
**Fonte:** Adaptado de Oke (1988a)

Uma maneira de calcular o balanço de energia em uma porção da área urbana é por meio da determinação do balanço de energia no elemento de volume que envolve esta área. No caso do Dossel Urbano (OKE, 1988a), o balanço de energia é representado, considerando a lei de conservação de energia, como a soma de todas as trocas de calor ao longo das superfícies do volume de controle. Este conceito pode ser descrito pela Equação 1.

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

em que  $Q^*$  é toda a radiação líquida (saldo de radiação), o que poderia ser descrito como a diferença entre a entrada e saída de radiação de onda curta (solar) e de onda longa (terrestre) (BROTZGE; CRAWFORD, 2003; CHRISTEN; VOOGT, 2004). O termo  $Q_F$  representa o fluxo de calor antropogênico resultante das emissões veiculares, do aquecimento e arrefecimento de edifícios, do processamento industrial, e da liberação de calor metabólico de homeotérmicos (GRIMMOND 1992; SAILOR; LU, 2004),  $Q_H$  é o fluxo turbulento de calor sensível, que normalmente representa o calor libertado pelas estruturas edificadas,  $Q_E$  representa o fluxo turbulento de calor latente, que conduz a mudança da água na fase líquida, presente na superfície, para a fase de vapor, que é, em sua maior parte, proveniente da vegetação presente no dossel urbano. O termo  $\Delta Q_S$  representa o fluxo de calor armazenado dentro das estruturas do dossel urbano e  $\Delta Q_A$  a advecção horizontal de calor sensível e latente.

Devido à complexa configuração das superfícies urbanas a equação do balanço de energia não pode ser resolvida realisticamente para cada ponto da superfície. Este balanço é abordado de forma simplificada, estimando as componentes da equação considerando um volume que engloba todo o dossel urbano estudado (OKE, 1988a). O balanço de energia urbano é então a soma dos saldos de energia das superfícies urbanas individuais, devidamente ponderados pela sua área (CHRISTEN; VOGT, 2004).



**Figura 5** - Representação esquemática das componentes do balanço de energia na região urbana considerando um volume de controle envolvendo todo o dossel urbano

Fonte: Adaptado de Oke (1988a)

### 2.1.2.1. Resultados sobre o balanço de energia em Cuiabá

Callejas (2012) observa, para zona urbana de Cuiabá, que o fluxo de calor antropogênico ( $Q_F$ ), dissipado dentro do dossel urbano pela ação antrópica, tem pouca contribuição na energia disponível no meio durante o dia, no entanto, durante a noite, devido à supressão da radiação solar direta, sua contribuição chega a representar 1/3 da energia disponível.

Considerando a maior quantidade de superfícies, com elevada capacidade de absorção energética, presentes no espaço urbano da cidade de Cuiabá, durante o dia, o fluxo de calor armazenado dentro do dossel urbano é superior ao fluxo de calor armazenado no solo em ambientes rurais. Os fluxos de calor sensível ( $Q_H$ ) e latente ( $Q_E$ ), no período noturno, são alimentados pela dissipação do fluxo de calor sensível armazenado durante o dia dentro do dossel urbano ( $\Delta Q_S$ ) (CALLEJAS, 2012).

### 2.1.3. Zonas Climáticas Urbanas

Uma vez que existem cidades com características urbanísticas diferenciadas, os efeitos da urbanização, em cada uma delas, também são distintos, considerando fatores de densidade populacional, tamanho, nível industrial, ou padrão de tráfego. O conhecimento obtido a partir de algumas cidades pode não ser ampliado para uma escala global (KING et al., 2003., RAMANATHAN et al., 2001, SHEPHERD et al., 2002). Além disso, podemos observar diferenciações morfológicas dentro de uma mesma cidade, caracterizando balanços energéticos diferenciados para os diversos sítios dentro de um mesmo espaço urbano.

Destaca-se a necessidade de descrever adequadamente as propriedades das áreas urbanas que efetivamente afetam a atmosfera. Neste contexto destacam-se as propriedades da estrutura urbana (dimensões dos edifícios e os espaços entre eles, as larguras das ruas e espaçamentos de rua), da cobertura urbana (revestimentos dos edifícios, pavimentação, vegetação, solo exposto, água), do tecido urbano (construção e materiais naturais) e do metabolismo urbano (calor, água e poluentes devido à atividade humana) (OKE, 2004b).

Considerando o esquema de classificação urbana para fins climáticos proposto por Ellefsen (1990/91), pode-se descrever a estrutura urbana pela rugosidade, pelo fluxo de ar e pelo acesso a radiação solar. Indiretamente incluem-se aspectos de cobertura urbana, tecidos e metabolismo, pois uma determinada estrutura traz consigo o tipo de cobertura, materiais e grau de atividade humana inerentes a ela. Um esquema simples de Zonas Climáticas Urbanas (ZCU) (Urban Climate Zones - UCZ) é ilustrado no Quadro 2, elaborada por Oke (2004b), incorporando os grupos de zonas propostos por Ellefsen (1990/91). O quadro incorpora ainda um valor médio dos elementos de rugosidade urbana ( $Z_g$ ), que define a altura da sub-camada rugosa na qual observa-se uma influência dos edifícios nos fluxos de ar, além de uma medida da geometria do cânion urbano ( $H/W$ ), e uma proporção de cobertura de superfície (% de construção), que está relacionada com o grau de permeabilidade do solo.

A importância da ZCU não se dá pela precisão absoluta em descrever o sítio urbano, mas na capacidade de classificar as áreas de assentamento com balanços energéticos semelhantes, e identificar possíveis transições para diferentes zonas climáticas urbanas. As categorias apresentadas por Oke (2004b) podem ser adaptadas para acomodar formas urbanas especiais, características de algumas cidades antigas ou

de desenvolvimento urbano não planejado, como é o caso da maioria das cidades brasileiras.

**Quadro 2** - Classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem decrescente de sua capacidade de impactar o clima local.

Zona Climática Urbana (ZCU)	Perfil	Zg(m)	H/W	% Impermeável
Área intensamente desenvolvida com construções altas isoladas, por exemplo, torres do centro comercial.		8	> 2	> 90
Área intensamente desenvolvida e de alta densidade urbana, com edifícios de 2-5 andares, por exemplo, núcleo da cidade velha.		7	1,0 - 2,5	> 85
Área altamente desenvolvida, de média densidade urbana com moradias isoladas, lojas e apartamentos, por exemplo, habitação urbana.		7	0,5 - 1,5	70 - 85
Área altamente desenvolvida, de baixa ou média densidade urbana com grandes edifícios baixos e estacionamento pavimentado, por exemplo, shoppings, armazéns.		5	0,05 - 0,2	70 - 95
Área de médio desenvolvimento, baixa densidade suburbana com uma ou duas casas de andares, por exemplo, habitação suburbana.		6	0,2 - 0,6 (> 1 se arborizada)	35 - 65
Área de uso misto, com grandes edifícios na paisagem aberta, por exemplo, instituições como hospital, aeroporto, universidade.		5	0,1 - 0,5 (dependendo das árvores)	< 40
Área de desenvolvimento semi-rural, casas dispersas na área natural ou agrícola, por exemplo, vilas, fazendas.		4	> 0,05 (dependendo das árvores)	< 10

**Legenda:** Construções Vegetação Solo Impermeável Solo Permeável

**Fonte:** Adaptada a partir de Oke (2004b)

#### 2.1.4. Ilha de Calor Urbana

Nenhuma cidade está preparada para o futuro sustentável. A urbanização causa mudanças climáticas locais, poluição pela emissão de substâncias químicas tóxicas, colaboram para a extinção de espécies ou são ativas em desmatamento através do crescimento urbano direcionado pelo consumo de bens (HALL e PFEIFFER, 2000). Um

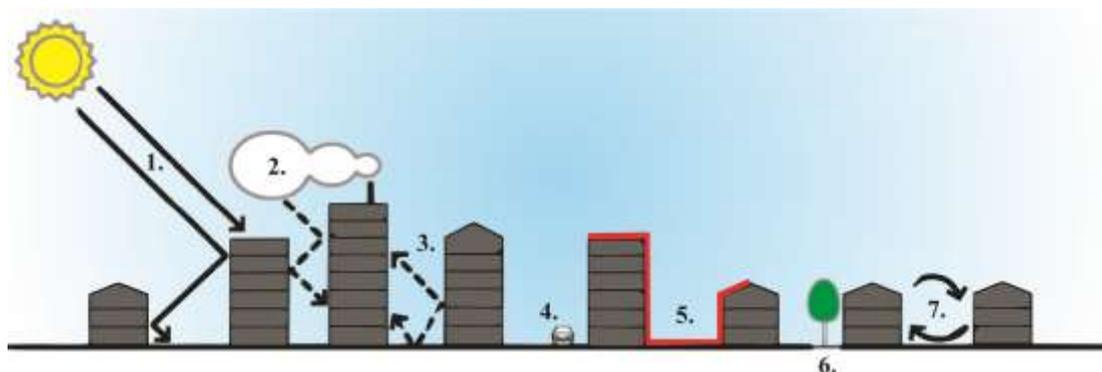
dos desafios mais importantes no estudo dos impactos da cidade sobre o meio ambiente é o fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU) (*Urban Heat Island - UHI*).

A ICU é observada em regiões urbanas densamente construídas, caracterizada pela diferenciação da temperatura do ar nestas áreas em relação a regiões próximas, não urbanizadas. Esta diferenciação é provocada pelas alterações no equilíbrio térmico natural, resultante da urbanização. A ICU é a manifestação climática mais evidente da urbanização (LANDSBERG, 1981) e sua extensão está relacionada à extensão das diferenças de temperatura em função do tempo e do espaço.

#### ***2.1.4.1. Causas da formação da ICU***

A ilha de calor urbana tem as seguintes possíveis causas (OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2001), conforme ilustrado na Figura 6.

1. Absorção de radiação de ondas curtas do sol pelo baixo albedo (reflexão) dos materiais e retenção por múltiplas reflexões entre edifícios e a superfície da rua;
2. Poluição do ar na atmosfera urbana absorve e reemite radiação de onda longa para o ambiente urbano;
3. Obstrução do céu por edifícios resulta em uma diminuição da perda de calor por radiação de ondas longas do espaço entre os edifícios (cânion). O calor é interceptado pelas superfícies de obstrução, e absorvido ou irradiados de volta para o tecido urbano;
4. Calor antropogênico é liberado por processos de combustão, tais como o tráfego de veículos, equipamentos de arrefecimento e as indústrias;
5. Aumento do armazenamento de calor pelos materiais de construção com grande absorção térmica. Além disso, as cidades têm uma área maior de superfície em relação às áreas rurais e, portanto, mais calor pode ser armazenado;
6. A evaporação das áreas urbanas é diminuída por causa de "superfícies impermeabilizadas" - materiais menos permeáveis, e menor ocorrência de vegetação em relação às áreas rurais. Como consequência, mais energia é absorvida na forma de calor sensível e pouca na forma de calor latente;
7. O transporte turbulento de calor no interior das ruas é diminuído por uma redução na velocidade do vento;



**Figura 6** - Ilustração das causas da formação da ICU  
**Fonte:** Adaptado de Oke (1987)

Em casos de climas com características térmicas extremas, o efeito da ICU pode ser largamente explicado por uma combinação das três primeiras causas (OKE et al., 1991).

#### **2.1.4.2. Estudos sobre a ICU**

Estudos sobre ICU geralmente se referem à intensidade da ilha, sendo esta a diferença máxima de temperatura entre a cidade e a área circundante, não urbanizada. A intensidade é determinada principalmente pelo balanço térmico da região e, conseqüentemente, está sujeita à variações diurnas e à condições do tempo de curto prazo. Santamouris (2001) apresenta intensidades de ilha de calor para algumas cidades, sendo, na Europa, entre 2,5 °C (Londres, Reino Unido) e 14 °C (Paris, França), na América, entre 2 °C (São Paulo, Brasil) e 10,1 °C (Calgary, Alberta), na Ásia, entre 1 °C (Singapura) e 10 °C (Pune, Índia), e, na África, entre 1,9-2 °C (Joanesburgo, África do Sul) e 4 °C (Cairo, Egito).

A ICU não é necessariamente prejudicial, especialmente em climas frios (ERELL et al., 2011). No entanto, em cidades de clima quente, ilhas de calor podem afetar seriamente o consumo de energia da área urbana, bem como o conforto e a saúde de seus habitantes. Em estudo realizado por Shimoda (2003), para a cidade de Osaka, no Japão, além de afetar a demanda de energia, o aumento da temperatura do ar também provocou estresse térmico em seus habitantes, podendo levar à redução no desempenho físico e mental e à alterações fisiológicas e comportamentais (EVANS, 1982).

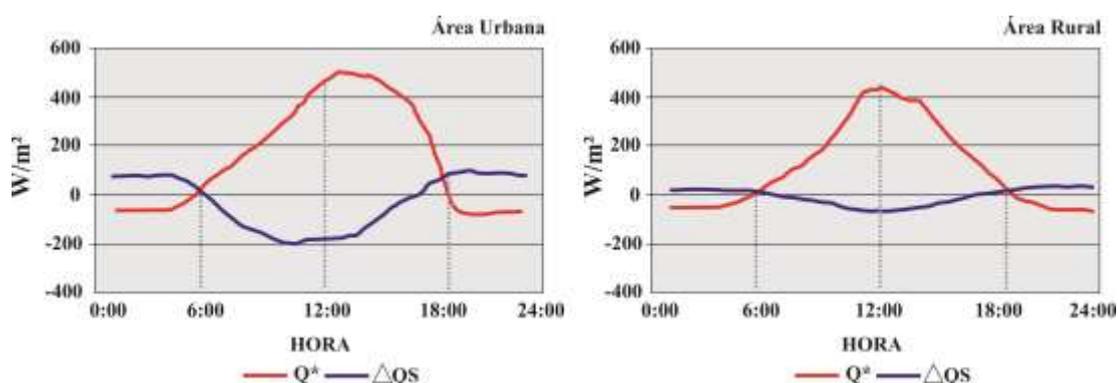
No caso das cidades tropicais, Adebayo (1987) comparou as temperaturas rurais, suburbanas e urbanas em Ibadan (Nigéria). Ele descobriu que a urbanização levou ao aumento das temperaturas médias e mínimas do ar, e a redução da temperatura máxima durante o dia, sendo esses efeitos mais evidentes durante a estação seca. Estes resultados

são semelhantes aos de outras regiões tropicais, incluindo Guadalajara, Rio de Janeiro, Cidade do México, Nairobi e cidades na Malásia (ADEBAYO, 1987).

### 2.1.4.3. Comportamento Diário da ICU

#### 2.1.4.3.1. Início do dia:

Neste momento as áreas urbanas e rurais começam a armazenar o calor devido a radiação de onda curta recebida pelo sol ( $Q^*$ ). No entanto, como a fonte de calor (o sol) é a mesma para ambas as áreas, urbana e rural, isso reduz a diferença entre o calor contido pelas estruturas das duas áreas. Este fenômeno pode ser facilmente visualizado na Figura 7 onde observa-se similaridades entre as densidades de fluxo de calor em áreas urbanas e rurais no início do dia (06h).



**Figura 7** - Comportamento diário dos componentes do balanço energético na área urbana e rural

**Fonte:** Adaptado a partir de Cleugh e Oke (1986)

Considerando o surgimento desta enorme fonte de aquecimento (o sol), tanto em áreas urbanas quanto rurais, neste período de tempo não observa-se, de forma representativa, o aquecimento do ar urbano provocado pelas propriedades térmicas das superfícies dos edifícios ou mesmo devido a fontes de calor antropogênicas.

O fluxo de calor, proveniente do tráfego de veículos, pode ter influência sobre a ICU, em particular no início e no final do dia. O impacto, no entanto, pode ser duplo, considerando que o tráfego resulta na emissão de fumaça e poluentes que, por sua vez, atenuam a  $Q^*$  (SANG et al., 2000; STANHILL; KALMA, 1995).

#### 2.1.4.3.2. Momento de pico solar:

Neste momento a  $Q^*$  será a fonte dominante de calor. Tanto as estruturas da zona urbana quanto da zona rural armazenam calor em sua máxima capacidade, enquanto liberam o calor excedente (fluxo de calor latente ( $Q_E$ ) e de calor sensível ( $Q_H$ )) para o

meio ambiente. Isto pode ser observado na Figura 7, que mostra que tanto o  $Q_H$  e  $Q_E$  têm se elevado a partir do início do dia, atingindo seu pico durante o momento de pico solar.

O fato de as superfícies urbanas possuírem maiores propriedades térmicas de absorção permite que estas tenham uma capacidade de armazenamento de calor mais elevada que as superfícies rurais. Isto é confirmado, conforme ilustrado na Figura 7, pelo fato de o fluxo de calor armazenado ( $\Delta Q_S$ ) na área urbana e rural apresentarem uma maior diferenciação durante o momento de pico solar (OKE, 1988a). Considerando a temperatura mais elevada das superfícies urbanas, somando-se às fontes de calor antropogênicas, esperava-se que a ICU fosse positiva nos horários de pico solar. No entanto, os resultados encontrados para a ICU de Hong Kong e de outras partes do mundo mostram que o fluxo de calor armazenado nas superfícies urbanas atinge o seu mínimo durante o horário de pico solar.

Uma razão para ocorrência da ICU negativa (tanto de temperatura do ar quanto de temperatura da superfície), durante o horário de pico solar, é a atenuação de  $Q^*$  devido à fumaça e poluentes existentes na atmosfera urbana. Além disso, o sombreamento das superfícies urbanas, provocado pelos altos edifícios e indivíduos arbóreos, interceptam a radiação reduzindo o aquecimento das superfícies (OKE, 1982; MEMON et al., 2009).

#### 2.1.4.3.3. *Final do dia*

Neste momento as áreas urbanas e rurais deixam de ser aquecidas pelo sol, reduzindo a intensidade da  $Q^*$ . Por outro lado, sem a presença do sol, a diferença no fluxo de calor das áreas urbana e rural deve refletir a diferença no calor armazenado durante o dia pelas respectivas estruturas e fontes de calor antropogênicas (CLEUGH; OKE, 1986).

Tendo em vista que as estruturas urbanas armazenam e liberam maior quantidade de energia, o ar em áreas urbanas também deve sofrer um maior aquecimento, quando comparado com o ar em áreas rurais (Figura 7). Desta forma, acrescentando-se o aquecimento provocado pela presença de fontes de calor antropogênicas, normalmente abundantes em áreas urbanas, a temperatura do ar baseada na ICU deverá, portanto, aumentar até ao final do dia, caracterizando a ICU positiva durante este período.

Os possíveis impactos do intenso tráfego de veículos no final do dia também podem ser considerados. As consequências do tráfego incluem a liberação de calor adicional, além da fumaça e partículas poluentes (CLEUGH; OKE, 1986).

#### *2.1.4.3.4. Noite*

Neste momento a temperatura das superfícies se apresenta como um reflexo do calor sensível armazenado ( $\Delta Q_s$ ) durante todo o dia, considerando que  $Q^*$  não caracteriza-se como uma fonte dominante de aquecimento durante a noite. Os valores mais elevados de  $\Delta Q_s$  na área urbana (Figura 7) mostram que as estruturas urbanas têm sido capazes de armazenar mais energia em comparação com aquelas na área rural. Deduz-se então que o calor contido por uma estrutura da área urbana é mais elevado do que o de uma área rural, caracterizando a ICU positiva durante a noite, confirmando os resultados observados para Hong Kong e outras partes do mundo (CLEUGH; OKE, 1986).

#### *2.1.4.4. Mitigação dos Efeitos da ICU*

Observam-se muitos estudos, realizados em todo o mundo, com o objetivo de identificar alternativas para mitigação dos efeitos da ICU, promovendo assim benefícios financeiros e ambientais. As medidas possíveis de mitigação podem ser categorizadas de forma mais ampla como:

- a) relacionadas com a redução de liberação de calor antropogênico (desligar aparelhos de ar condicionado);
- b) relacionadas com melhor concepção dos telhados (telhados vegetados, refrigeração de telhado (Spray), telhados reflexivos etc.);
- c) fatores de design e outros (umidificação, aumento do albedo, etc.)

Estas medidas também podem ser classificadas quanto à fase de sua implantação no planejamento urbano, podendo ser implementadas durante a fase de concepção e planejamento (fator de visão do céu e material de construção, etc.) e após a fase de projeto (áreas verdes e refrigeração de telhado (spray)).

As medidas mitigadoras tem se manifestado através de vários aspectos do ambiente urbano, apresentando assim diversidade nos seus benefícios. Kolokotroni et al. (2006) estudam o efeito da ventilação natural em um edifício de escritórios e observam uma redução de 10% na demanda de energia para refrigeração. Urano et al. (1999) descrevem os efeitos da redução do calor antropogênico e estudam o desempenho energético de vários formatos de edifício, evidenciando que edificações mais largas e baixas têm um melhor desempenho térmico que as estreitas e altas. Futcher (2008)

descreve os efeitos da geometria do cânion no sobreaquecimento por radiação solar, no período do verão, evidenciando que este pode ser reduzido em cânions urbanos mais estreitos, no entanto, isto pode também reduzir o fluxo de ar, promover múltiplas reflexões solares e reduzir o fator de visão do céu, o que leva à retenção de calor no interior do cânion.

Taha et al. (1999) estudaram as consequências da alteração do albedo das superfícies urbanas na temperatura do ar e na economia de energia elétrica, observando que, de uma forma geral, maiores albedos resultam em menores temperaturas das superfícies e do ar. Huang et al. (2005) demonstraram os efeitos do ambiente térmico urbano nos níveis de conforto dos pedestres.

Robitu et al.(2004) verificam as modificações provocadas pelas superfícies de água no ambiente urbano, e observaram um efeito de arrefecimento médio de 1 – 3°C se estendendo para cerca de 30 - 35 m a partir da fonte de água. Os autores ainda identificaram uma redução em torno de 1°C com a implantação de um tanque, com dimensões de 4x4m, sendo esta redução verificada a 1m de altura, 30 m distante do tanque.

A implementação de áreas verdes e árvores são as medidas de mitigação mais amplamente aplicadas, e podendo promover economias consideráveis de energia pela redução da temperatura do ar no seu entorno (KIKEGAWA et al., 2006; ASHIE et al., 1999). Schimdt (2003) considera que a vegetação provoca efeito médio de arrefecimento de 1 - 4,7°C, se espalhando de 100 a 1.000 m em uma área urbana. O autor considera, no entanto, que este efeito é altamente dependente da quantidade de água que a planta ou a árvore tem a sua disposição.

Em Cuiabá, Callejas (2012) observou que a maior quantidade de vegetação, existente em um dos sítios urbanos pesquisado, foi responsável por elevar as taxas de fluxos de calor latente em seu entorno, o que evidencia a potencialidade da vegetação em melhorar as condições termo higrométricas dos ambientes.

A modelagem computacional evoluiu como ferramenta de investigação na busca por soluções que visem a redução dos efeitos da ICU. Kikegawa et al. (2006) verificaram, através de simulações, as consequências da redução do calor antropogênico e da implementação de vegetação nas paredes laterais de edifícios na temperatura do ar e no consumo energético, chegando a verificar redução de até 1,2°C na temperatura do ar e de até 40% no consumo de energia para resfriamento do ar. Ashie et al. (1999) trabalharam com a simulação para identificar os efeitos da incorporação da vegetação na

paisagem urbana, observando redução de 0,4 a 1,3°C na temperatura do ar e, economia de até 25% no consumo de energia para resfriamento. Yu e Hien (2006) também utilizaram-se de simulações para observar os efeitos da vegetação no clima, estudaram a redução do consumo energético pela proximidade do edifício com parques e áreas verdes e chegaram a observar redução de 10% na carga energética utilizada para refrigeração.

Estudos experimentais também foram realizados tal como a investigação de campo realizada por Ca et al. (1998) que relataram os efeitos do plantio de um parque de 0,6 km<sup>2</sup> na temperatura do ar. Os autores verificaram redução de 1,5 °C na temperatura do ar e economia de 4.000 kWh em uma hora de um dia de verão. Experimentos desenvolvidos com o objetivo de estudar as estratégias de mitigação da ICU são, em sua maioria, demorados e caros o que condiciona ao uso da simulação computacional de forma a obter resultados mais rápidos e representativos, tanto de grandes como de pequenas áreas.

## **2.2. VEGETAÇÃO E CLIMA**

De acordo com Chhokar et al. (2004), arbustos, gramíneas, árvores e demais formas de vegetação natural são, geralmente, as primeiras vítimas da urbanização. A ausência de espaços verdes é característica das cidades mais contemporâneas do mundo e é apontada com uma das principais causas do efeito da Ilha de Calor Urbana (ICU) (OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2001).

O impacto térmico da vegetação no ambiente urbano tem sido explorado pelo Centro de Fontes Renováveis de Energia (CREES), na Grécia (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003). Os resultados mostraram que as áreas verdes urbanas podem melhorar o microclima e mitigar os efeitos da ICU pela redução da temperatura ambiente, além de proporcionar benefícios estéticos, bem como, segundo Chen (2006), o controle da qualidade do ar e do ruído. Mansfield et al. (2005) ainda destaca outros benefícios da utilização do telhado vegetado como a economia de energia para aquecimento ou arrefecimento dos edifícios e absorção de água da chuva, além da redução na frequência de insolação pelo sombreamento e aumento do conforto do pedestre (MATZARAKIS; ENDLER, 2010; ALI-TOUDERT; MAYER, 2007a).

O efeito da vegetação no clima urbano já é investigado há algum tempo (HONJO; TAKAKURA, 1990-1991; UPMANIS et al., 1998; AKBARI et al., 2001). Os benefícios podem ser observados não só na área de vegetação, mas também no seu

entorno, evidenciando sua eficácia em reduzir os efeitos da ICU não somente na região vegetada, mas também nas proximidades dela (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003).

Baseando-se em um modelo atmosférico de mesoescala, Avissar (1996) analisou o efeito térmico potencial da vegetação no ambiente urbano. O autor indica que a vegetação pode desempenhar um importante papel na alteração do padrão dos ventos, da temperatura e umidade do ar, das temperaturas das superfícies e da precipitação. Em um estudo desenvolvido no Rio de Janeiro, Brasil, Spangenberg et al. (2004) verificaram que um aumento na proporção de superfícies vegetadas no ambiente urbano, considerando uma ocupação de 30% de cobertura arbórea nos terrenos e 100% dos telhados vegetados, poderia recriar condições confortáveis no espaço urbano.

### **2.2.1. Mecanismos de Arrefecimento da Vegetação**

A vegetação é capaz de resfriar o ar pelo processo de evapotranspiração (ET) e pelo sombreamento das superfícies do chão e das paredes, segundo Grimmond e Oke, (1991), o que resulta na redução da temperatura radiante e superficial, segundo Ca et al., (1998) e Simpson (2002), modificação da velocidade e direção do vento, segundo Heisler (1990), redução da temperatura do ar durante a noite e filtragem da poeira e do ruído urbano, segundo Akbari (2002).

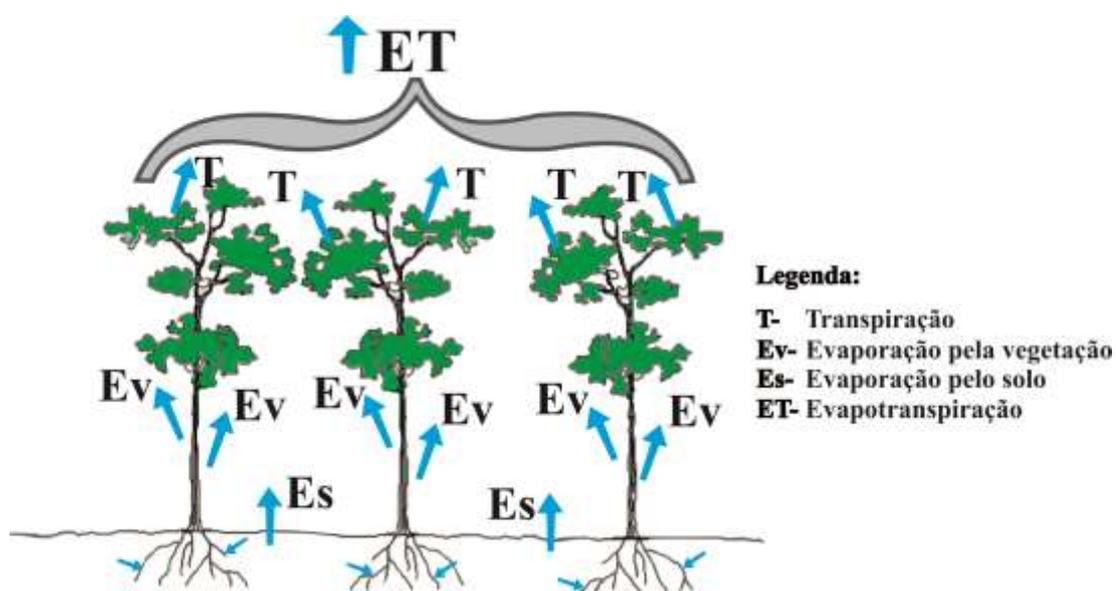
#### **2.2.1.1. Evapotranspiração**

O mecanismo mais importante, através do qual a vegetação e o solo contribuem para a redução de altas temperaturas do ar, observadas nas áreas urbanas, é a evapotranspiração (ET). Este mecanismo descreve uma somatória dos processos de evaporação da água, presente na superfície vegetada, e de transpiração da planta (SOUCH; SOUCH, 1993).

A evaporação trata da transformação da água, presente no solo e nas superfícies da planta, em vapor d'água e a transpiração trata da perda da água pelo processo de abertura e fechamento dos estômatos, presentes nas células da planta. Ambos os processos são fundamentados no consumo da energia térmica, presente no ar, para a transformação da água, originalmente em estado líquido, para o estado de vapor (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2007; SIMPSON; McPHERSON, 2001; MITCHELL et al., 2007).

A evapotranspiração desempenha um papel importante no ciclo de água. As plantas absorvem a água presente no solo, pelas raízes, e a conduzem até as folhas, onde

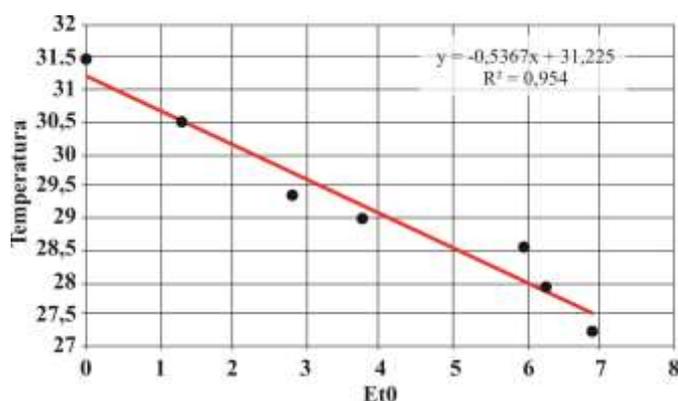
ocorre a transpiração (Figura 8). Neste processo a água pode ser evaporada pelo solo e pelas superfícies da planta, tais como o caule. A evapotranspiração cria zonas de temperatura mais baixa dentro do ambiente urbano, o que é definido como "fenômeno de oásis", e é capaz de reduzir os picos de temperatura do ar, observados no verão, aumentar a umidade do ar e contribuir para a criação de condições confortáveis de ocupação urbana (SIMPSON; McPHERSON, 2001; MITCHELL et al., 2007).



**Figura 8** - Processo de evapotranspiração  
**Fonte:** Georgi e Dimitriou (2010)

Em estudos desenvolvidos na Grécia, Georgi e Dimitriou (2010) observaram que algumas espécies de vegetação realizam a evapotranspiração com maior facilidade. Os resultados destacaram o Ficus (planta tropical) como a espécie mais eficaz no desenvolvimento deste mecanismo, sendo seguida por espécies de Figueiras, Pinheiros, Palmeiras, Laranjeiras e Oliveiras.

O gráfico, ilustrado na Figura 9, mostra a redução na temperatura do ar provocada pelo aumento do potencial de evapotranspiração das espécies vegetais. Os resultados foram obtidos através de um experimento realizado por Georgi e Dimitriou (2010), na Prefeitura de Chania, no sul da Grécia, entre 8 e 30 de Junho de 2005.



**Figura 9** - Temperatura do ar x Evapotranspiração  
**Fonte:** Georgi e Dimitriou (2010)

O potencial de arrefecimento de uma planta, pelo processo de evapotranspiração, está intimamente ligado à disponibilidade de água no solo. Victor et al. (1999) observaram o balanço de energia em uma área de vegetação natural no sul da Cidade do México, e indicaram que a radiação líquida foi dissipada principalmente pelo calor sensível, durante a estação seca, enquanto que, na estação chuvosa, as trocas se dão, principalmente, pelo calor latente. As diferenças sazonais foram causadas pela disponibilidade de água e pela fenologia da planta (VICTOR et al., 1999).

### 2.2.1.2. Sombreamento

Em estudos de campo acerca da influência da vegetação, Oke (1989) afirma que, em pequenos espaços verdes, o efeito atenuante do calor advém principalmente do sombreamento que espécies arbóreas proporcionam. Além do fato de as superfícies da vegetação apresentarem menores temperaturas radiantes que outras superfícies construídas de igual albedo, as superfícies sombreadas também emitem menos radiação de ondas longas, devido à menor temperatura atingida por estas superfícies (CHEN, 2006).

Destacam-se muitos estudos que abordam a mitigação do estresse térmico pela incorporação de vegetação em regiões quentes e áridas (MONTEIRO et al., 2003; MASMOUDI; MAZOUR, 2004; ALI-TOUDERT; MAYER, 2006, 2007b; SHASHUA-BAR et al., 2010) e em latitudes médias (MATZARAKIS et al., 1999b; PICOT, 2004; ROBITU et al., 2006; ALI-TOUDERT; MAYER 2007a; LIN et al., 2010). Em geral, esses estudos mostram que o sombreamento da vegetação tem um grande efeito na redução do estresse por calor em áreas urbanas.

Shashua-Bar e Hoffman (2000) verificaram que os efeitos de orientação e geometria de um cânion urbano são fortemente minimizados pelo sombreamento das árvores, sendo que o efeito de arrefecimento passa a depender principalmente da quantidade e extensão da área sombreada (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2004).

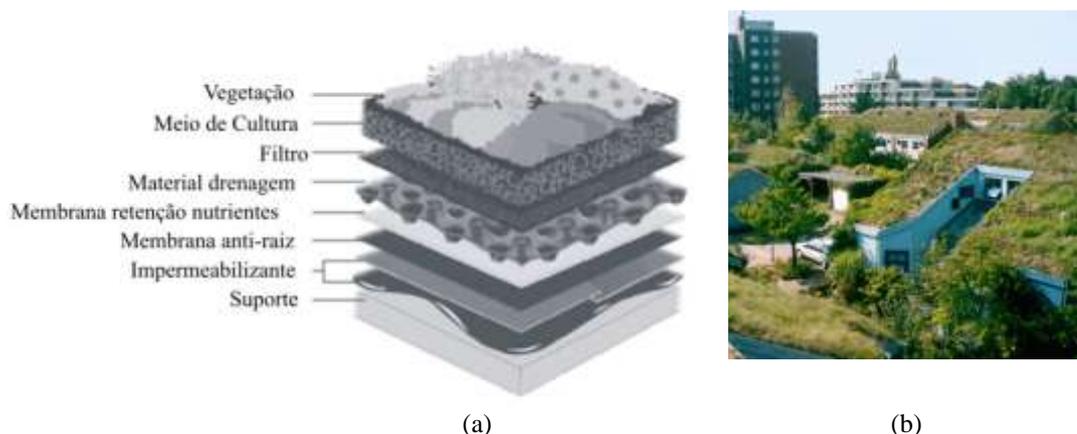
### **2.2.2. Telhado vegetado**

Como visto anteriormente, muitos estudos estabelecem uma correlação entre o aumento das áreas verdes urbanas e a redução da temperatura do ar local (TAKEBAYASHI; MORIYAMA, 2007), sugerindo o aumento da vegetação urbana como uma estratégia possível e efetiva de mitigação dos efeitos da ICU. Considerando que, em áreas densamente urbanizadas, existem poucos espaços residuais com potencial para serem convertidos em áreas verdes, uma possível solução para incorporação da vegetação dentro do contexto urbano seria a transformação dos telhados tradicionais dos edifícios em telhados vegetados.

Telhados constituem cerca 20 a 25% da superfície urbana (AKBARI et al., 2003), sua utilização como área vegetada pode dar origem a muitos benefícios, tanto na redução dos efeitos da ICU, quanto na melhoria da qualidade do ar, gestão de águas pluviais, aumento da biodiversidade e melhorias no conforto do pedestre (OBERNDORFER et al., 2007). Além disso, os telhados vegetados pode aumentar a vida útil dos materiais de construção abaixo do solo, reduzir o ruído e o consumo energético da construção, especialmente durante o verão (SAIZ et al., 2006).

Brownlie (1990) descreve o telhado vegetado como “uma área de plantações ornamentais, geralmente com um substrato natural, isolado do solo por uma estrutura feita pelo homem, de pelo menos um andar”. O sistema de telhados vegetados (Figura 10) consiste na sobreposição de diversas camadas sobre uma superfície estrutural (suporte), que de modo geral incluem: membrana a prova de água (membrana impermeabilizante e anti-raiz), sistema de drenagem (membrana de retenção de nutrientes, material de drenagem e filtro), substrato (meio de cultura das vegetações) e vegetação (plantas). O número e tipo de camadas podem variar de acordo com a especificidade do sistema implantado.

Os solos utilizados em sistemas de coberturas verdes geralmente são projetados para oferecer o melhor suporte para as plantas com o menor peso. As misturas típicas de solo são compostas de 75 - 80% de materiais inorgânicos leves, como a vermiculita, e 20 - 25% de materiais orgânicos, tais como terra vegetal (WILSON; PELLETIER, 2001).

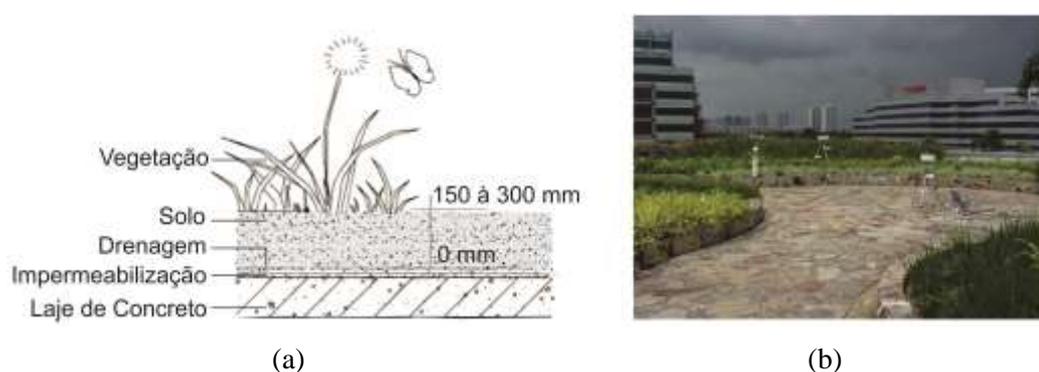


**Figura 10** - (a) Ilustração dos componentes de um telhado vegetado tradicional (b) Coberturas verdes extensivas (Austrália)  
**Fonte:** Prowell (2006)

### 2.2.2.1. Classificação dos telhados vegetados

#### 2.2.2.1.1. Telhados vegetados intensivos

A cobertura intensiva possibilita a instalação de diversas espécies de vegetações, que vão desde gramíneas e arbustos, até plantas arbóreas (CONNELLY; LIU, 2005), com necessidade de manutenções periódicas como irrigação, podas e fertilização. Esta tipologia de cobertura necessita de camada de solo mais espessa, de acordo com a necessidade da planta, normalmente de 150 a 300 mm, no mínimo (Figura 11), podendo incorporar uma sobrecarga superior a 400 Kg/m<sup>2</sup> na estrutura da edificação (INGRA, 2011). Jardins intensivos são frequentemente concebidos para serem utilizados, pelos ocupantes de um edifício, como área de convívio (GARTLAND, 2010).

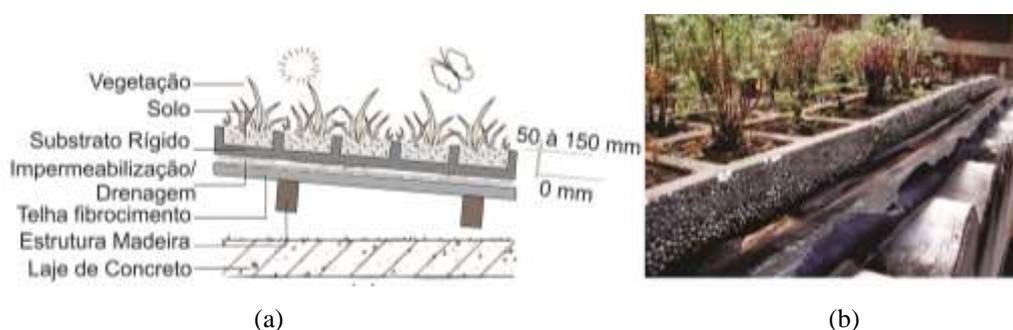


**Figura 11** - (a) Detalhe das camadas de telhado vegetado intensivo e (b) Exemplo de telhado vegetado de sistema intensivo em Singapura.  
**Fonte:** Adaptado de Chen (2006)

Como resultado da diversidade vegetal e das diferentes espessuras de solo que as coberturas verdes intensivas suportam, faz-se necessário, antes de sua instalação no edifício, a realização de cálculos específicos para dimensionamento de sua estrutura suporte (DUNNEST; KINGSBURY, 2003).

### 2.2.2.1.2. Telhados vegetados extensivos

Os sistemas extensivos de coberturas requerem menor manutenção, pois, geralmente, utilizam espécies vegetais que, após consolidadas, não requerem cuidados constantes ou especiais (CONNELLY, 2005). A camada de substrato possui espessura aproximada de 10 cm, e as plantas são rasteiras, como as gramíneas. Esta tipologia de cobertura (Figura 12) necessita de camada drenante e retentora de água, capaz de proporcionar o efeito de eliminar a água excedente, que pode ser captada, possibilitando seu retorno para o sistema de irrigação da cobertura. O peso do solo saturado de água varia de 73kg/m<sup>2</sup> a 170kg/m<sup>2</sup>, com espessura entre 50 e 150mm (PECK; KUHN, 2006).



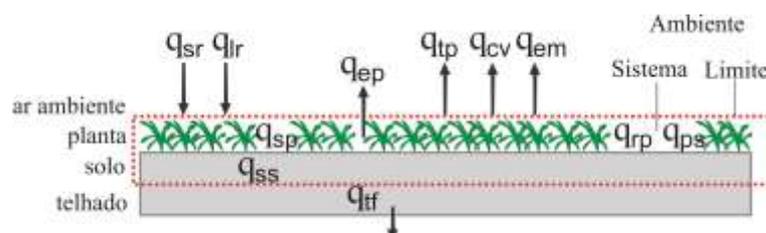
**Figura 12** - (a) Detalhe das camadas de telhado vegetado extensivo e (b) Telhado Vegetado extensivo em Cuiabá-MT/Brasil.

**Fonte:** Adaptado de Rosseti (2009)

Os telhados tradicionais podem ser convertidos em telhados vegetados extensivos que, considerando sua reduzida sobrecarga, dispensa a incorporação de um reforço à estrutura existente (CASTLETON et al, 2010; JOHNSTON; NEWTON, 2004). As coberturas não precisam ser planas para abrigar jardins extensivos, estes podem ser cultivados em telhados com inclinações de até 30° (GARTLAND, 2010).

### 2.2.2.2. Equação do balanço de energia em coberturas verdes

Considerando-se as plantas e o solo como o sistema, e o telhado estrutural e o ar como o ambiente, as trocas de energia entre o sistema solo-planta e o meio ambiente são obtidas conforme ilustrado na Figura 13.



**Figura 13** - Troca de energia entre um telhado vegetado extensivo e seu ambiente.

**Fonte:** Feng et al. (2010)

Considerando a primeira lei da termodinâmica, a equação do balanço de energia dos telhados vegetados é obtida conforme a Equação 2 (FENG et al., 2010):

$$q_{sr} + q_{lr} + q_{cv} - q_{em} - q_{tp} - q_{ep} - q_{sp} - q_{ss} - q_{tf} - q_{ps} + q_{rp} = 0 \quad \text{Equação 2}$$

onde  $Q_{SR}$  representa o ganho de calor por radiação solar,  $Q_{LR}$  o ganho do calor através de radiação de ondas longas,  $Q_{CV}$  a transferência de calor por convecção,  $Q_{EM}$  a perda de calor por emissão,  $Q_{TP}$  a perda de calor pela transpiração,  $Q_{EP}$  a perda de calor por evaporação,  $Q_{SP}$  o armazenamento de calor pelas plantas,  $Q_{SS}$  o armazenamento de calor pelo solo,  $Q_{TF}$  o calor transferido para o edifício,  $Q_{PS}$  a energia solar convertida pelo processo de fotossíntese e  $Q_{RP}$  a geração de calor pela respiração. A unidade de todos os termos da Equação 2 é  $W/m^2$ , e os valores positivos representam o ganho de calor, enquanto que os negativos representam a perda de calor ou o armazenamento.

Feng et al. (2010) instalaram na cobertura do edifício de Pesquisa no Ambiente Construído e Laboratório de Energia da Universidade de Tecnologia do Sul da China, em Guangzhou, um telhado vegetado extensivo, com 4 cm de profundidade de solo. Foram obtidos 11 dias de dados experimentais, de 11 à 21 de julho de 2009. Os resultados experimentais demonstraram que, dentro de 24 horas de um dia típico de verão, quando o solo se encontrava rico em teor de água, a radiação solar representou 99,1% do ganho de calor total de um telhado vegetado, enquanto a transferência por convecção representou 0,9%. De todo o calor dissipado, 58,4% se deu pela evapotranspiração do sistema solo-planta, 30,9% pelas trocas radiativas entre o dossel e a atmosfera (ondas curtas e longas), e 9,5% pela fotossíntese das plantas. Apenas 1,2% foi armazenado nas plantas e no solo, ou transferidos para o edifício (FENG et al., 2010).

### ***2.2.2.3. Efeitos da implantação do Telhado vegetado***

A seguir será apresentada uma abordagem sistêmica dos efeitos decorrentes da implantação de telhados vegetados em diversas localidades e realidades climáticas. Os resultados poderão ser visualizados de forma sucinta no Quadro 3, apresentado a seguir. Os efeitos serão melhor detalhados nos subitens que seguem nesta seção.

**Quadro 3 - Resumo dos resultados quantitativos dos ordenamentos da abordagem sistêmica sobre telhado vegetado**

Benefício	Cidade	Clima	Lat./Elev.	Referência	Resultados		
Conforto térmico no interior dos edifícios	Osaka (Japão)	Subtropical Úmido	34°40'54"N/83m	Onmura (2001)	Telhado vegetado (IAF=1) diminuem 50% do fluxo de calor pela cobertura		
	Singapura (Singapura)	Equatorial	1°17'22" N/1m	Chen (2006)	Telhados vegetados (IAF=5) diminuem 80% do fluxo de calor pela cobertura		
				Wong (2003)	Redução de 78% do ganho de calor pelo telhado		
	Londres (UK)	Temperado Oceânico	51°30'30"N/21m	Gupta et al. (2011)	Telhado (IAF 5) sobre laje em concreto impermeabilizado.	Temperatura do ar interno - Verão:	150mm de solo: redução de 8°C 450mm de solo: Redução de 11,6°C
						Temperatura do ar interno - Inverno	150mm de solo: Elevação de 6°C 450mm de solo: Elevação de 7,4°C
Cuiabá (Brasil)	Tropical	15°35'46" S/176m	Rosseti (2009)	Redução de 4,7°C na temperatura do ar interno			
Redução no orçamento energético dos edifícios	Singapura (Singapura)	Equatorial	1°17'22" N/1m	Chen (2006)	Consumo anual de energia - Telhado vegetado sobre telhado padrão (sem laje)	cobertura em vegetação rasteira redução de 19MWh (9,5%)	
						cobertura em vegetação arbustiva redução de 29MWh (19,5%)	
					Consumo anual de energia - Telhado vegetado sobre laje	cobertura em vegetação rasteira redução de 11MWh (0,6%)	
						cobertura em vegetação arbustiva redução de 3MWh (1,8%)	
					Consumo no pico - Telhado vegetado sobre telhado padrão (sem laje)	cobertura em vegetação rasteira redução de 43,1kWh (46,9%)	
						cobertura em vegetação arbustiva redução de 72,48kWh (78,9%)	
	Consumo no pico - Telhado vegetado sobre laje	cobertura em vegetação rasteira redução de 3,69kWh (17,0%)					
		cobertura em vegetação arbustiva redução de 12,66kWh (58,2%)					
	Londres (UK)	Temperado Oceânico	51°30'30"N/ 21m	Gupta et al. (2011)	Consumo anual de energia	150mm de solo: redução de 13,5% (IAF 0,002) redução de 15% (IAF 5)	
						450mm de solo: redução de 18% (IAF 0,002) redução de 19,5% (IAF 5)	
Campinas (Brasil)	Tropical de Altitude	22°54'20" S/854m	Mello et al. (2011)	Economia no consumo diário de energia	100mm de solo 622,2kWh(40%) R\$279,64 por dia		
Redução dos efeitos das Ilhas de Calor Urbanas - ICU	Toronto (Canadá)	Temperado Continental Úmido	43°42'00" N/173 m	Bass (2002)	Temperatura do ar em mesoescala urbana	em 5% dos telhados redução de 0,5°C	
	Cuiabá (Brasil)	Tropical	15°35'46" S/176m	Rosseti (2013a)		Entorno do telhado vegetado	em 10% dos telhados redução de 2,8°C
					temperatura do ar umidade do ar		redução de 0,75°C aumento de 12,3°

Quadro 3 – cont.

Benefício	Cidade	Clima	Lat./Elev.	Referência	Resultados		
Implicações no manejo das águas das chuvas	Portland, Oregon (USA)	Temperado Oceânico	45°31'24" N /61m	Hutshinson et al. (2003)	Absorção da água de chuva	solo de 200 a 400mm de espessura	dias secos em torno de 100%
	Athens, Georgia (USA)	Subtropical Úmido	33°56'59" N/ 194 m	Carter e Rasmussen (2005)	Absorção da água de chuva Atraso no momento do pico	solo de 75mm de espessura	dias úmidos 10 à 20%
	idades da Alemanha	Temperado quente e úmido	–	Mentens et al. (2006)	Escoamento anual da água da chuva	telhado intensivo telhado extensivo	80% 18min
	Rio de Janeiro (Brasil)	Tropical	22°54'10"S/ 2m	Oliveira (2009)	Absorção da água de chuva Atraso no momento do pico	solo de 100mm de espessura	85 a 65% 81 a 27%
	São Carlos-SP	Temperado Úmido	22°01'03"S/854m	Ohnuma Jr. et al. (2011)	Absorção da água de chuva	eficiência em relação ao telhado convencional	56%
	Curitiba -PR	Temperado Úmido	25°25'40"S/934m	Baldessar (2012)			39,7%
Impactos na redução da poluição	Londres (UK)	Temperado Oceânico	51°30'30" N/21m	Johnson e Newton (1996)	Redução de material particulado do ar	2000m <sup>2</sup> de telhado vegetado	4.000kg
	Frankfurt (Alemanha)	Temperado Oceânico	49°40'59" N/365 m	Minke e Witter (1982)	Produção de oxigênio	1m <sup>2</sup> de grama	necessário para 1 indivíduo por 1 ano
	Detroit, Michigan (USA)	Temperado Úmido	42°19'53" N/181 m	Clark et al. (2005)	Remoção de NO <sub>2</sub> do ar	20% da cidade com telhados vegetados	889 toneladas
	Singapura (Singapura)	Equatorial	1°17'22" N/1m	Tan e Sai (2005)	Remoção de SO <sub>2</sub> do ar Remoção de HNO <sub>2</sub> do ar	75% da área de estudo com telhado vegetado	37% 21%
	Washington, D Columbia (USA)	Subtropical Úmido	38°53'42" N/11 m	Deutsch et al. (2005)	Remoção da poluição do ar	20% da cidade com telhados vegetados	equivalente a 17.000 árvores
Redução do Ruído	–	–	–	Van Renterghem e Botterlidooren (2008)	Diminuição do ruído urbano	80% da área de estudo com telhado vegetado	6dB a 1.000Hz
	Frankfurt (Alemanha)	Temperado Oceânico	49°40'59" N/365 m	Dunnett e Kingsbury (2004)	Diminuição do ruído local	Telhado do Aeroporto	5dB
Preservação do habitat	Basel (Suíça)	Oceânico	47°33'33" N/261 m	Brenneisen (2003)	Ambiente de desenvolvimento de seres vivos	Aranhas	78 espécies
						Besouros	254 espécies (11% ameaçados de extinção)
	Dearborn, Michigan (USA)	Continental Úmido	42°19'20" N/181 m	Coffman e Davis (2005)		Aranhas	7 espécies
						Insetos	29 espécies
					Aves	2 espécies	

Fonte: Rosseti et al. (2013a)

#### 2.2.2.3.1. Mitigação dos efeitos da ICU

Chen (2006) evidencia que tanto telhados vegetados intensivos quanto extensivos trazem benefícios térmicos ao ambiente, reduzindo a temperatura das superfícies, resfriando o ar, reduzindo a radiação refletida, a temperatura de globo, e o fluxo de calor pelo telhado.

Sem o efeito da radiação solar direta, a carga radiativa do ambiente depende principalmente da quantidade de radiação de onda longa emitida a partir das superfícies, que será maior quanto maior for a temperatura desta superfície (CHEN, 2006). Wong et al. (2003) observaram, em um estudo realizado na cidade de Toronto, que a laje de concreto, sem a vegetação, atinge temperatura superficial máxima de 57°C durante a tarde, apresentando uma amplitude diária em torno de 30°C. A temperatura máxima observada nas regiões vegetadas do telhado não ultrapassou 36 °C. Para a vegetação mais densa, a amplitude diária foi de 3°C e a temperatura superficial máxima 26°C, confirmando a proteção térmica provocada pela vegetação.

Considerando a maior quantidade de radiação absorvida pelas superfícies do edifício durante o dia, estas apresentam temperaturas superficiais mais elevadas e, conseqüentemente, emitem maior quantidade de radiação de onda longa para o ambiente durante a noite. As superfícies vegetadas, por outro lado, absorvem parte da radiação solar e protegem a superfície abaixo delas, dificultando a elevação da sua temperatura. A radiação de onda longa emitida pelos telhados vegetados, por conseguinte, é muito inferior do que é emitida a partir das superfícies do edifício (CHEN, 2006).

A temperatura observada nas superfícies vegetadas varia de acordo com o Índice de Área Foliar (IAF) (*Leaf Area Index - LAI*) das plantas, definido por Wandelli e Marques (1999) como a área foliar total por unidade de área de solo ( $m^2/m^2$ ). Normalmente, as temperaturas mais baixas foram verificadas sob a folhagem mais densa (IAF=5), enquanto as temperaturas mais elevadas foram obtidas sob a vegetação mais esparsa ou apenas no solo nu (IAF=0) (CHEN, 2006).

O efeito de arrefecimento das plantas no ar também foi confirmado por Chen (2006) pela observação da temperatura do ar, medida em diferentes alturas, sobre telhados vegetados existentes na cidade de Cingapura. Foi observada diferença máxima de 4,2°C, na temperatura do ar, entre os telhados com e sem vegetação. A redução na emissão de radiação de onda longa, a partir do telhado plantado, foi confirmada pela comparação das temperaturas globais medidas no local. A maior diferença na

temperatura global e na temperatura radiante média foram 4,05°C e 4,50°C, respectivamente, logo após o pôr do sol (CHEN, 2006).

Bass (2002) realizou um estudo, através de simulações computacionais utilizando modelo climático de mesoescala, para explorar o papel de telhados vegetados na mitigação dos efeitos da ICU, em Toronto, Canadá. Como resultado, observou-se redução de 0,5°C na ilha de calor urbana quando 5% da área total de telhados da cidade foi substituída por telhados vegetados. O impacto da utilização da vegetação nos telhados em uma área de alta densidade foi ainda mais pronunciado, apresentando redução de 1 a 2°C nas temperaturas do ar em toda a cidade. O modelo previu ainda que, se coberturas verdes fossem instaladas em 10% dos telhados, a temperatura do ar, na camada limite urbana, poderia ser reduzida em até 2,8°C (BASS, 2002).

#### 2.2.2.3.2. *Conforto térmico no interior dos edifícios*

Um telhado vegetado reduz a temperatura da superfície do telhado e acrescenta camadas de isolamento que desaceleram o fluxo de calor pela cobertura. Com isso, menor energia térmica é transferida do telhado para o interior do edifício (GARTLAND, 2010). A magnitude do isolamento depende dos valores do Índice de Área Foliar (IAF), da vegetação empregada no sistema e da espessura do solo (CHEN; BLACK, 1992).

Em comparação com uma tipologia de telhado convencional, as plantas com IAF baixo (IAF=1) podem reduzir pela metade o fluxo de calor em clima subtropical úmido (ONMURA; MATSUMOTO; HOKOI, 2001), e as plantas com IAF elevado (IAF=5) podem evitar que mais de 80% do fluxo de calor chegue ao interior do edifício, conforme verificado por Chen (2006), em Singapura.

A cobertura é o fechamento pelo qual ocorrem as maiores transferências de fluxo de calor em um edifício e diferentes tipologias de cobertura resultam em ambientes térmicos diferenciados. Tem-se como exemplo, o estudo de Gupta et al. (2011), realizado em clima temperado oceânico, na cidade de Londres, para o período do verão, no qual observaram redução de 8°C na temperatura do ar interior do edifício, a partir da incorporação à cobertura em concreto impermeabilizado de telhado vegetado com espessura de 150mm e alta densidade de folhagem (IAF=5). Quando utilizada maior espessura de substrato, a diferença entre as temperaturas externa e interna do ar alcançou 11,6°C, no mesmo período. No inverno, quando a temperatura externa atingiu -5,9°C, o telhado vegetado (IAF=5) manteve o ambiente 6°C mais aquecido, com substrato de 150mm e 7,4°C com substrato de 450mm. Destaca-se que a densidade da vegetação é o

parâmetro mais expressivo na caracterização do desempenho térmico do telhado vegetado no verão, enquanto que, no inverno, a espessura do substrato tem maior influência.

Em região de clima equatorial, Wong et al. (2003) observou, na cidade de Singapura, que o ganho de calor em telhados vegetados foi 78% menor que no telhado desprovido do sistema. O efeito de arrefecimento das plantas foi verificado na temperatura do ar interior dos ambientes cobertos pelo sistema, tendo sido detectada diferença de temperatura de até 4,2°C.

Segundo Parizotto e Lamberts (2011), o telhado vegetado é uma estratégia causa impactos expressivos no desempenho térmico da edificação, favorecendo a obtenção de temperaturas amenas em seu interior diminuindo a dependência da utilização de sistemas de condicionamento artificial. Em uma base anual, para a cidade de Florianópolis, Brasil, o telhado vegetado reduziu o ganho de calor em 37 e 63% em relação aos telhados cerâmico e metálico, respectivamente, e aumentou a perda de calor em 22% em relação aos mesmos durante a primavera/verão. No outono/inverno a redução do ganho pelo telhado vegetado foi de 94 e 88% em relação aos telhados cerâmico e metálico, respectivamente, e o aumento da perda foi de 65 e 30% em relação aos mesmos.

Este mesmo autor evidencia, também, a necessidade de dimensionamento adequado dos componentes das coberturas verdes, como, por exemplo, a espessura do substrato e a espécie da vegetação, para que o desempenho térmico da edificação nos períodos frios não seja comprometido, permitindo um melhor desempenho médio anual.

Os resultados acima descritos evidenciam que o telhado vegetado pode ser utilizado como estratégia de adequação do conforto térmico no interior da edificação em diferentes tipos de clima, desde que devidamente dimensionados seus componentes, de forma a se obter as propriedades físicas requeridas. O desempenho do telhado vegetado, nesse caso, deve ser compreendido como resultado do efeito combinado da inércia térmica de suas camadas e do sombreamento da vegetação, que por sua vez, estão relacionado à densidade de área foliar da espécie adotada e do fluxo de calor latente decorrente do fenômeno de evapotranspiração.

#### 2.2.2.3.3. *Orçamento energético dos edifícios*

Cerca de 50% do consumo de combustíveis fósseis mundial está relacionado com a produção de energia para manutenção dos edifícios (VALE; VALE, 1991). Pensar em

alternativas para reduzir o consumo energético não é somente uma preocupação financeira, mas também, ambiental.

Neste sentido, Chen (2006) compara o consumo anual de energia de um prédio comercial de cinco pavimentos, localizado em Singapura, quando utilizadas diferentes tipologias de cobertura. Foi verificado o desempenho de um telhado convencional aparente (sem forro ou laje) e de uma laje plana impermeabilizada, ambos os casos antes e depois da colocação do telhado vegetado, sendo este executado com vegetação rasteira e com vegetação arbustiva. No caso do telhado convencional, o telhado com vegetação rasteira reduziu o consumo anual de energia em 19 MWh (9,5%) e em 29 MWh (19,5%), com vegetação arbustiva. O consumo energético de pico foi reduzido em 43,1 kWh (46,9%) e 72,48 kWh (78,9%) com cobertura em vegetação rasteira e arbustiva, respectivamente. Conclui-se, então, que a instalação de jardins em telhados aparentes proporciona redução do orçamento energético do edifício.

Quando observados os resultados para a laje plana impermeabilizada, Chen (2006) verificou impactos menores, sendo o consumo anual de energia reduzido em 1 MWh (0,6%) e 3 MWh (1,8%) e o de pico, em 3,69 KWh (17,0%) e 12,66 KWh (58,2%), com vegetação rasteira e arbustiva, respectivamente.

Essa redução também foi observada por Gupta et al. (2011), em estudo realizado para a cidade de Londres, através de cenários elaborados no programa *EnergyPlus*. A incorporação de telhado vegetado com espessura de 150mm sobre laje de concreto impermeabilizada reduziu o consumo anual de energia em 13,5% (IAF=0,002) e 15% (IAF=5). Quando utilizou-se espessura de substrato de 450mm a economia no consumo anual de energia foi de 18% (IAF= 0,002) e 19,5% (IAF=5), confirmando a interferência da densidade da vegetação e da espessura de solo sobre o desempenho energético do edifício.

Um estudo realizado em Madrid mostrou que a instalação do telhado vegetado reduziu 6% da carga para refrigeração, em um edifício residencial de oito andares, durante o verão (SAIZ et al., 2006). Em simulação do momento de pico, a carga de arrefecimento foi reduzida em 10% por todo o edifício e em 25%, 9%, 2% e 1% para os quatro andares imediatamente abaixo do telhado vegetado. Para uma típica casa residencial em Toronto, a carga de refrigeração para o mês de julho foi reduzida em 25% para toda a construção e em 60% para o piso abaixo do telhado vegetado (SAIZ et al., 2006).

Em Campinas, no Brasil, Pereira de Mello et al. (2011) verificaram que a implantação do telhado vegetado de 10cm de espessura sobre uma laje de concreto possibilitou economia de 622,2 kWh (40%) no gasto de energia elétrica diária com ar condicionado. Considerando o valor fornecido pela distribuidora regional de energia de 2.225 kWh/real esta economia corresponderia a R\$279,64/dia, o que resultaria em mais de R\$70.000 por ano.

#### *2.2.2.3.4. Aumento da vida útil da Cobertura*

Com relação a sua vida útil, os telhados vegetados apresentam em média durabilidade três vezes maior que os telhados tradicionais (SAIZ et al., 2006; PORSCHE; KÖHLER, 2003).

Este aumento da expectativa de vida dos materiais de construção, localizados abaixo do solo, se dá principalmente pela redução nas oscilações térmicas diárias provocada pelo isolamento característico do solo e da própria vegetação. Quando os elementos dos telhados vegetados são tratados de forma isolada, destaca-se, por exemplo, um aumento de 200% da vida útil da membrana de impermeabilização, em relação a sua expectativa de vida normal (CARTER; KEELER, 2008). A valorização do tempo de vida dos materiais de construção, utilizados no sistema de telhados vegetados, garante que, em um período de 50 anos, os telhados não precisarão de substituição (WONG et al., 2003; CARTER; KEELER, 2008; BERGHAGE et al., 2007).

#### *2.2.2.3.5. Implicações no manejo das águas das chuvas*

Em ambientes não urbanizados, 30% da água da chuva é armazenada em aquíferos superficiais e utilizada pelas plantas, outros 30% se infiltram nos aquíferos mais profundos, fornecendo água a nascentes e rios, e os 40% restantes são devolvidos quase imediatamente à atmosfera pela evapotranspiração das plantas. Em áreas urbanas, onde superfícies impermeáveis chegam a cobrir de 75% a 100% dos terrenos, apenas 5% da água da chuva atinge os aquíferos superficiais, 5% são armazenados em aquíferos profundos e 15% são utilizados imediatamente pela vegetação. Os 75% de precipitação restante torna-se escoamento superficial. Este escoamento é captado pelos sistemas de esgoto e drenagem pluvial e direcionado aos córregos, lagoas e rios locais. À medida que esse escoamento passa sobre os diferentes pavimentos e ruas, ele recolhe material particulado, óleos, lixo e outros poluentes que podem degradar a qualidade das águas nos mananciais (GARTLAND, 2010).

Sob esta ótica, estudos admitem que telhados vegetados diminuem significativamente a quantidade de enxurrada, armazenando grande parte do volume de precipitação, eliminando posteriormente a água absorvida pela evaporação e transpiração das plantas (BENGTSSON et al., 2005). Em casos de chuvas mais intensas, os telhados vegetados apresentaram um atraso no pico das enxurradas quando comparados a outras superfícies impermeáveis, diminuindo o efeito combinado do encontro dessas correntes d'água (BENGTSSON, 2005).

Coberturas com 200 a 400 mm de solo podem reter entre 100 e 150 mm de chuva sobre a superfície da cobertura. Em Portland, EUA, coberturas verdes capturam entre 10% e 100% da água da chuva que cai sobre elas, dependendo do quão saturado estava o solo da cobertura. Em dias secos, quase 100% da precipitação pode ser absorvida, mas em condições mais úmidas, apenas 10 - 20% da precipitação pode ser retida pela cobertura (HUTSHINSON et al., 2003). Devido os benefícios no controle das águas de chuva, a cidade de Portland, EUA, designou a utilização de telhados vegetados para novas construções e reformas, como uma técnica aprovada para atender às exigências do sistema de gerenciamento de águas, contabilizando a área dos telhados como área parcialmente permeável (PORTLAND, 2002).

Carter e Rasmussen (2005) realizaram estudo em cobertura composta por telhado vegetado extensivo tradicional, com 7,5 cm de espessura, na Universidade da Geórgia. O estudo demonstrou redução de 80% no volume total da enxurrada e atraso médio de dezoito minutos do instante de pico, quando comparado a uma cobertura convencional (CARTER; RASMUSSEN, 2005).

Estudos desenvolvidos na Alemanha entre 1987 e 2003, organizados por Mentens; Raes e Hermy (2006), apresentaram uma redução de 85 a 65% no escoamento anual das águas de chuva pela utilização do telhado vegetado intensivo e, de 81 a 27% pelo extensivo. Desta forma, é possível verificar que o comportamento hidrológico proporcionado pelo telhado vegetado não só influencia a quantidade da água escoada superficialmente, mas também o intervalo de tempo para o seu início.

No Brasil, especificamente na cidade do Rio de Janeiro, Oliveira (2009) verificou, pela implantação dos telhados vegetados em habitações populares, redução de 56% do volume precipitado e retardo de 8 minutos na ocorrência do pico, quando comparado ao desempenho de um telhado convencional de fibrocimento.

Ohnuma Júnior; Halasz e Menciondo (2011) verificaram que o telhado vegetado é 56% mais eficiente na retenção hídrica do que o telhado convencional.

Quantitativamente, obteve-se uma relação de 48% do valor total da lâmina escoada em relação ao total precipitado.

Baldessar (2012) realizou estudo comparativo entre telhado composto por telhas de barro e telhado vegetado intensivo através de medições em protótipos e simulação computacional. Verificou-se, tanto nos resultados de medição diária, quanto nos de simulação, utilizando o *software Green Roof* da IUPWARE (2013), benefícios pelo uso do telhado vegetado no processo de gestão de águas pluviais, sendo que o telhado vegetado apresentou escoamento de 30,7% de toda a água precipitada, enquanto o telhado de barro, de 77,3%.

#### 2.2.2.3.6. Impactos na redução da poluição

A utilização de coberturas verdes reduz a poluição do ar de forma direta e indireta. Reduções diretas ocorrem pela diminuição do consumo de energia para arrefecimento, que significa uma redução das emissões de poluentes a partir das usinas geradoras de energia. Reduções indiretas da poluição do ar podem ocorrer se as coberturas verdes forem adotadas em quantidade suficiente para reduzir os efeitos da ilha de calor e, conseqüentemente, reduzir a temperatura do ar de uma região, diminuindo assim a necessidade de arrefecimento artificial (GARTLAND, 2010).

As plantas também são capazes de retirar diretamente os poluentes do ar, absorvendo gases ou coletando partículas através de suas folhas. Esse tipo de retirada de poluentes é chamado deposição seca, uma vez que se realiza sem o auxílio de precipitação. A deposição seca pode remover óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$  ou  $\text{SO}_2$ ), material particulado (PM10, ou partículas com diâmetro inferior  $10\mu\text{m}$ ) e ozônio ( $\text{O}_3$ ) (McPHERSON, 1998; SCOTT et al., 1998; AMERICAN FORESTS, 2000,2001).

Coberturas verdes de  $100 \text{ m}^2$  podem remover cerca de 20 kg de material particulado do ar, em um ano (GARTLAND, 2010). Estima-se que  $2.000 \text{ m}^2$  de grama em um telhado poderia remover 4.000 kg de partículas em suas folhas e caules (JOHNSON; NEWTON, 1996). Minke e Witter (1982) sugerem que  $1 \text{ m}^2$  de grama, sem cortes, em um telhado criaria oxigênio suficiente para satisfazer as necessidades de um ser humano por mais de um ano.

Clark et al. (2005) estimam que, se 20% de todas as superfícies dos telhados industriais e comerciais em Detroit fossem substituídos por telhados vegetados extensivos, mais de 800.000 kg (889 toneladas) por ano de  $\text{NO}_2$  seriam removidos do ar.

Em Cingapura, o dióxido de enxofre e o ácido nitroso foram reduzidos em 37% e 21%, respectivamente, acima de um telhado vegetado (TAN; SIA, 2005).

Se em 20% de todos os edifícios existentes em Washington fossem instalados telhados vegetados, estes iriam remover a mesma quantidade de poluição do ar que 17.000 árvores de rua (DEUTSCH et al., 2005)

As raízes das plantas podem também remover algumas das impurezas da água, antes da sua entrada nos aquíferos. As impurezas, tais como azoto ou fósforo, ligam-se quimicamente com alguns tipos de partículas do solo, sendo absorvidas pelas plantas e, conseqüentemente, removidas do solo. Acredita-se que a maioria do cobre, cádmio e chumbo, bem como zinco notável e nível de azoto podem ser retirados da água da chuva pelas plantas (JOHNSTON; NEWTON, 2004).

#### 2.2.2.3.7. *Redução do ruído*

O excesso de ruído não é apenas irritante, também pode levar a problemas de saúde como hipertensão, deficiência auditiva, doenças do coração, distúrbios do sono e diminuição do desempenho escolar (ÖHRSTRÖM, 1991; PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000). Níveis elevados de ruído são observados em áreas urbanas, principalmente em espaços fechados, cercados por edifícios altos, cânions de ruas, e perto de áreas industriais e aeroportos.

Telhados convencionais são geralmente superfícies reflexivas, no pondo de vista sonoro, de modo que o potencial destas superfícies de reduzir a pressão sonora das ruas, ou mesmo de outras fontes, pode ser elevado pela implantação de telhados vegetados. A vegetação em conjunto com o substrato de crescimento absorvem as ondas sonoras em um grau maior que as superfícies de cobertura tradicionais. Van Renterghem e Boteldooren (2008, 2009) estudaram os efeitos do uso do telhado vegetado intensivo e extensivo nos níveis de pressão sonora urbanos. Eles encontraram uma relação linear entre a porcentagem de edifícios com telhado coberto de vegetação e a redução da pressão sonora no lado oposto do edifício, a partir da fonte de ruído.

Tal atenuação se deve a característica do substrato dos telhados vegetados, as ondas sonoras entram no espaço dos poros presentes no solo e são atenuadas por numerosas interações com as partículas de substrato (VAN RENTERGHEM; BOTTELDOOREN, 2009). A profundidade do substrato interfere na redução do ruído, sendo intensificada até uma profundidade de 20cm, a partir daí não se observam muitas alterações.

Van Renterghem e Botterlidooren (2008) observaram que o efeito da presença de telhados vegetados, em relação a coberturas convencionais, provoca uma redução do ruído no interior do cânion em torno de 6 dB a 1.000 Hz, quando 80% das coberturas recebem o telhado vegetado. Dunnett e Kingsbury (2004) verificaram que a implantação do telhado vegetado extensivo, de 100 mm de substrato, na cobertura do aeroporto de Frankfurt, na Alemanha, foi capaz de reduzir os níveis de ruído em 5 dB.

#### 2.2.2.3.8. *Melhorias do espaço verde*

Alguns pesquisadores acreditam que a necessidade de um contato com a natureza pode ser tão importante para as pessoas quanto a necessidade de relações interpessoais (KAPLAN, 1993). Além disso, a ausência de um contacto com a natureza pode ser vista "como um fator contribuinte para o aumento dos níveis de estresse e insatisfação geral dentro da sociedade moderna" (ZUBEVICH, 2004).

Um edifício com telhado vegetado oferece aos seus ocupantes proximidade com espaços comuns onde se podem realizar atividades de lazer. Um estudo com inquilinos de um edifício, em Toronto, revelou que a construção valorizou o acesso ao telhado vegetado e seus ocupantes referem-se a ele como "um oásis na cidade" (COHNSTAEDT et al., 2008).

#### 2.2.2.3.9. *Preservação do habitat*

Muitos autores relatam que a adição de espaços verdes sob a forma de telhados vegetados em ambientes urbanos densamente povoados oferece um habitat eco-reparador para a fauna urbana, até então deslocada. Telhados vegetados fornecem alimentação, habitat, abrigo, oportunidades e um lugar seguro para o descanso de aranhas, besouros, borboletas, pássaros e outros invertebrados (BRENNEISEN, 2003; GEDGE, 2003).

Em um estudo desenvolvido por Brenneisen (2003) foram identificados em 17 telhados vegetados, localizados em Basel, Suíça, 78 espécies de aranha e 254 espécies de besouros durante os primeiros 3 anos. Dezoito por cento dessas aranhas e 11% dos besouros foram listadas como ameaçadas ou raras (BRENNEISEN, 2003).

Em um dos maiores telhados vegetados do mundo, em Dearborn, Michigan, com 42.900m<sup>2</sup> e 76mm de espessura, em seus primeiros 2 anos de estabelecimento, foram identificadas 29 espécies de insetos, 7 espécies de aranhas, e 2 espécies de aves (COFFMAN, DAVIS, 2005).

Estudos relatam que esta elevação da vegetação, em relação ao ecossistema urbano, oferece proteção contra os predadores, contra o ruído do tráfego e a intervenção humana (FEDERAL TECHNOLOGY ALERT, 2004). Johnston e Newton (2004) destacam ainda que borboletas podem acessar os espaços verdes localizados no vigésimo andar de um edifício.

#### *2.2.2.3.10. Valorização do imóvel*

Entrevistas com os coordenadores sociais e ambientais do Mountain Equipment Coop (MEC) de Toronto e do Grupo Imobiliário Urban Space, evidenciaram que telhados vegetados melhoram a estética e o valor de mercado do edifício (ROBINSON, 2005).

#### *2.2.2.3.11. Custos de implantação e manutenção*

Segundo Parizotto e Lamberts (2011), o telhado vegetado é uma estratégia que apresenta alto custo de manutenção. Com uma abordagem mais específica, Connelly e Liu (2005) afirmam que o telhado vegetado intensivo exige necessidade de manutenções periódicas como irrigação, podas e fertilização, devido o porte rasteiro e até arbustivo de sua vegetação, além de demandar um maior custo inicial de instalação. Os sistemas extensivos requerem menor manutenção, pois pela sua própria concepção, geralmente utilizam espécies vegetais tolerantes às condições ambientais adversas, que ainda tem seu crescimento restringido pela pequena espessura do solo presente nesta cobertura.

O telhado vegetado extensivo pode apresentar dificuldades na sua execução. Estas se devem a carência de empresas detentoras da tecnologia de produção das placas do substrato rígido e a indisponibilidade de oferta deste produto na maioria das casas comerciais especializadas. Com isso, há necessidade de aquisição do substrato rígido de outros locais, demandando gastos adicionais com o seu transporte (ROSSETI et al, 2013a). Em contrapartida, tendo em vista a simplicidade das placas, as mesmas podem ser moldadas in loco, ou seja, produzidas no próprio canteiro de obras. Detalhes de dimensões e moldagem podem ser encontrados em Rosseti (2009).

No caso do telhado vegetado intensivo a problemática maior está no sistema de impermeabilização, considerando que a cobertura permanecerá encharcada de água durante muitas horas do dia. A maioria dos sistemas de impermeabilização, encontrados no mercado local, não estão adequados à esta realidade, demandando uma atenção especial (ROSSETI et al., 2013a). No caso do telhado vegetado extensivo, elimina-se

esta situação, uma vez que o substrato rígido se apoia sobre as telhas de fibrocimento, com inclinação mínima garantida.

Pereira de Mello et al. (2011) realizaram estudo de viabilidade econômica da implantação de telhados vegetados extensivos, em um complexo institucional de cerca de 3.600m<sup>2</sup>. Estimaram custo de R\$90,00 por metro quadrado, considerando sua aplicação em grandes extensões de cobertura, como a do estudo. O investimento inicial é alto, segundo os autores, porém, a redução do consumo de energia elétrica compensa o investimento. O tempo de retorno calculado foi de menos de 5 anos.

#### ***2.2.2.4. Considerações sobre telhados vegetados em Cuiabá***

##### ***2.2.2.4.1. Benefícios da implantação do Telhado vegetado***

Rosseti (2009) desenvolveu um estudo na cidade de Cuiabá de forma a verificar o desempenho do telhado vegetado como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade (Figura 14). A autora verificou que a colocação do telhado vegetado provocou uma redução nos valores de temperatura do ar em todos os horários do dia. No verão, a temperatura do ar no interior do protótipo com telhado vegetado chegou, às 13hs, a ser 4,7°C menor que no protótipo com telhas convencionais (Fibrocimento). No outono esta diferença foi de 0,6°C e no inverno chegou a 0,8°C.

No caso das interferências do telhado vegetado no entorno do edifício, Rosseti et al. (2013b) observa, na estação do inverno, maior impacto pela colocação da vegetação. Tal fenômeno se deve a escassez de água disponível na atmosfera no período do inverno, toda a água utilizada na irrigação do telhado era absorvida rapidamente pelo ar elevando sua umidade relativa.



**Figura 14** – (a) Protótipos com telhado instalado e (b) detalhe aproximado das telhas vegetadas  
**Fonte:** Adaptado de Rosseti (2009)

Juntamente com a elevação da umidade observou-se uma redução na temperatura do ar no período matutino, na estação seca, tal fenômeno se deve justamente à

evapotranspiração da vegetação, existente na cobertura, que utiliza o calor presente no ar para evaporar ou transpirar a água presente no meio (SIMPSON; MCPHERSON, 2001; MITCHELL et al., 2007).

No verão, como a ar já se encontrava com umidade elevada, a água presente na telha não causou grandes efeitos na umidade do entorno, reduzindo os efeitos de arrefecimento do ar externo pela colocação do telhado vegetado (ROSSETI et al., 2013b).

#### 2.2.2.4.2. Custos e dificuldades para a implantação do Telhado vegetado

Os custos para implantação e manutenção dos sistemas de telhado vegetado em Cuiabá apresentam a necessidade de um elevado investimento inicial. O custo do telhado convencional é (Tabela 2) de 11% do Custo Unitário Básico (CUB) Médio da construção no Brasil (R\$ 105,75/m<sup>2</sup>) e dos telhados vegetados extensivos (Tabela 3) e intensivos (Tabela 4) é de 23,6 e 33%, respectivamente (R\$ 225,84/m<sup>2</sup> e R\$319,33/m<sup>2</sup>). Desta forma, os custos de implantação dos telhados vegetados extensivo e intensivo são, respectivamente, cerca do dobro e do triplo do custo de implantação do telhado convencional (ROSSETI et al., 2013a).

**Tabela 2** - Composição de custos do telhado convencional e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011

Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)	% do Preço Total	% do CUB Médio Brasil
Laje de forro (150 kg/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	60,53	57,2%	6,3%
Telhamento sobre estrutura de madeira	m <sup>2</sup>	45,22	23,80%	2,6%
<b>Preço Total</b>		<b>105,75</b>	<b>100,0%</b>	<b>11,0%</b>

Fonte: Rosseti et al. (2013a)

**Tabela 3** - Composição de custos do telhado vegetado extensivo e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011

Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)	% do Preço Total	% do CUB Médio Brasil
Laje de forro (150 kg/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	60,53	57,2%	6,3%
Telhamento sobre estrutura de madeira	m <sup>2</sup>	45,22	23,80%	2,6%
Drenagem	m <sup>2</sup>	17,42	7,71%	1,8%
Substrato rígido	m <sup>2</sup>	83,27	36,87%	8,6%
Solo	m <sup>2</sup>	4,58	2,03%	0,4%
Vegetação	m <sup>2</sup>	14,62	6,47%	1,5%
Irrigação	m <sup>2</sup>	2,00	0,89%	0,2%
<b>Preço Total</b>		<b>225,84</b>	<b>100,00%</b>	<b>23,6%</b>

Fonte: Rosseti et al. (2013a)

**Tabela 4** - Composição de custos do telhado vegetado intensivo e percentual relativo ao CUB Médio Brasil de Abril/2011

Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)	% do Preço Total	% do CUB Médio Brasil
Laje de forro (450 kg/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	169,84	53%	18%
Drenagem	m <sup>2</sup>	32,47	10%	3%
Solo	m <sup>2</sup>	18,32	6%	2%
Vegetação	m <sup>2</sup>	15,05	5%	2%
Irrigação	m <sup>2</sup>	2,00	1%	0%
Impermeabilização	m <sup>2</sup>	81,65	26%	9%
<b>Preço Total</b>		<b>319,33</b>	<b>100%</b>	<b>33%</b>

Fonte: Rosseti et al. (2013a)

Rosseti et al. (2013a) observam que, mesmo o benefício econômico não sendo expressivo, dependendo da realidade climática de onde o mesmo é implantado, deve-se considerar as demais melhorias socioambientais, identificadas pela incorporação do telhado vegetado no ecossistema urbano.

A maior barreira para a implantação do telhado vegetado extensivo em Cuiabá deve-se a inexistência de empresas locais que produzam as placas utilizadas como suporte para a vegetação, sendo que estas devem ser trazidas de São Paulo ou produzidas no canteiro de obras (ROSSETI et al., 2013c). Nesta última alternativa perde-se a precisão e qualidade por não contar com mão de obra especializada. No caso da cobertura intensiva a problemática maior, como já discutido anteriormente, está no sistema de impermeabilização (ROSSETI et al., 2013c).

### 2.3. CONFORTO TÉRMICO – AMBIENTES EXTERNOS

A avaliação do ambiente térmico exterior constitui uma das principais áreas de aplicação da Bioclimatologia no planejamento urbano (VANOS et al., 2010). Neste contexto são propostas modificações nos atributos físicos do espaço urbano para promover a melhoria das condições térmicas ao ar livre e, assim, influenciar positivamente o uso dos espaços abertos.

Além disso, as condições térmicas exteriores podem ter um efeito indireto sobre ambientes internos, interferindo no conforto térmico do usuário e no consumo energético dos sistemas de arrefecimento de ar.

Em áreas tropicais, as ruas podem reunir um número expressivo de transeuntes, incluindo os consumidores, trabalhadores de escritório, etc, durante todo o ano. Se forem estabelecidas relações entre os aspectos de planejamento urbano, e o meio ambiente

térmico resultante, com as reações humanas, certamente a qualidade dos espaços exteriores poderia ser significativamente melhorada (BRÖDE et al., 2012).

O projeto RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces – Redescobrimdo o Ambiente Urbano e Espaços Abertos), desenvolvido em 14 cidades europeias, dentro deste contexto, vem estudando as relações entre o espaço urbano e o conforto térmico dos usuários (NIKOLOPOULOU, 2004). O projeto conclui que a temperatura média radiante e a velocidade do vento nos cânions urbanos são os fatores que mais afetam a percepção térmica dos transeuntes.

Ainda na busca por maior qualidade dos espaços ao ar livre, Tablada et al. (2009) sugerem algumas recomendações de projetos preliminares para edifícios residenciais no centro histórico de Havana, Cuba. Ren et al. (2010) propuseram o uso de mapas de clima urbano para fornecer informações sobre o microclima urbano aos planejadores da cidade. Erell et al. (2011) deram orientações e exemplos práticos de projetos de espaços urbanos ao ar livre. Katzschner e Thorsson (2009) realizaram investigações microclimáticas experimentais como uma ferramenta para o desenho urbano e compararam medições de campo com os resultados de modelagem numérica, utilizando os modelos Solweig e ENVI-Met. Ali-Toudert e Mayer (2006) mostraram que, para muitas configurações de cânion, é necessária a incorporação de sombras e efeitos de resfriamento adicional por vegetação e vento para manter o conforto dentro dos limites aceitáveis.

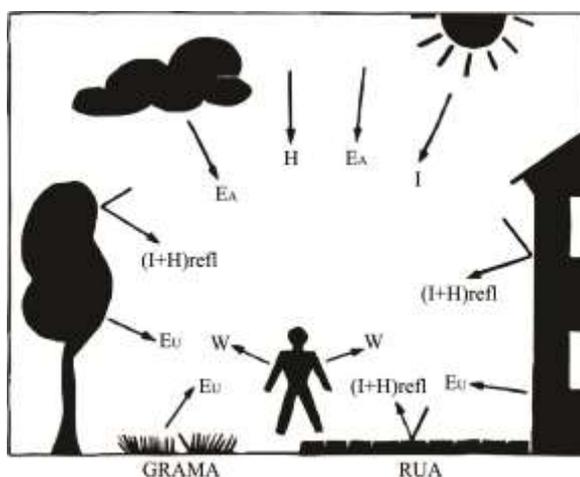
Verifica-se desta forma a importância de se definir limites e condições microclimáticas ideais a serem atingidas em espaços exteriores, de forma a direcionar as decisões de planejamento urbano. O papel do planejamento seria o de utilizar recursos diversos (estratégias de sombreamento, inserção de praças e áreas de vegetação, adoção de fontes d'água, entre outros), de modo a alterar benéficamente o microclima dos espaços urbanos. Observa-se, desta forma, a necessidade de entender e quantificar os efeitos da morfologia urbana no microclima gerado por ela (KRÜGER et al, 2012).

### **2.3.1. Índices de conforto**

O conhecimento das faixas ideais de temperatura, radiação solar global, velocidade do vento, umidade do ar, enfim, das condições climáticas que resultam em um menor desconforto térmico externo, deveria ser o ponto de partida para qualquer tentativa de intervenção nos espaços abertos através do desenho urbano. Como a sensação térmica depende da relação conjunta de diversos fatores climáticos e não climáticos, em geral, se adotam alguns índices para expressar essas relações.

Vários índices que integram os fatores térmicos ambientais e o equilíbrio térmico do corpo humano podem ser aplicados, por exemplo, o Voto Médio Estimado (VME) (Predicted Mean Vote – PMV) (FANGER, 1972), a Temperatura Efetiva Padrão (TEP\*) (Standard Effective Temperature - SET\*) (GAGGE et al., 1986), a Temperatura Efetiva Padrão Externa (TEP-EXT\*) (Outdoor Standard Effective Temperature - OUT\_SET\*) (SPAGNOLO; DEAR, 2003) e a Temperatura Fisiológica Equivalente (TFE) (Physiological Equivalent Temperature – PET) (VDI, 1998). O VME, e o TEP\* tem uma base sólida para uso em espaços internos, enquanto que os índices TEP-EXT\* e TFE foram concebidos primordialmente para utilização em espaços ao ar livre (SPAGNOLO; DEAR, 2003).

Para aplicar o VME, índice originalmente concebido para ambientes internos, às condições ao ar livre, Jendritzky Nübler (1981) adiciona o complexo de radiação externa (Figura 15) ao cálculo e o modelo passa a ser conhecido como Modelo Climático de Michel (MCM) (Klima Michel Model - KMM). Como uma aplicação do modelo MCM, Jendritzky e Nübler (1981) mostraram o mapa de distribuição de VME em Freiburg a partir do qual os efeitos dos edifícios e as ilhas de calor são percebidos.



**Figura 15** - Os componentes do balanço de energia radiante humana.

radiação de onda curta (0,28-4 $\mu$ m): I = radiação solar direta, H = radiação solar difusa, (I + H) refl = radiação de onda curta refletida. radiação de ondas longas (4-100 $\mu$ m): Eu = radiação atmosférica, EA = emissões de ondas longas do entorno, W = radiação a partir da superfície do homem. (conforme Jendritzky e Nübler, 1981)

Matzarakis e Mayer (1997), utilizaram o cálculo do VME para desenvolver um mapa de alta resolução que apresenta o número médio anual de dias com forte estresse térmico ( $VME > 3,0$ ), utilizando-se a Grécia como um exemplo. Eles selecionaram VME como o índice porque, juntamente com o MCM, é uma medida bem adequada para avaliar o ambiente térmico de diferentes climas exteriores. Neste estudo, VME foi

calculado com os dados meteorológicos obtidos em 12 estações gregas para os anos de 1980 e 1989. O mapa mostra grandes áreas que têm de ser consideradas como áreas de elevado estresse térmico.

## **2.4. TÉCNICAS DE PESQUISA EM CLIMA URBANO**

No Brasil, pode-se constatar grande evolução nos estudos sobre clima urbano na última década, principalmente devido ao interesse de arquitetos e engenheiros em explorar os aspectos da qualidade do ambiente construído, relacionados ao planejamento e projetos urbanos climaticamente responsáveis (ASSIS, 2006).

Os três principais métodos de pesquisa em clima urbano englobam as medições de campo, medições em túneis de vento e simulações numéricas baseadas na Dinâmica Computacional dos Fluidos (DCF) (Computational Fluid Dynamic - CFD). Estes três métodos são, em grande parte, complementares (MOONEN et al., 2012).

### **2.4.1. Experimentos de campo**

Existe grande variedade de técnicas de experimentos de campo que podem englobar medições pontuais de variáveis climáticas ou microclimáticas, transectos móveis ou mesmo entrevistas com usuários dos espaços abertos Hewitt e Jackson (2003). Considerando o fato de estes experimentos serem caracterizados por medidas pontuais, e por serem realizados sob condições descontroladas de clima e de população, as medições de campo, por definição, fornecem uma imagem incompleta do problema em estudo (MOONEN et al., 2012).

No entanto, experimentos de campo são indispensáveis em estudos do clima urbano, considerando que somente este método representa a verdadeira complexidade do problema investigado. Como tal, os experimentos de campo, se realizados com muito cuidado e por um período de medição suficientemente longo, são valiosos e, em muitos casos, até mesmo necessários para validar as medições de túnel de vento e simulações de DCF (SANTIAGO et al, 2010; DEJOAN et al, 2010; CHAN; LEACH, 2007; NEOPHYTOU et al, 2011; XIE; CASTRO, 2009; RASHEED, 2009).

Em Cuiabá, podem-se destacar alguns estudos de clima urbano realizados a partir de experimentos de campo. Franco (2010) instalou uma estação micrometeorológica fixa no bairro do Porto e realizou transectos móveis de forma a analisar a interferência da urbanização no microclima local. Oliveira (2011) também utilizou estações

micrometeorológicas fixas, realizando ainda transectos móveis e observações de ocupação de forma a verificar o comportamento das variáveis microclimáticas e dos usuários de duas praças localizadas no centro da cidade de Cuiabá. Santos (2012) realizou transectos móveis noturnos nas quatro estações do ano, cruzando a cidade nos sentidos leste/oeste e norte/sul, de forma a verificar o comportamento, a intensidade e a distribuição espacial da ICU na cidade de Cuiabá. Nince (2013) verificou as sensações térmicas dos pedestres dentro do Campus da UFMT através de medições micrometeorológicas e entrevistas realizadas nos diversos pontos estudados.

#### **2.4.2. Experimentos em túneis de vento**

Testes em túnel de vento são experimentos realizados em modelo real, em escala reduzida, da geometria do espaço estudado. Para que os resultados do experimento possam ser aplicados na vida real, alguns critérios de similaridade gerais têm que ser satisfeitos. Dentre estes critérios podemos destacar a similaridade formal entre o modelo e o ambiente real, a proporção adequada da velocidade do vento e a proporção das forças que atuam nas partículas e superfícies (KANDA, 2006).

Experimentos em túneis de vento no estudo do clima urbano são amplamente utilizados para determinar as cargas de vento nas fachadas e telhados dos edifícios (UEMATSU; ISYUMOV, 1999), para avaliar o conforto pela ventilação, ao ar livre, no interior dos cânions urbanos (KUBOTA et al., 2008) e ainda para analisar a dispersão dos poluentes em cânions e suas interseções (AHMAD et al., 2005).

Além disso, o método também é aplicado em estudos sobre configurações urbanas básicas para obter mais conhecimento sobre a estrutura do fluxo e servir como validação para modelos numéricos (MINSON et al., 1995). Finalmente, medições em túnel de vento podem também ser utilizadas para melhorar os dados de campo, isto é, para avaliar o grau de incerteza dos dados medidos (SCHATZMANN et al., 2000).

Em Cuiabá, não foram observados estudos que utilizaram a metodologia de medições em túnel de vento. Isto se deve ao fato de os grupos de pesquisa em climatologia urbana estarem inseridos dentro de programas não diretamente relacionados ao planejamento urbano. Assim as abordagens dos estudos são, em sua maioria, a nível de análise das interferências da cidade no clima, não se aprofundando nas questões de elaboração de projetos urbanísticos. Considerando que a técnica de Túnel de Vento é normalmente utilizada para este fim, e considerando os elevados custos e tempo

necessários para criação dos modelos reais, o uso deste método de pesquisa se torna inviável.

### **2.4.3. Simulações numéricas**

Embora uma compreensão geral das interações entre a atmosfera e áreas urbanizadas, com base em estudos experimentais, seja indispensável (ROTACH, 1995; GRIMMOND; OKE, 1999a), a complexidade e diversidade das cidades ao redor do mundo tornam tais estudos limitados, ou a um local particular, ou a um único processo físico. Modelos numéricos foram desenvolvidos para simular o ambiente urbano, tanto na microescala do edifício e cânions urbanos (MILLS, 1997; ARNFIELD; GRIMMOND, 1998; ARNFIELD et al., 1998), quanto na mesoescala, analisando os impactos da cidade de uma forma mais ampla. As simulações utilizam modelos de transferência de energia, originalmente desenvolvidos para outros tipos de ambiente, com parâmetros modificados para sua aplicação no ambiente urbano (BEST 1998; TAHA, 1999; MASSON, 2000; NOILHAN; PLANTON, 1989). Tais modificações permitem simular, com maior ou menor detalhe, alterações volumétricas de calor latente e sensível que ocorrem no ar, nos edifícios, na vegetação e no solo, considerando escala espacial de interesse (OKE, 1988a; GRIMMOND et al., 1991).

Embora a simulação da DCF tenha sido originalmente desenvolvida e aplicada para pesquisas na área da aeronáutica, já tem sido usada em quase todas as áreas de pesquisa do clima urbano, englobando os estudos de vento e conforto térmico, dispersão e deposição de poluentes e efeitos da ilha de calor urbana. As simulações numéricas tem vantagens específicas em relação aos experimentos de campo ou experimentos em túnel de vento:

1. Quase não há restrições quanto à geometria do modelo (computacional), enquanto em um túnel de vento, muitas vezes devem ser feitas simplificações na geometria (em escala) para fins de viabilizar a fabricação;
2. O grau de detalhamento pode, assim, ser fortemente aumentado em regiões de interesse (VAN HOOFF; BLÖCKEN, 2010). Além disso, existe um grande grau de liberdade para as condições de fronteira;
3. Em contraste com os experimentos em túnel de vento, simulações numéricas não apresentam problemas de escala: podem ser modelados em sua escala real;

4. O custo computacional, relacionado ao tempo das simulações, é um importante parâmetro para indicar a eficácia e a competitividade do método com outras técnicas.

Observa-se que os pontos fortes e fracos da simulação numérica são complementares aos de experimentos de campo e experimentos de túnel de vento. Portanto, essas três técnicas devem ser utilizadas em conformidade na pesquisa do clima Urbano. Um exemplo típico é a validação das simulações da DCF por meio de experimentos em túnel de vento ou experimentos de campo (DALGLIESH; SURRY, 2003; BLÖCKEN; CARMELIET, 2006, 2007; BRIGGEN et al., 2009; MELESE ENDALEW et al., 2009; VAN HOOFF; BLÖCKEN, 2010; VAN HOOFF et al., 2011; DEFRAEYE et al., 2010; SCHATZMANN; LEITL, 2011; GOUSSEAU et al., 2011; BLÖCKEN et al., 2012).

Em Cuiabá, Callejas (2012), além dos experimentos de campo, utilizou um Modelo Objetivo de Histerese (MOH) (*Objective Hysteresis Model-OHM*), proposto por Grimmond et al. (1991), para verificar o balanço de energia em três ambientes urbanos localizados em posições distintas da cidade de Cuiabá. Os dados medidos em campo foram utilizados para alimentar e validar o modelo.

#### **2.4.3.1. ENVI-Met**

O modelo numérico microclimático ENVI-Met é um modelo tridimensional, não hidrostático, que foi criado por Michael Bruse como parte de sua tese de doutorado, realizada na Alemanha (BRUSE; FLEER, 1998).

Este *software* utiliza modelos numéricos de simulação de fluxos de ar, de turbulências, fluxos de radiação, de estratificação da temperatura e da umidade do ar, que ocorrem entre a atmosfera e as superfícies próximas ao solo, simulando as interações entre as superfícies urbanizadas, vegetação e atmosfera. Além disso, o *software* prevê os fluxos de radiação entre as superfícies edificadas (paredes, telhados, pisos, solos e vegetação), a partir da temperatura superficial e da emissividade de cada material. Para simular as interações entre as plantas e a atmosfera, o ENVI-Met utiliza modelos de cálculos da evapotranspiração e do comportamento aerodinâmico do vento no perfil vertical das áreas vegetadas (BRUSE; FLEER, 1998).

Os dados de saída do programa são apresentados na forma de mapas ou gráficos, facilitando a análise da interação entre os parâmetros físicos, do ambiente construído, e o

microclima. O programa pode ser utilizado como uma ferramenta no processo de planejamento urbano, sendo útil na comparação de diferentes cenários, com variações na morfologia urbana, na tipologia construtiva, na densidade construtiva, na permeabilidade do solo e no índice de vegetação (PEZZUTO et al., 2011).

A versatilidade do ENVI-Met tem despertado interesse em pesquisadores e usuários em todo o mundo, destacando-se os trabalhos de Silva e Romero (2009), Nakata, Souza e Faria (2009), Nakata (2010), Marcondes e Umakoshi (2007) e Silveira e Assis (2006) em cidades brasileiras; Chatzidimitriou (2006) na Grécia, Han et al. (2007) na Korea, Huttner et al. (2008) em cidades da Europa Central e Chen e Wong (2006) em Singapura.

A fim de executar o modelo, os usuários devem conhecer detalhes do solo, dos edifícios, da vegetação e das condições atmosféricas iniciais para o domínio do modelo. As condições iniciais atmosféricas, necessárias para executar simulações, incluem a velocidade e direção do vento a 10 m acima do chão, a altura da camada de rugosidade ( $Z_0$ ), a temperatura inicial da atmosfera, a umidade específica a 2500 m de altura e a umidade relativa a 2 m de altura (HEDQUIST et al., 2009).

Katzschner et al. (2007) utilizaram esse modelo para a análise e simulação do espaço urbano. Também aplicando a mesma ferramenta, Lahme e Bruse (2003) realizaram observações locais do clima e da qualidade do ar. Os dois trabalhos concluíram que o ENVI-Met reproduz os dados observados com suficiente confiança, além de ser adequado a investigações que trabalham em escalas de alta precisão, com resoluções da grade da célula entre 0,5 e 10 m, e com precisão de tempo de 10 segundos (HEDQUIST et al., 2009).

## **2.5. FOTOGRAMETRIA**

O vocábulo “Fotogrametria” tem origem nos radicais gregos *photon*, que significa luz; *graphos*, escrita; e *metron*, medição. Desta forma, Fotogrametria pode ser definida como a medição realizada através de fotografias (SILVEIRA, 2011).

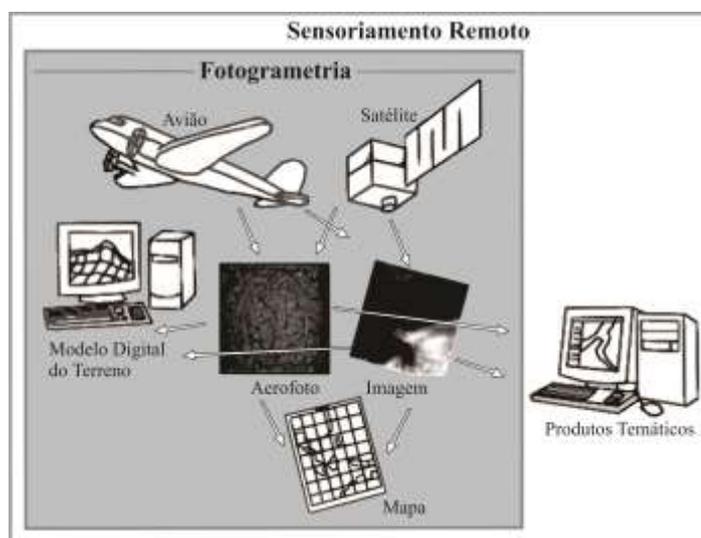
O conceito de Fotogrametria é bastante discutido, mas o consenso geral a define como “ciência e tecnologia de se obter informação confiável, através de imagens adquiridas por sensores remotos” (BRITO; COELHO FILHO, 2007). Ciência, uma vez que são estudados os processos de captação da energia eletromagnética, proveniente dos

raios luminosos, e tecnologia, porque é utilizada para obter resultados mais rápidos e eficazes para o usuário (SILVEIRA, 2011).

A Fotogrametria traz diversos benefícios, tais como a redução do trabalho de campo para levantamento de coordenadas, redução no tempo para obtenção de dados, uma vez o deslocamento no terreno em busca de informação se torna desnecessário, aumento da área de abrangência do estudo, etc. Entretanto, o objetivo principal da Fotogrametria é a reconstrução de um espaço tridimensional, chamado de espaço objeto, a partir de imagens bidimensionais, chamadas de espaço imagem (BRITO; COELHO FILHO, 2007; SILVEIRA, 2011).

A partir da reconstrução do espaço tridimensional do terreno, pode-se construir o espaço físico tridimensional em um computador. Assim, o usuário poderá fazer diversas análises, em um terreno qualquer, como se estivesse realmente no local, sem custos de deslocamentos e sem enfrentar problemas de acesso ao mesmo (SILVEIRA, 2011).

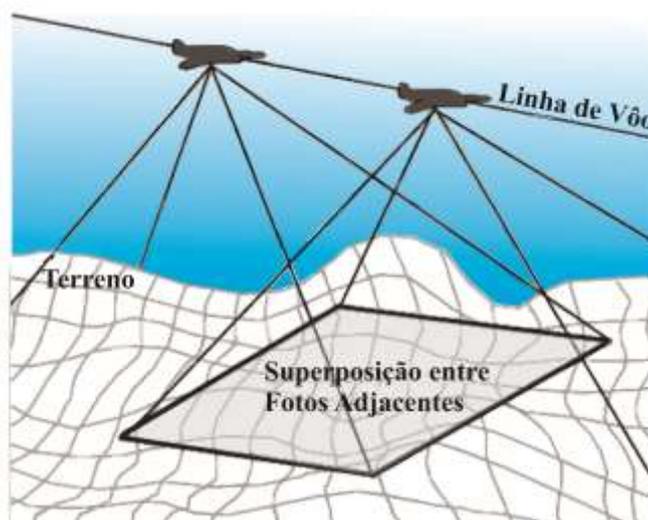
As técnicas de Fotogrametria, aplicadas em imagens de Sensoriamento Remoto (Figura 16), representam grande potencial de contribuição para a estimativa populacional e planejamento, principalmente nas grandes cidades, pela obtenção dos modelos 3D do relevo do terreno e da morfologia urbana (BRITO; COELHO FILHO, 2007; SILVEIRA, 2011).



**Figura 16** - Visão atual de fotogrametria como uma das técnicas do sensoriamento remoto.  
**Fonte:** Adaptado de Brito e Coelho Filho (2007).

Convencionou-se usar a classificação de fotogrametria terrestre, fotogrametria aérea (ou aerofotogrametria) e fotogrametria orbital para, em grosso modo, expressar os diferentes modos de posicionar o sensor. A fotogrametria terrestre tem diversas

aplicações na arquitetura, no controle industrial, na engenharia civil e nas artes plásticas. Já a aerofotogrametria (Figura 17) é, tradicionalmente, mais envolvida com a geomática. Por fim, a fotogrametria orbital é uma tendência para o futuro, já sendo empregada nos dias de hoje em escala crescente (BRITO; COELHO FILHO, 2007; SILVEIRA, 2011).



**Figura 17** - Tomada de imagens com região de adjacência a partir de fotos aéreas.  
**Fonte:** Adaptado de Brito e Coelho Filho (2007).

### 2.5.1. Estações Fotogramétricas Digitais

A fotogrametria digital surgiu, nos anos 80, a partir da utilização de imagens digitais como fonte primária de dados. Os equipamentos empregados para o processamento dessas imagens são chamados de Estações Fotogramétricas Digitais (ou seja, estações de trabalho inteiramente voltadas para a fotogrametria). Também podem ser utilizados computadores comuns para esse fim, devendo receber *hardware* e *software* específicos (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

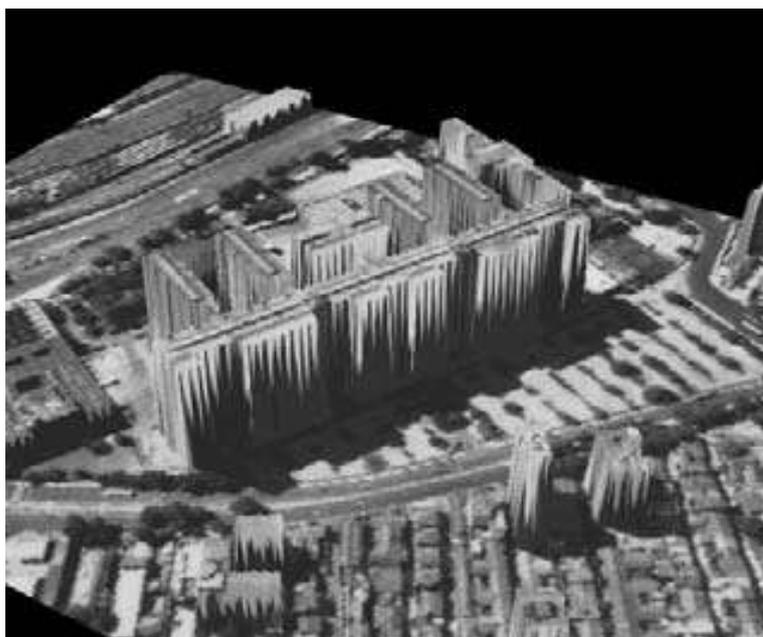
#### 2.5.1.1. E-foto

O projeto E-foto tem como objetivo a implementação de uma estação fotogramétrica digital educacional gratuita e livre, onde os usuários têm a possibilidade de ver, pela prática, os conceitos fotogramétricos contidos em uma Estação Fotogramétrica Digital (BRITO; COELHO FILHO, 2007). O projeto teve início em 2002, no Instituto Militar de Engenharia (IME), e atingiu os objetivos planejados em maio de 2007, no Programa de Pós-graduação em Geomática da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com a conclusão dos módulos de retificação, orientação interior, orientação exterior, fototriangulação, restituição digital, normalização de

estereogramas, geração do modelo numérico de elevações e ortorretificação (SILVEIRA et al., 2011).

No E-foto o usuário fornece, como entrada do sistema, um par estereoscópico de imagens fotogramétricas, juntamente com informações sobre os parâmetros da câmera utilizada, e os valores dos parâmetros das orientações interior e exterior de cada uma das imagens do par estereoscópico, estas últimas executadas dentro da própria estação fotogramétrica (SILVEIRA et al., 2011).

O resultado da extração 3D pode ser exportado, de forma a possibilitar sua visualização, podendo ser utilizadas, para leitura dos dados exportados, ferramentas como o *GNU-Octave* e o *Matlab*. A Figura 18 apresenta a visualização dos resultados da extração em 3D, utilizando-se um *plug-in* de visualização 3D presente na estação fotogramétrica System BLUH da Universidade de Hannover (LINDER, 2006).



**Figura 18** – Visualização 3D, a partir da estação fotogramétrica System BLUH, dos resultado da extração 3D utilizando-se dos módulos do E-foto.

**Fonte:** Silveira et al. (2011).

### 2.5.2. Operações fotogramétricas

Os *softwares* que atuam nas estações digitais possuem algumas ferramentas dedicadas às operações fotogramétricas de preparação das imagens e extração de informações. As operações de preparação das imagens incluem a orientação interior, a orientação exterior, a fototriangulação analítica e a retificação e normatização de imagens. As operações de extração de informações englobam a extração de modelos

digitais de superfícies e geração de ortoimagens. Na sequência, estas ferramentas serão fundamentadas, para uma maior compreensão dos processos relacionados à fotogrametria.

### ***2.5.2.1. Operações de preparação das imagens***

#### ***2.5.2.1.1. Orientação interior***

Considerando que o par estereoscópico de imagens obtido encontra-se como arquivo digital, sem nenhuma informação métrica, torna-se necessário a reconstrução do feixe perspectivo da câmera, ou seja, o referenciamento desta imagem em relação a câmera. Conceitualmente, a orientação interior consiste apenas em colocar as imagens em posição semelhante à que exerciam dentro da câmera, no momento em que foram obtidas (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A execução da orientação interior pressupõe a utilização de uma câmera métrica, com parâmetros de calibração e distorção das lentes previamente calculados. Assim, é possível a transformação do sistema de imagem digital (*pixels*) para o sistema métrico da câmera (milímetros) (SILVEIRA, 2011).

A ferramenta de orientação interior é realizada pela técnica de correlação, tendo como parâmetro as marcas fiduciais, localizadas nas extremidades de uma imagem digital, correlacionando a posição em pixels (coluna e linha), na imagem, com a posição em milímetros do sistema cartesiano da câmera (BRITO; COELHO FILHO, 2007). Ao fim, todas as imagens do mesmo voo estarão “orientadas” ao terreno, permitindo que sobre elas sejam executadas medições referentes as coordenadas no espaço-objeto, ou seja, no sistema de terreno.

Para garantir a realização correta da orientação interior das fotografias é necessário que se tenha acesso ao certificado de calibração da câmera e a descrição detalhada do voo, fornecidos pela empresa que realizou o levantamento.

#### ***2.5.2.1.2. Orientação exterior***

O objetivo da orientação exterior é a obtenção da posição e da atitude do sensor, no momento da coleta da imagem fotográfica, em relação ao referencial do espaço-objeto. Uma imagem está orientada exteriormente se seus seis parâmetros de orientação exterior são conhecidos. Os parâmetros incluem as coordenadas no espaço-objeto para o centro de perspectiva ( $X0$ ,  $Y0$  e  $Z0$ ) da câmera ou sensor e os ângulos de rotação ou de atitude do sensor ( $\varphi$ ,  $\omega$  e  $\kappa$ ) (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

É o processo pelo qual, através de pontos de controle ou de apoio medidos no terreno e identificáveis nas imagens, pode-se calcular a orientação das imagens em relação ao sistema de coordenadas do terreno (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

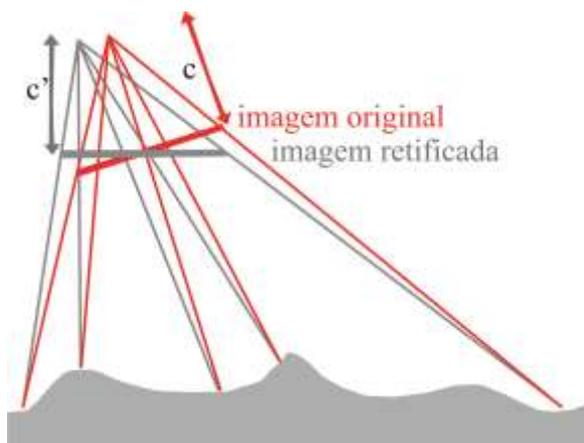
#### 2.5.2.1.3. Fototriangulação Analítica

A fototriangulação é o processo de se determinar as coordenadas de terreno (espaço-objeto) dos pontos fotogramétricos selecionados sobre as imagens fotográficas (espaço-imagem) (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

Acredita-se que a fototriangulação seja uma das soluções matemáticas mais alinhadas da engenharia cartográfica, pois permite a economia de tempo na produção de dados cartográficos digitais, bem como reduz os custos de produção dos mapas topográficos, especialmente no que se refere às operações de levantamento geodésico e topográfico (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

#### 2.5.2.1.4. Retificação e normalização de imagens

Segundo Andrade (1998), retificar uma imagem consiste em projetá-la, segundo seu próprio feixe perspectivo, em um plano horizontal. Isso significa que, pela retificação, torna-se possível a modificação e até mesmo eliminação dos ângulos de atitude da câmera em relação a um dado referencial, bem como a distância focal da imagem resultante. Tal fato pode ser observado na Figura 19, apresentada a seguir.



**Figura 19** - Imagem original, com suas devidas inclinações, e imagem retificada, de modo que não esteja rotacionada.

**Fonte:** Adaptada de Brito e Coelho Filho (2007).

No caso da fotogrametria aérea, ou seja, a fotogrametria destinada ao mapeamento em larga escala, interessa transformar as imagens de forma a eliminar os ângulos e gerar imagens perfeitamente verticais (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A retificação, eliminação das distorções causadas pelos ângulos de atitude da câmera, e a normalização, eliminação dos ângulos e componentes de base  $B_Y$  e  $B_Z$ , de imagens, permitem a preparação das imagens propriamente ditas para a execução de outras tarefas fotogramétricas. Pode-se dizer ainda, que elas marcam o fim das tarefas de preparação das imagens para a extração de informações. A partir deste momento todas as tarefas gerarão produtos-fim da fotogrametria, tais como: Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), originais de restituição fotogramétrica, fotocartas, ortoimagens e ortofotocartas (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

### 2.5.2.2. Operações de extração de informações

#### 2.5.2.2.1. Extração do Modelo Digital de Superfície (MDS)

Linder (2006) define dois tipos de modelagem do terreno, sendo eles o Modelo Digital de Terreno (MDT), que contém os valores de coordenadas 3D situados diretamente sobre o terreno, e o Modelo Digital de Superfícies (MDS), que contém os valores de coordenadas referidos ao topo dos objetos situados no terreno. Os dois modelos podem ser utilizados de forma complementar. A Figura 20 apresenta as duas modelagens de terreno abordadas SILVEIRA, 2011.



**Figura 20** -Tipos de modelagem de superfície  
**Fonte:** adaptado de Linder (2006).

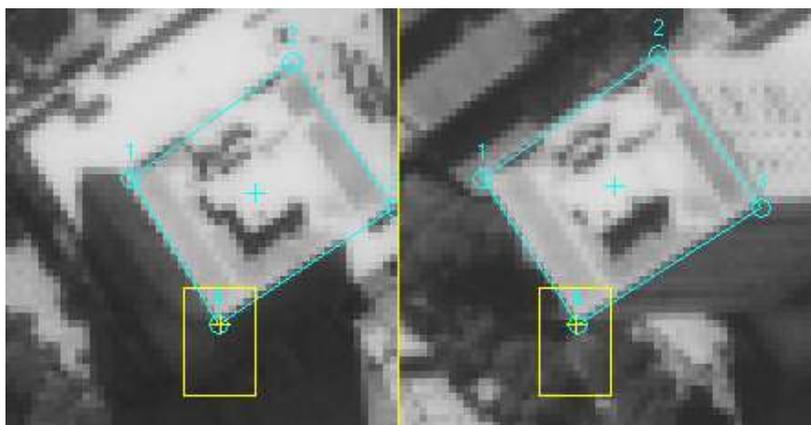
Para a reconstrução 3D de uma cena, um operador deverá localizar os pontos ou contornos homólogos dos objetos, presentes nas imagens, e digitalizá-los. Esta é uma tarefa complexa, pois, em uma cena, geralmente há milhões de pontos ou objetos a serem representados em 3D. A obtenção de um Modelo Digital de Superfícies (MDS), atualmente se faz através de técnicas de extração manual ou semi-automática de feições, a partir de imagens sensoriadas remotamente (SILVEIRA, 2011).

A extração manual é mais acurada e confiável que a automática, uma vez que métodos automáticos em geral não substituem com perfeição a habilidade do intérprete humano. Uma vantagem da extração manual é a obtenção de objetos rotulados, enquanto sua desvantagem se dá ao elevado custo das medições, que envolvem semanas ou até meses, dependendo da cena em questão e da escala de interesse a ser representada (SILVEIRA, 2011).

A extração automática de feições é mais rápida, se comparada com o trabalho humano, podendo construir modelos 3D do terreno em minutos ou em poucas horas. Entretanto, boa parte dos métodos empregados na extração 3D gera uma massa de dados que não incorpora qualquer informação sobre a semântica do modelo gerado, além de apresentarem falhas e deformações na geometria dos objetos extraídos, principalmente em áreas urbanas (SILVEIRA, 2011).

Na extração manual do MDS, o operador humano é o responsável por identificar os objetos presentes em uma cena no par estereoscópico, tendo como premissa três tipos de elementos geométricos, sendo eles os pontos, linhas e polígonos. O ponto é a unidade de medição, que corresponde a um par de pixels homólogos, a linha é um conjunto de pontos conectados a dois outros pontos e o polígono é uma linha em que o último ponto é ligado ao primeiro (SILVEIRA, 2011).

As linhas geralmente são utilizadas para a medição de ruas, linhas férreas, pontes, etc, com base nas linhas de contorno da própria via. Esta medição, juntamente com a medição de pontos isolados, poderá ser utilizada para modelagem do terreno (MDT), onde as edificações e vegetações mais altas são ignoradas. Os polígonos são utilizados na medição de edificações pela delimitação dos seus contornos, conforme ilustrado na Figura 21, sendo que os polígonos, resultantes dos contornos, serão utilizados como linhas de quebra (*break-lines*) na modelagem da superfície (MDS). Neste processo, no momento da interpolação dos pontos no modelo, o valor da coordenada Z, da região localizada no interior do polígono, será substituída pelo valor calculado para o Z correspondente ao polígono, enquanto os pontos externos ao polígono terão atribuição de coordenada  $Z = 0$  (SILVEIRA, 2011).

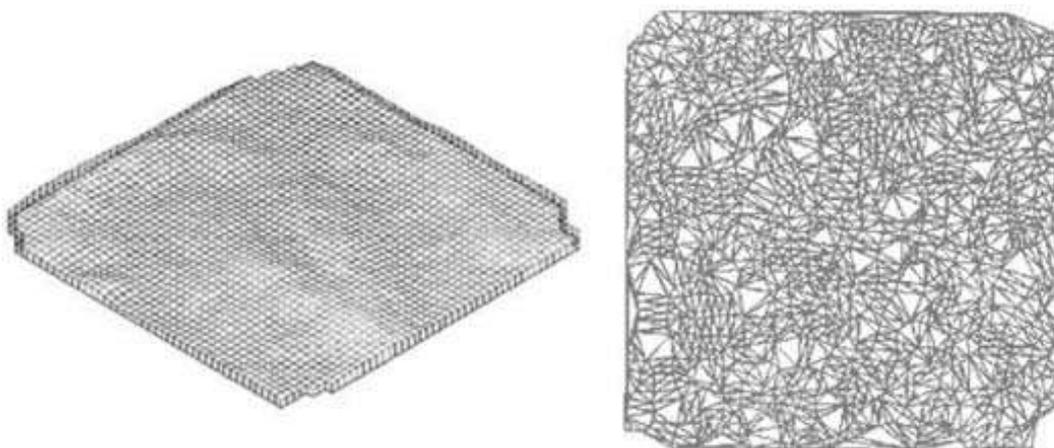


**Figura 21** - Medição manual de polígonos no *software* E-foto.

**Fonte:** Brito e Coelho Filho (2007).

A interpolação, neste caso é feita através de uma Rede de Triangulação Irregular (RTI) (*Triangular Irregular Network – TIN*), que é composta pelos pontos originais, ligados três a três, formando triângulos irregulares, mas com propriedades matemáticas bem definidas. O modo como se ligam os pontos é determinado por um algoritmo chamado triangulação de Delaunay, que conecta um ponto apenas a seus vizinhos. Cabe aqui ressaltar que os triângulos são formados tão próximos quanto possível de triângulos equiláteros.

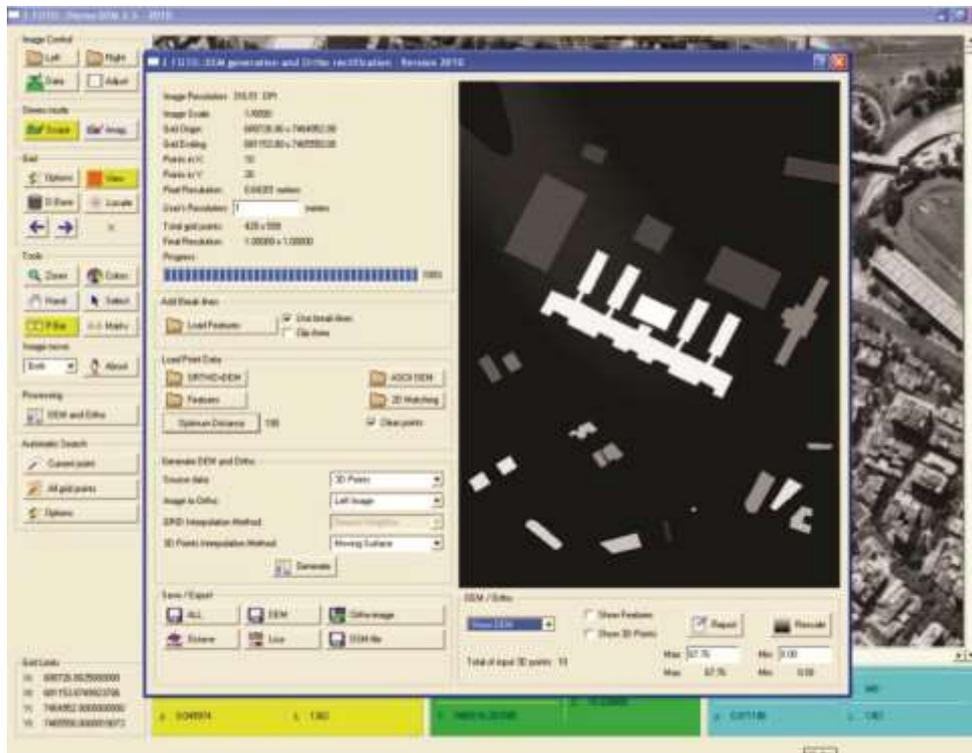
Um exemplo real de terreno visualizado em grade regular e em TIN pode ser visto na Figura 22. Esse espaçamento entre os pontos da malha deve ser definido previamente, seguindo os parâmetros de escala do projeto, resolução geométrica da imagem e do tipo de terreno.



**Figura 22** - Grade regular em vista isométrica (à esquerda) e TIN em vista de topo (à direita).

**Fonte:** Brito e Coelho Filho (2007).

No módulo de Extração do Modelo Digital de Superfícies do E-foto aplicam-se interpolações para os pontos e linhas medidos, enquanto que os polígonos são utilizados como linhas de quebra. A Figura 23 mostra a extração do MDS através do E-foto.



**Figura 23** - Geração do MDS no ambiente E-foto  
**Fonte:** Silveira (2011).

#### 2.5.2.2.2. Geração de Ortoimagens

A ortoimagem pode ser definida, de forma simples, como imagem em perspectiva ortogonal. Ao contrário da projeção central, a imagem em projeção ortogonal pode ser tomada como um documento cartográfico e empregada em qualquer atividade que demande um mapa, carta ou fonte de dados similar (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A perspectiva ortogonal é um fenômeno artificial, assim, para obter ortoimagens, faz-se necessário realizar uma transformação sobre as imagens já existentes (em perspectiva central), chamada ortorretificação. A sua diferença em relação a retificação consiste no fato de que ortorretificação, além de retirar as distorções relativas à rotação da câmera (como já é feito pela retificação), elimina a distorção relativa ao relevo (pela transformação da perspectiva cônica em ortogonal) (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

De forma a possibilitar o atendimento dos objetivos desta pesquisa, considerando a amplitude de disciplinas abordadas, foi necessário o desenvolvimento de diferentes métodos de levantamento de dados e modelagem, com uso de instrumentação específica que serão detalhados nos itens que se seguem.

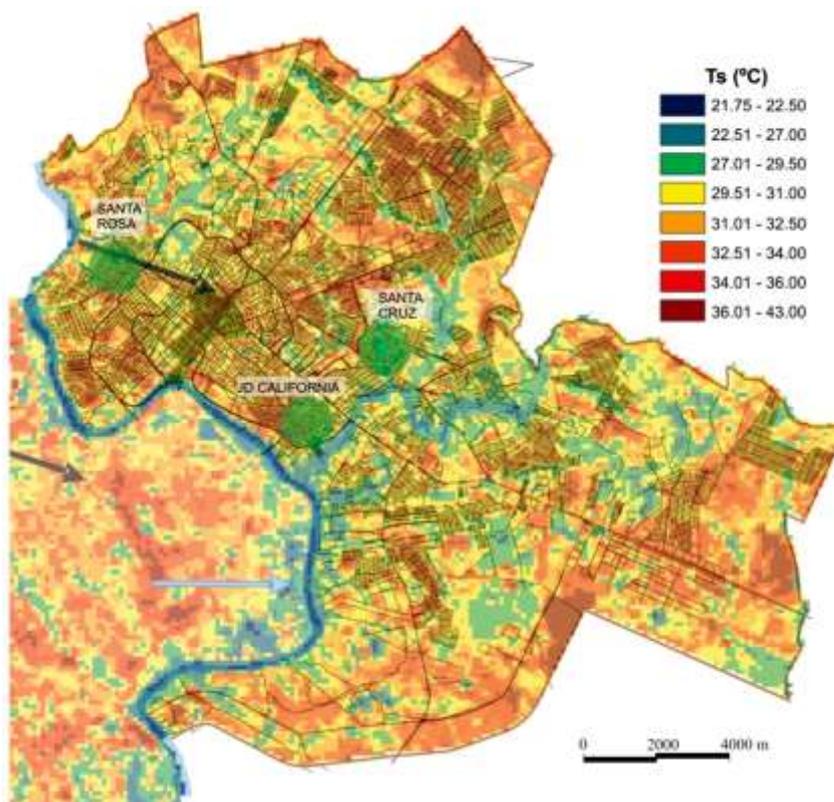
Destaca-se aqui que a descrição detalhada da metodologia utilizada para configuração do arquivo de entrada do *software* ENVI-Met encontra-se no Anexo 1 desta tese.

#### **3.1. PROCEDIMENTOS DE ESCOLHA DA ZONA URBANA DE ESTUDO**

A escolha do local de estudo se fundamentou, inicialmente, na análise de imagens térmicas da cidade, obtidas pelo satélite LANDSAT 5, com resolução de pixel de 30m (CALLEJAS et al., 2011). Tais imagens tornaram possível a identificação das regiões mais e menos afetadas pelos efeitos da ilha de calor (baseada na temperatura das superfícies) na cidade de Cuiabá (Figura 24).

Considerando o objetivo geral do trabalho, de verificar os efeitos da implantação do telhado vegetado no microclima da região, a escolha do local de estudo se fundamentou na busca por regiões menos afetadas pelos efeitos da Ilha de Calor e que possuíssem ocupação predominantemente residencial.

A verificação da influência do telhado vegetado em regiões menos adensadas e com condições climáticas menos afetadas pela urbanização fornece parâmetros para dimensionar a menor intensidade dos efeitos deste tipo de cobertura. Isto é possível quando consideramos que os efeitos do telhado vegetado em morfologias urbanas caracterizadas por grandes distâncias entre os edifícios e preservação da vegetação tanto nos quintais quanto nos passeios públicos são menos expressivos e ainda fortemente influenciados por fenômenos naturais (vegetação existente e proximidade com cursos d'água), difíceis de serem simulados nos programas de modelagem climática.



**Figura 24** - Imagem térmica da cidade de Cuiabá com indicação das áreas que se enquadram nas limitações físicas impostas pelo estudo.

**Fonte:** Adaptado de Callejas et al. (2011)

Se forem identificados benefícios pela incorporação do telhado vegetado, para esta realidade morfológica urbana, eles serão ainda maiores no restante da cidade, comprovando a viabilidade da utilização do telhado vegetado em qualquer situação de ocupação urbana.

A restrição por regiões de uso predominantemente residencial se deve a proximidade dos telhados em relação às áreas de ocupação humana (ruas, passeios e quintais), característico deste tipo de ocupação. Assim os efeitos das alterações na configuração dos telhados poderão ser percebidos de forma mais expressiva pelos transeuntes. Além disso, este padrão de ocupação se repete em toda a extensão da macrozona de Cuiabá, com variações no adensamento e na configuração de entorno natural, permitindo a extrapolação dos resultados para maior porção da cidade.

A característica do relevo também foi um parâmetro para a escolha da área de desenvolvimento do trabalho, uma vez que o modelo climático, utilizado para simulação, não permite a incorporação de dados topográficos, o que dificulta o desenvolvimento do estudo em áreas de relevo muito acidentado.

Tais limitações permitiram a escolha do bairro Jardim Califórnia (Figura 25) para a realização do estudo, sendo o local que melhor se adequou as limitações impostas.



**Figura 25** - Imagens de satélite da área escolhida para o estudo (bairro Jardim Califórnia)  
**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2009)

### 3.1.1. Caracterização da Zona urbana – Jardim Califórnia

#### 3.1.1.1. Aspectos Gerais

O bairro Jardim Califórnia se localiza na região Leste da cidade, nas coordenadas geográficas 15° 37' 32" de latitude sul (S) e 56° 04' 23" de longitude a oeste (W) de Greenwich (Gr), próximo aos rios Cuiabá e Coxipó (Figura 26).



**Figura 26** - Localização do Bairro Jardim Califórnia na Macrozona de Cuiabá  
**Fonte:** Adaptado de Cuiabá (2012)

A região se destaca na cidade pela grande proporção de áreas verdes em relação às áreas edificadas e pavimentadas. É formada por lotes extensos, quando compara-se ao padrão de lotes observado no restante da cidade, e edificações também de grandes dimensões. Segundo o SMDU (2010) o bairro é definido como de alta classe de renda, acima de 21,94 salários mínimos, o que pode ser facilmente percebido pelo padrão das edificações existentes (Figura 27).

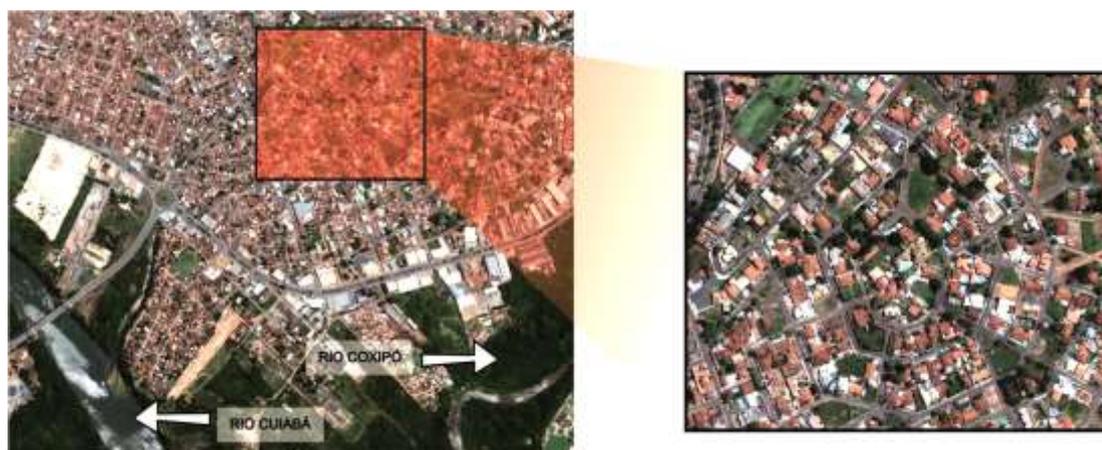


**Figura 27** - Casas localizadas no bairro Jardim Califórnia

**Fonte:** Adaptado de Street View – Google Earth (ANGUELOV et al., 2010)

O bairro possui 1.754 habitantes no total, estando, em sua maioria, concentrados na faixa etária entre 20 e 29 anos. Apresenta densidade populacional semelhante à média urbana, verificada no município de Cuiabá, sendo 24,01 hab./ha e 21,24 hab./ha, respectivamente, para o ano de 2010 (IBGE, 2010). Este valor evidencia a baixa densidade de ocupação da área, uma vez que, em áreas altamente adensadas, chega-se a observar valores de densidade demográfica em torno de 177 hab./ha, como é o caso do bairro Jardim Eldorado (CUIABÁ, 2012).

A zona estudada possui uma localização especial na região urbana de Cuiabá, estando próxima aos dois rios que atendem diretamente a cidade, rio Cuiabá e rio Coxipó (Figura 28). Devido esta proximidade, a zona urbana sofre influência climática tanto dos rios quanto da mata ciliar, que se estende por até 400m a partir do leito dos rios. No entanto, considerando a direção predominante, Norte-Noroeste, da ventilação, na macrozona da cidade de Cuiabá, esta influência não será tão expressiva em grande parte do ano, visto que os ventos passam pelo bairro em direção aos rios. Entretanto, no inverno, quando observam-se menores valores de umidade no clima local, a direção Sul predominante dos ventos neste período leva a umidade dos rios diretamente para zona urbana de estudo.

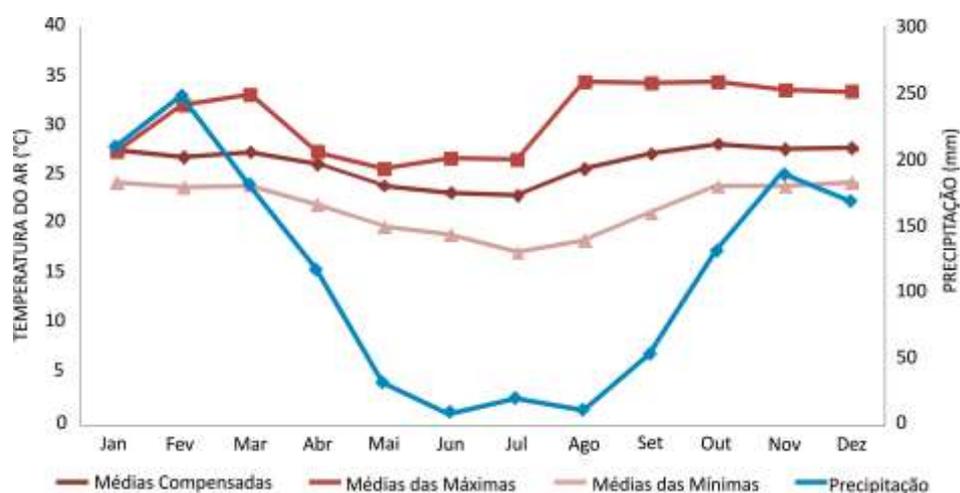


**Figura 28** - Imagem a partir de satélite indicando a posição da região de estudo e seu entorno próximo  
**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2009)

Com relação ao clima, segundo classificação apresentada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o clima da região é essencialmente tropical continental, apresentando dois períodos distintos: o chuvoso, com duração de oito meses, e o seco, com duração de quatro meses (CUIABÁ, 2012).

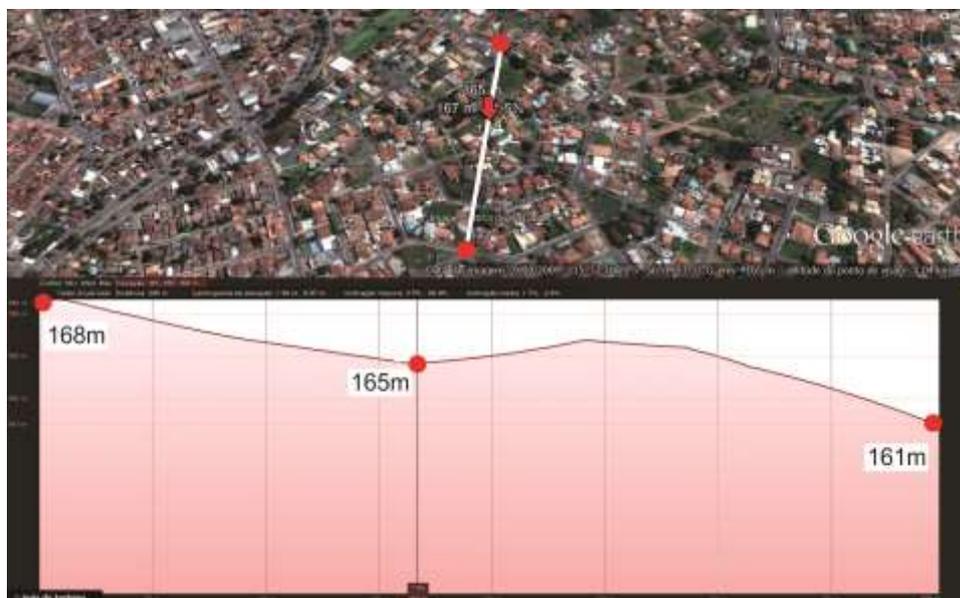
No período chuvoso, principalmente nos primeiros meses, a temperatura é mais elevada assim como a umidade do ar (Figura 29), caracterizando, neste período, o clima tropical continental úmido. No período seco, que se estende geralmente de junho a setembro (Figura 29), a umidade do ar, em certos dias, chega a variar de 18% a 40%, definindo o clima, deste período, como tropical continental seco (CUIABÁ, 2012).

No período seco observa-se a ocorrência das frentes frias, ocasionadas pelo avanço das massas de ar vindas do sul, que permanece no máximo oito dias, para reaparecer a intervalos mais ou menos prolongados. Nesta época do ano o frio das madrugadas e das manhãs alterna-se com o calor do meio-dia e da tarde, caracterizando as elevadas amplitudes térmicas diárias, típicas deste período (Figura 29) (CUIABÁ, 2012).



**Figura 29** - Médias mensais das variáveis climatológicas observadas em Cuiabá de 1970 a 2007.  
**Fonte:** 9º distrito de meteorologia (CUIABÁ, 2012)

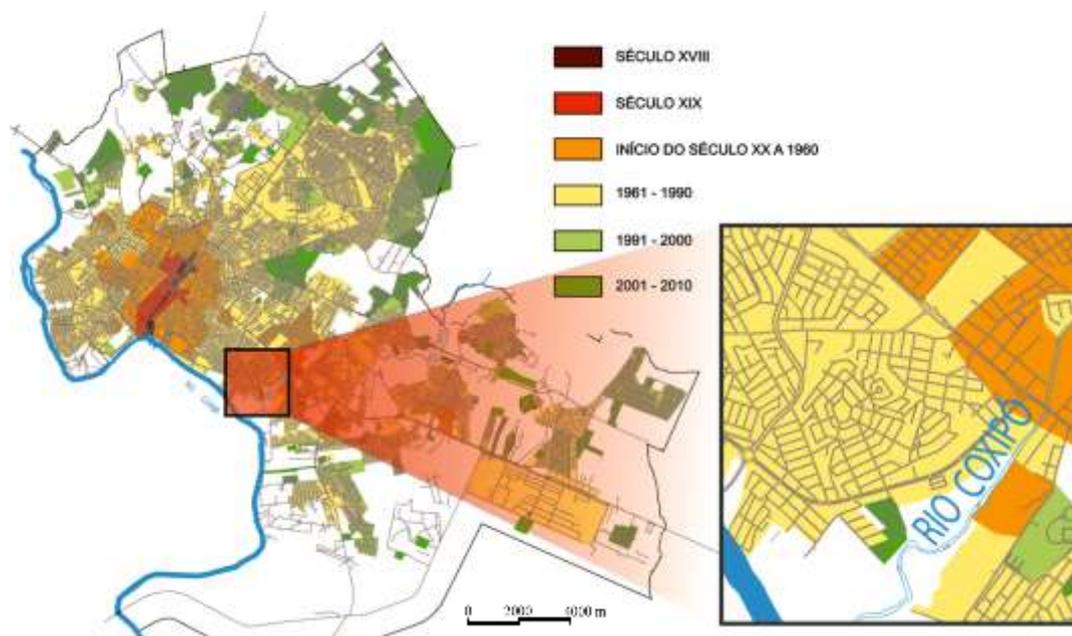
Com relação ao relevo, o bairro apresenta variações suaves de altitude, conforme pode ser observado no levantamento topográfico obtido pela ferramenta “caminho” do Google Earth (Figura 30). A porção norte da zona urbana estudada possui altitude até 9m superior a porção sul, caracterizando redução da altitude à medida que se aumenta a proximidade com os rios.



**Figura 30** - Levantamento da configuração topográfica da área de estudo  
**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2009)

Apesar de não ser um bairro tradicional na sociedade cuiabana, com ocupação consolidada entre os anos de 1961 e 1990 (Figura 31), já se encontra consolidado quando tratam-se das características de suas ruas e edificações. Quando avaliada a evolução de

sua ocupação a partir de 2005 até a atualidade, a zona urbana, compreendida pelo bairro Jardim Califórnia, não apresenta variações expressivas.



**Figura 31** - Mapa da evolução da ocupação urbana de Cuiabá, destaque para a zona urbana do Bairro Jardim Califórnia

**Fonte:** Adaptado de SMDU (2010)

### 3.2. MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário a obtenção de dados microclimáticos de forma a possibilitar a configuração do arquivo de entrada, para simulação no *software* ENVI-Met, e ainda para a validação dos dados gerados pelo *software*, verificando sua adequação as características físicas e climáticas da cidade de Cuiabá.

Os dados microclimáticos para configuração do arquivo de entrada do ENVI-Met foram obtidos através da estação de referência (83362), localizada no Aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande, MT, conforme determinações impostas pelos desenvolvedores do *software*.

Para a validação dos dados gerados pelo ENVI-Met o levantamento microclimático foi realizado tanto na Sub-camada Rugosa (SR), caracterizada pela região acima dos edifícios, quanto na Camada de Dossel Urbano (CDU), região entre os edifícios. Os dados permitiram a verificação da sensibilidade do modelo em explicar as particularidades climáticas destas duas camadas urbanas.

### 3.2.1. Período de Medição

O período de medição foi definido tendo como base as características climáticas da área de estudo, com ocorrência de dois períodos distintos: o quente-úmido, de novembro a abril, e o quente-seco, de maio a outubro, com pequenas variações durante sua transição.

Para a configuração do arquivo de entrada do ENVI-Met, considerando que o modelo fornecerá as variáveis, na alimentação do sistema, de forma constante, foi definido o valor médio das variáveis para o intervalo de três meses em cada um dos períodos. Considerando serem os meses com características climáticas mais representativas dos períodos, definiram-se os meses de Janeiro, Fevereiro e Março, para o período quente-úmido e, Julho, Agosto e Setembro, para o período quente-seco.

De forma a permitir a validação dos dados gerados pelo ENVI-Met, o levantamento microclimático realizado na Sub-camada Rugosa (SR) considerou o mesmo período de medição utilizado para a configuração do arquivo de entrada do ENVI-Met.

O levantamento microclimático na Camada de Dossel Urbano (CDU), no entanto, foi realizado através de transectos móveis, considerando a necessidade de se abranger a maior porção possível da área de estudo, o que não seria possível com uma estação fixa. O levantamento objetivou configurar o comportamento térmico da área de estudo em condições de tempo atmosférico ideal, ou seja, céu claro e ventos fracos, necessários para a verificação do modelo (OKE, 1982).

Nesta camada a medição dos dados microclimáticos, referentes à estação quente-úmida, ocorreu nos dias 9, 12 e 14 de março, às 06h, 14h e 20h. Os horários de medição foram definidos com base no comportamento diário da ilha de calor urbana, tendo como parâmetro o nascer do sol, momentos após o pico solar e algumas horas após o por do sol, momento no qual observa-se a ocorrência da ilha de calor positiva na cidade (CLEUGH; OKE, 1986).

Os resultados dos três dias de medição foram analisados de forma a identificar o comportamento microclimático de um dia típico, que, segundo Oke (1982). Desta forma, o dia 9 de março foi escolhido para validação o modelo climático no período quente-úmido.

Na estação quente-seca, a medição ocorreu nos dias 6, 9 e 12 de agosto, nos mesmos horários definidos no período quente-úmido. Pela análise dos três dias foi

possível a definição do dia 6 de agosto para validação do modelo no período quente-seco.

### **3.2.2. Materiais e Método de Medição**

Os dados microclimáticos para configuração do arquivo de entrada do ENVI-Met, obtidos através da estação de referência (83362), localizada no Aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande, MT, seguiram os padrões e métodos pré definidos para uma estação de referência, não cabendo ao escopo deste trabalho descrevê-los.

As variáveis utilizadas para validação, tanto na SR quanto na CDU, englobam a temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%), uma vez que a variável de ventilação, definida de forma muito estática no modelo, não se comporta desta forma na realidade, o que torna difícil sua compatibilização. A instrumentação e o método utilizado para a medição destas variáveis serão descritos a seguir.

#### **3.2.2.1. Sub-camada Rugosa (SR)**

A medição de dados na SR ocorreu através de uma estação micrometeorológica automática fixa, da Onset, linha HOBO, modelo U30 Wi-Fi, localizada no bloco do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, da UFMT. A estação foi fixada acima do telhado a uma altura aproximada de 7,00 m, que, considerando o perfil térreo dos edifícios no seu entorno.

#### **3.2.2.2. Camada de Dossel Urbano (CDU)**

Para o levantamento da variável temperatura do ar foi utilizado um sensor de temperatura ambiente, modelo S-04K, da Instrutherm, com precisão de 0,5%, fixado no interior de um tubo de PVC perfurado. O sensor era conectado ao Termômetro Digital Portátil (Data-logger tipo K/J), modelo TH-060, da marca Instrutherm (Figura 32a), com precisão de 0,8°C ou 0,1% e resolução de 0,1°C.

A variável de umidade relativa do ar foi medida através do Termo-Higrômetro Digital Portátil, modelo HT-260, também da marca Instrutherm (Figura 32b), com resolução de 0,1% RH e precisão de  $\pm 3,5\%$  RH.

A radiação solar foi obtida através do Medidor de Energia Solar, modelo MES-100, da Instrutherm (Figura 32c), com resolução de 1W/m<sup>2</sup> e precisão de  $\pm 10\text{W/m}^2$  ou 5%.



**Figura 32** - Equipamentos de medição das variáveis microclimáticas: (a) Termômetro Digital Portátil, (b) Termo-Higrômetro Digital Portátil e (c) Medidor de Energia Solar.

O levantamento foi realizado por meio de um veículo automotivo pela técnica de transectos móveis, estando somente o Termômetro Digital portátil fixado no vidro do carro, com o sensor de temperatura ambiente introduzido no interior de um abrigo confeccionado com canos de PVC (Figura 33), a aproximadamente 1,30 m do solo. Os demais equipamentos foram transportados no interior do veículo e manipulados no momento das medições de dados. As medições foram feitas com o veículo parado e o trajeto foi realizado com velocidade do veículo entre 30 e 40 km/h, não ultrapassando 30min para a conclusão do transecto.

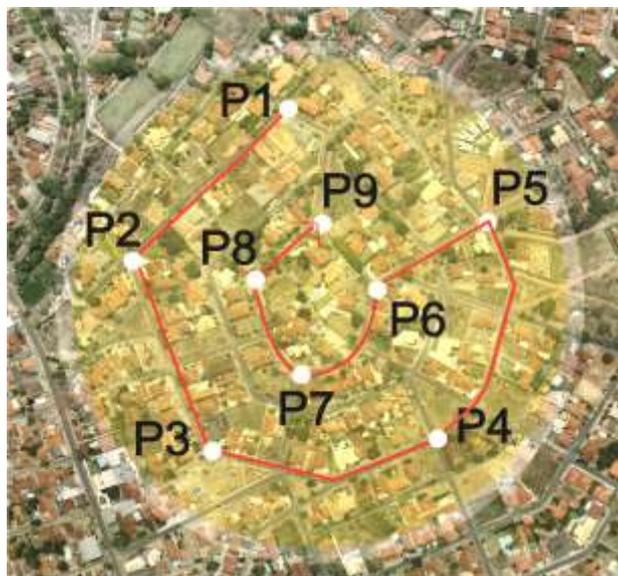


**Figura 33** - Abrigo em cano de PVC instalado no vidro do veículo utilizado nos transectos móveis.

### 3.2.3. Definição dos Pontos de Medição

Considerando a finalidade do levantamento, fundamentada na validação da simulação realizada no *software* ENVI-Met, a definição dos pontos de medição buscou atender, de forma mais ou menos uniforme, a maior região possível da área de estudo. Os padrões de morfologia urbana não foram expressivos nesta definição. Determinaram-se nove pontos de medição (Figura 34), sendo que as variáveis referentes ao primeiro

ponto foram levantadas novamente ao final de cada transecto, permitindo a correção da variação temporal das mesmas.



**Figura 34** - Posicionamento dos pontos de medição das variáveis microclimáticas na zona de estudo.  
**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2009)

A localização, as características do entorno imediato e a posição exata do veículo, em cada um dos pontos, no momento da medição, podem ser observados no Quadro 4 apresentado a seguir. A circunferência branca, indicada nas imagens, caracteriza o local onde o veículo se posicionou no momento do levantamento.

**Quadro 4** - Localização e caracterização dos pontos de medição

Ponto	Localização	Foto (Street View – Google Maps)
P1	Rua Neif Feguri, próximo ao cruzamento com a Rua Monterey, na lateral da casa com muro laranja, em frente ao portão de acesso de veículos.	
P2	Rua Los Angeles, logo após o cruzamento com a Rua Neif Feguri, em frente ao consultório dentista.	

Quadro 4– Cont.

Ponto	Localização	Foto (Street View – Google Maps)
P3	Rua Los Angeles, próximo ao cruzamento com a Rua Arizona, antes das árvores posicionadas na esquina, no encontro entre o muro e a grade.	
P4	Rua Los Angeles, próximo ao cruzamento com a Rua Santa Fé, anterior ao bosque, em frente ao poste localizado no terreno do lado oposto da rua.	
P5	Rua Los Angeles, antes do cruzamento com a Rua River Side, em frente à casa número 775.	
P6	Rua River Side, antes do cruzamento com a Rua Sacramento, exatamente na esquina localizada no final da rua.	
P7	Rua Sacramento, logo após o cruzamento com a Rua Pacífico, na entrada do estacionamento da empresa NOSSO FOTO.	

Quadro 4 – Cont.

Ponto	Localização	Foto (Street View – Google Maps)
P8	Rua Sacramento, no ponto de alteração da direção da rua, sobre calçada localizada a direita.	
P9	Rua Sacramento, no cruzamento com a Rua Trinidad Tobago, exatamente à direita da esquina que caracteriza o encontro das duas ruas.	

### 3.3. MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS

De forma a criar um banco de dados espacial, capaz de definir as características individuais de cada célula da grade utilizada para reprodução da área de estudo no *software* ENVI-Met, foi realizada a classificação do uso e ocupação do solo local, incluindo caracterização das superfícies (construções e pavimentos), dimensionamento dos edifícios e caracterização das espécies vegetadas existentes.

#### 3.3.1. Materiais

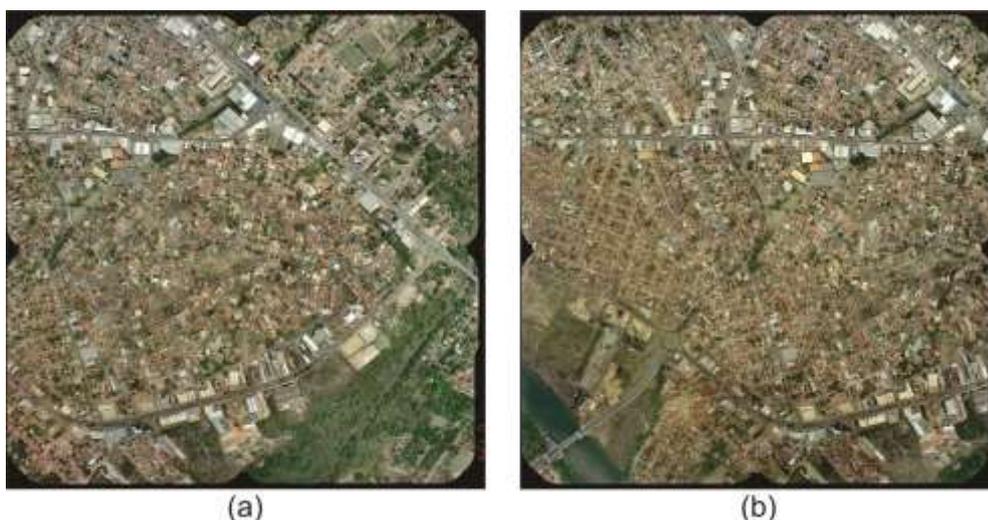
A medição das variáveis espaciais da área de estudo foi realizada através de observações presenciais e levantamento aerofotogramétrico.

Para as observações presenciais foi utilizada uma câmera fotográfica, uma ficha para catalogação das árvores e uma fita métrica de 20m (trena). Para o levantamento aerofotogramétrico foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Par estereoscópico das imagens aéreas do local de estudo, juntamente com o certificado de calibração da câmera;
- b) Estação Fotogramétrica Digital;
- c) GPS geodésico de precisão;
- d) Par de óculos (anaglifo);

### 3.3.1.1. *Par estereoscópico e Certificado de calibração da câmera*

As fotografias aéreas foram retiradas da cidade de Cuiabá em 2005 e fornecidas gratuitamente pela empresa de Engenharia e Aerolevantamento - Engefoto, localizada em Curitiba, PR. O par estereoscópico da área de estudo (Figura 35) foi selecionado a partir do mapa de voo, fornecido pela empresa, juntamente com o certificado de calibração da câmera utilizada no levantamento. O mapa de voo e o certificado de calibração da câmera podem ser visualizados no Apêndice 1 e 2 desta tese.



**Figura 35** - Par estereoscópico da área de estudo, (a) imagem 01 e (b) imagem 02, obtidas nesta sequência

**Fonte:** Empresa de Engenharia e Aerolevantamento - Engefoto

### 3.3.1.2. *Estação Fotogramétrica Digital*

O levantamento espacial da área de estudo foi realizado na Estação Fotogramétrica Digital E-foto, desenvolvida pelo Programa de Pós-graduação em Geomática da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Optou-se pela utilização da versão do *software* lançada em 23 de maio de 2012, que dispõe de funcionalidades fotogramétricas que possibilitam o desenvolvimento de trabalhos e projetos profissionais de elaboração de mapeamento 3D a partir de fotos aéreas, tanto as obtidas por câmaras de filme, quanto por sensores digitais aerotransportados (E-FOTO, 2012).

### 3.3.1.3. *GPS geodésico de precisão*

O GPS geodésico de precisão foi utilizado para realização da orientação exterior das fotografias aéreas, que será melhor descrita nos “procedimentos metodológicos”

relacionados à Aerofotogrametria, no subitem “orientação exterior”. Utilizou-se o GPS geodésico de precisão, modelo GTR-A (BT), da TechGeo (Figura 36), fornecido pelo Laboratório de Geofísica da UFMT, sob responsabilidade do professor Doutor Shozo Shiraiwa.

O modelo apresenta precisão de 0,5cm e utilizar a tecnologia wireless Bluetooth® de conexão sem fio, sendo um equipamento totalmente brasileiro.



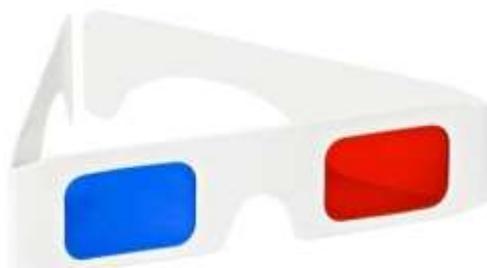
**Figura 36** - GPS geodésico de precisão

**Fonte:** <http://site.techgeo.com.br/produtos/outros/gtr-a-bt/>

#### **3.3.1.4. Par de óculos (Anaglifo)**

Para a correta delimitação dos polígonos no momento da extração manual das feições, melhor descrito nos procedimentos metodológicos relacionados à Aerofotogrametria, é necessária a utilização do par de óculos anaglifo (Figura 37). Este equipamento permite a visualização da região estudada em três dimensões, o que facilita o posicionamento dos pontos do polígono na altura correta em que se encontram no espaço real.

O modelo de óculos utilizado possui hastes brancas, confeccionadas em papel (Figura 37), fornecido pelo Laboratório de Fotogrametria da UERJ, Rio de Janeiro.



**Figura 37** - Par de óculos anaglifo

### **3.3.2. Procedimentos Metodológicos**

De forma a possibilitar a classificação precisa do uso e ocupação do solo local, incluindo caracterização das superfícies (construções e pavimentos), dimensionamento dos edifícios e caracterização das espécies vegetadas existentes, foram utilizados os seguintes procedimentos metodológicos:

- a) Aerofotogrametria;
- b) Caracterização das superfícies urbanas;
- c) Caracterização das superfícies vegetadas.

#### **3.3.2.1. Aerofotogrametria**

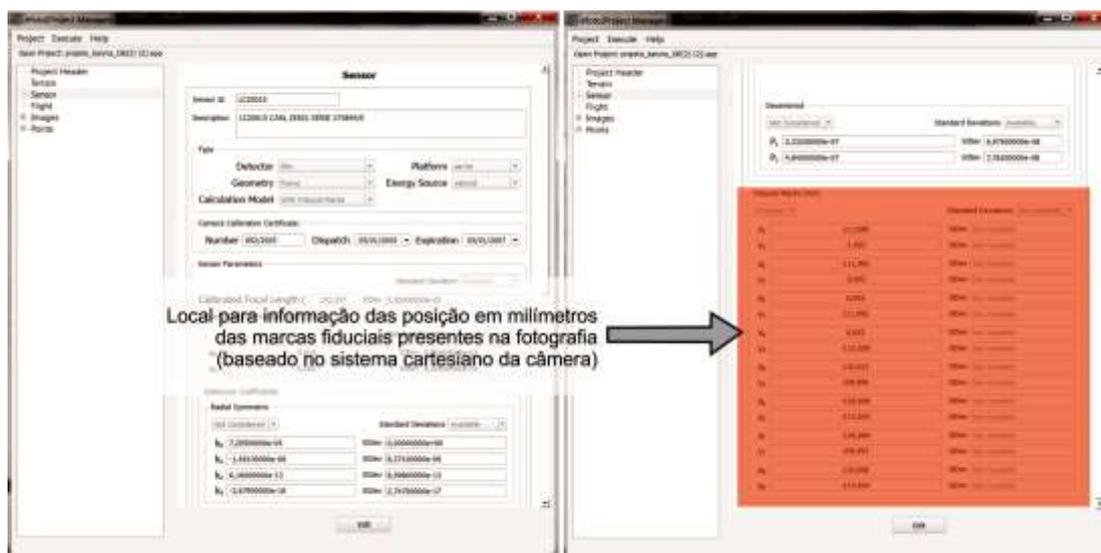
Conforme definido por Brito e Coelho Filho (2007), aerofotogrametria é a ciência e tecnologia de se obter informação confiável através de imagens adquiridas por sensores remotos, localizados em aeronaves. No entanto, para garantir sua correta representatividade em relação à área de estudo, as imagens precisam ser inicialmente preparadas através de algumas operações fotogramétricas.

As operações de preparação, realizadas nas fotografias utilizadas no estudo, incluem a orientação interior e a orientação exterior. Depois destes processos, foram extraídas, a partir das imagens preparadas, as informações espaciais da área de estudo, utilizando a operação de extração manual de feições e de geração do modelo digital de superfície. Todas estas operações, de preparação e de extração, serão detalhadas a seguir.

##### **3.3.2.1.1. Orientação Interior**

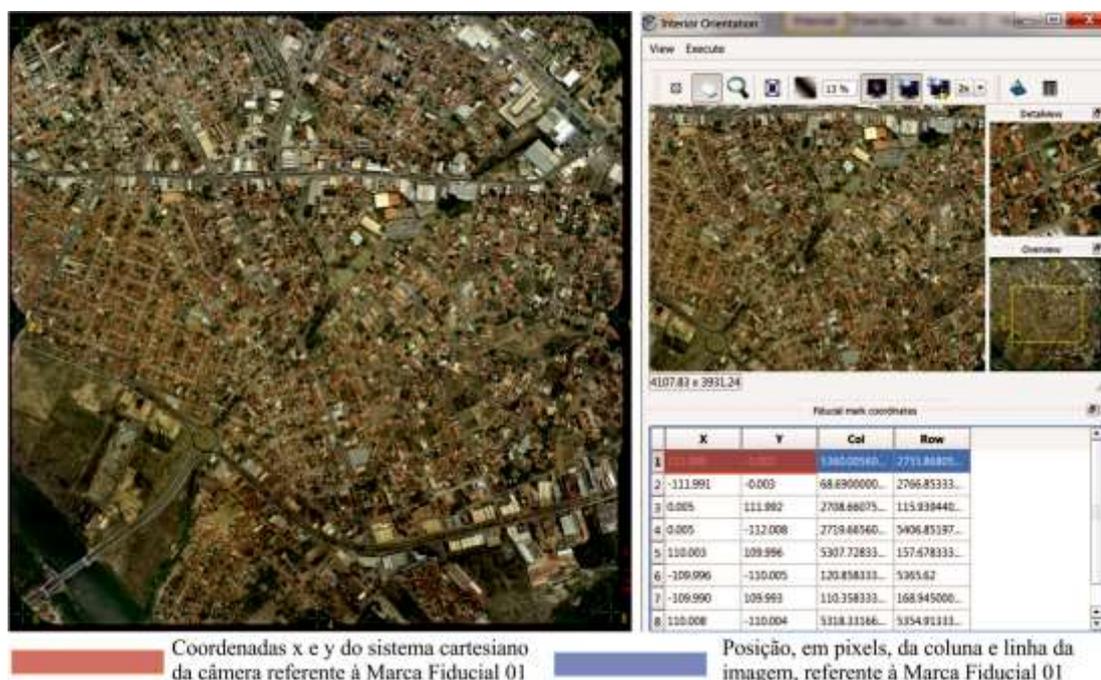
A operação de orientação interior é realizada pela técnica de correlação, tendo como parâmetro as marcas fiduciais, localizadas nas extremidades da imagem digital, correlacionando a posição em pixels (coluna e linha), na imagem, com a posição em milímetros do sistema cartesiano da câmera (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A estação E-foto possui um módulo que permite a realização desta operação, que deve ser feita, individualmente, para cada fotografia do par estereoscópico, vinculando às informações fornecidas no certificado de calibração da câmera, informadas na página de configuração do projeto (Figura 38).



**Figura 38** – Seção de configuração da câmera na página inicial do projeto na estação E-foto

No momento da orientação interior (Figura 39), são atribuídas as posições em pixels de cada uma destas marcas, referenciadas metricamente, na imagem digital. A partir do processamento destas informações, é definida pelo *software*, a posição, em milímetros, de cada pixel presente na fotografia.



**Figura 39** - Módulo orientação interior do *software* E-foto

Ao fim, todas as imagens do par estereoscópico estarão “orientadas” ao terreno, permitindo que sobre elas sejam executadas medições referentes às coordenadas no espaço-objeto, ou seja, no sistema de terreno (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

#### 3.3.2.1.2. *Orientação Exterior*

A orientação exterior é o processo pelo qual, através de pontos de controle, ou de apoio, medidos no terreno e identificáveis nas imagens, pode-se calcular a orientação das imagens em relação ao sistema de coordenadas do terreno (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A estação E-foto possui um módulo (*Spatial Ressection*) que permite a realização desta operação, no entanto deve-se, primeiramente, coletar informações precisas de coordenadas geográficas e altitude, medidas diretamente no terreno, de forma a fornecer os dados que o *software* necessita para orientar a imagem externamente. Para garantir a precisão necessária à posterior reprodução da área de estudo no modelo microclimático, foi necessária a utilização do GPS geodésico de precisão, fornecido pelo laboratório de Geofísica da UFMT.

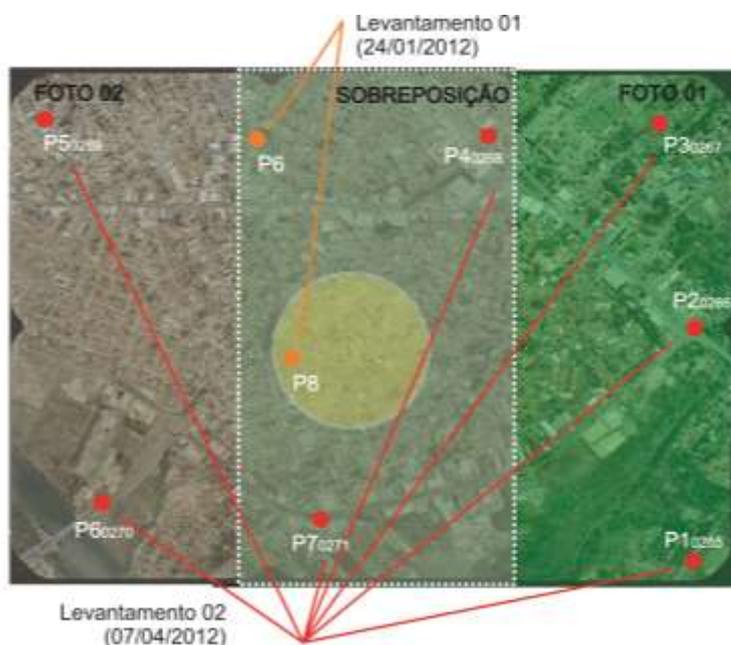
Os pontos de controle devem localizar-se de forma a abranger a maior região possível de cada fotografia, podendo ser comuns às duas imagens do par estereoscópico (Figura 40). Além disso, os locais de inserção dos pontos possuem as mesmas características de ocupação urbana observadas na data de obtenção das fotografias aéreas (16/12/2004), de forma a possibilitar a referenciarão do ponto de controle na imagem.

Os desenvolvedores da Estação E-foto recomendam que cada imagem tenha pelo menos cinco pontos de controle. Esta recomendação se fundamenta no fato de que quantidades maiores de pontos dificultam o processamento da orientação exterior e quantidades menores podem gerar resultados incoerentes com a realidade.

No estudo definiram-se primeiramente alguns pontos de controle, que foram medidos de forma preliminar, para verificação do método e da precisão do equipamento. Este levantamento, realizado no dia 24/01/2012, apresentou precisão de centímetros, de acordo com o Relatório de Processamento das Linhas de Base, realizado pelo engenheiro florestal André Dias, que conduziu todo o levantamento. No entanto, devido o equivocado posicionamento de alguns pontos de controle, somente os pontos P6 e P8, obtidos nesta primeira medição, foram utilizados na orientação exterior das fotografias.

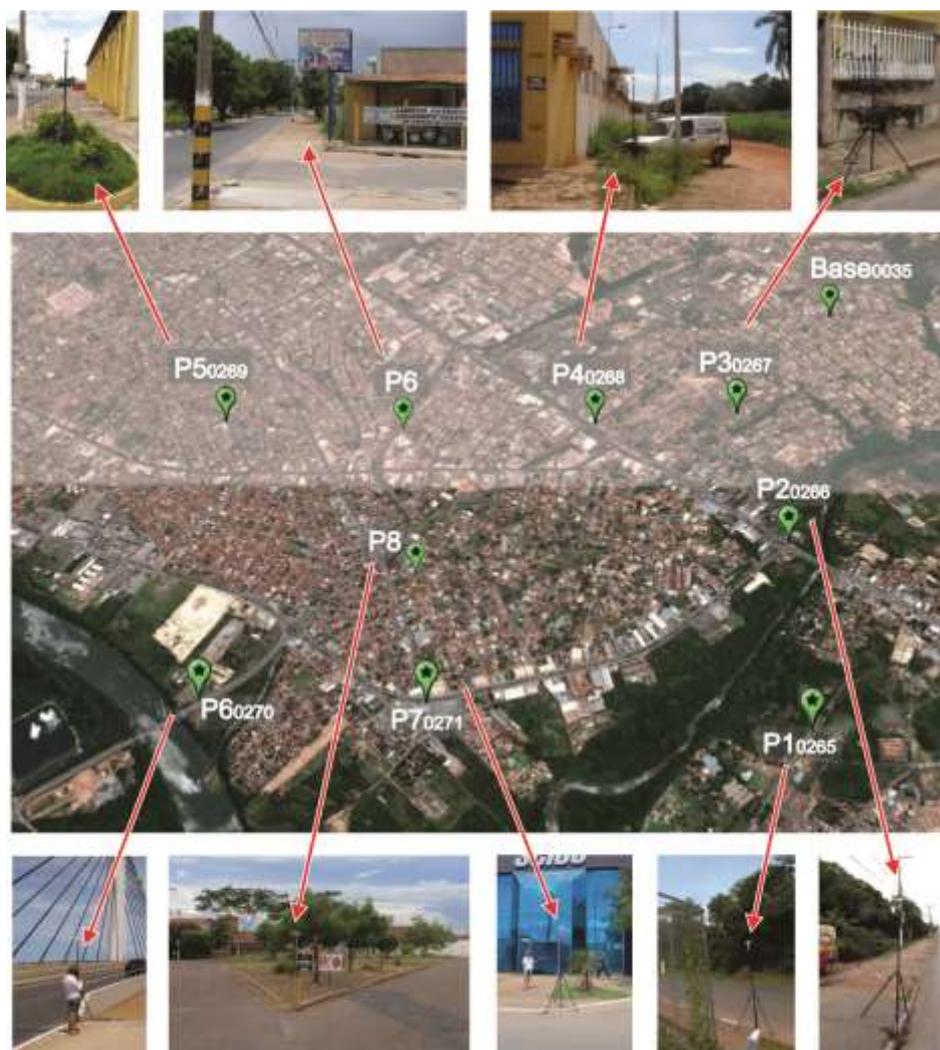
A partir dos resultados do primeiro levantamento, definiram-se novos pontos de controle, que foram medidos no dia 07/04/2012. Este segundo levantamento, também

conduzido e validado pelo engenheiro florestal André Dias, permitiu a obtenção de mais sete pontos de controle, posicionados conforme ilustrado na Figura 40, apresentada a seguir.



**Figura 40** - Posicionamento dos pontos de controle localizados nas duas fotografias

Deve-se observar ainda, nos locais escolhidos para o posicionamento dos pontos de controle, referências físicas, identificáveis nas fotografias aéreas, que auxiliem a sua localização no momento da orientação exterior, através do *software* E-foto (Figura 41). Para isso foram feitos registros fotográficos de cada ponto de controle e anotações com precisa descrição do posicionamento do ponto.



**Figura 41** - Registros fotográficos do posicionamento dos pontos de controle

Considerando as recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos com GPS (IBGE, 2007), quanto às técnicas de posicionamento do equipamento para levantamentos, verifica-se que, para minimizar as fontes de erro, devem-se utilizar simultaneamente dois receptores, sendo um deles posicionado no ponto de medição das informações desejadas e outro em local fixo, servindo de referência. Esta técnica de posicionamento relativo a uma estação de referência permite que, caso os erros sejam adequadamente modelados, as coordenadas sejam determinadas com precisão de poucos milímetros, sendo esta a principal técnica de posicionamento utilizada em aplicações geodésicas.

Desta forma foi determinada, antes do início do levantamento dos pontos de controle, a posição da estação de referência (Base 0035), que se localizou no quintal de uma residência no bairro Boa Esperança, próximo à área de estudo (Figura 41).

Para adequação dos dados obtidos pelo GPS aos padrões exigidos pelo *software* E-foto, foi necessário que a estação de referência fizesse parte do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), que é operada e mantida pelo IBGE, é uma rede geodésica ativa que opera para este fim. Ao final de cada levantamento, os dados da estação de referência foram encaminhados ao RBMC para serem georreferenciados, e posteriormente utilizados de referências aos pontos de controle.

Relatório de Processamento das Linhas de Base dos dois levantamentos, desenvolvido pelo engenheiro florestal André Dias, pode ser visualizado no Apêndice 3 desta tese.

Os resultados foram organizados no padrão exigido pelo *software* E-foto e posteriormente inseridos nele (Figura 42). No entanto, o módulo *Spatial Ressection*, que permite a operação da orientação exterior das fotografias, exige que cada ponto de controle seja posicionado manualmente na imagem, reforçando a importância da correta descrição física do ponto, que garantiu a máxima precisão neste procedimento (Figura 43).

Dados obtidos pelo  
GPS de precisão

COORDENADAS UTM						
Nome	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Latitude	Longitude	Altitude Esferoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)
Base035	8273441,595	600671,742	15°38'40,4435"S	58°03'29,1625"W	177,090	174,74
P1-0265	8271484,810	600635,095	15°37'57,2512"S	58°03'40,0832"W	156,457	153,89
P2-0266	8272180,838	600617,308	15°37'26,0607"S	58°03'40,1760"W	166,038	163,49
P3-0267	8273103,914	600478,060	15°37'12,5643"S	58°03'49,1200"W	185,117	182,58
P4-0268	8273095,181	599840,757	15°37'04,5628"S	58°04'07,0267"W	188,117	186,57
P5-0269	8273110,518	598186,357	15°37'04,5628"S	58°04'02,2448"W	165,252	162,70
P6-0270	8271826,887	598429,372	15°37'01,8447"S	58°04'56,2119"W	156,200	153,65
P7-0271	8271812,276	598258,308	15°37'01,3008"S	58°04'29,4720"W	155,487	152,94
P8	8273070,004	598984,318	15°37'09,0882"S	58°04'35,7833"W	157,517	154,97
P9	8272213,535	599135,626	15°37'31,751125	58°04'31,579089	165,934	163,38

Inserção dos dados  
no Software E-foto

Figura 42 - Inserção dos dados dos pontos de medição no *software* E-foto

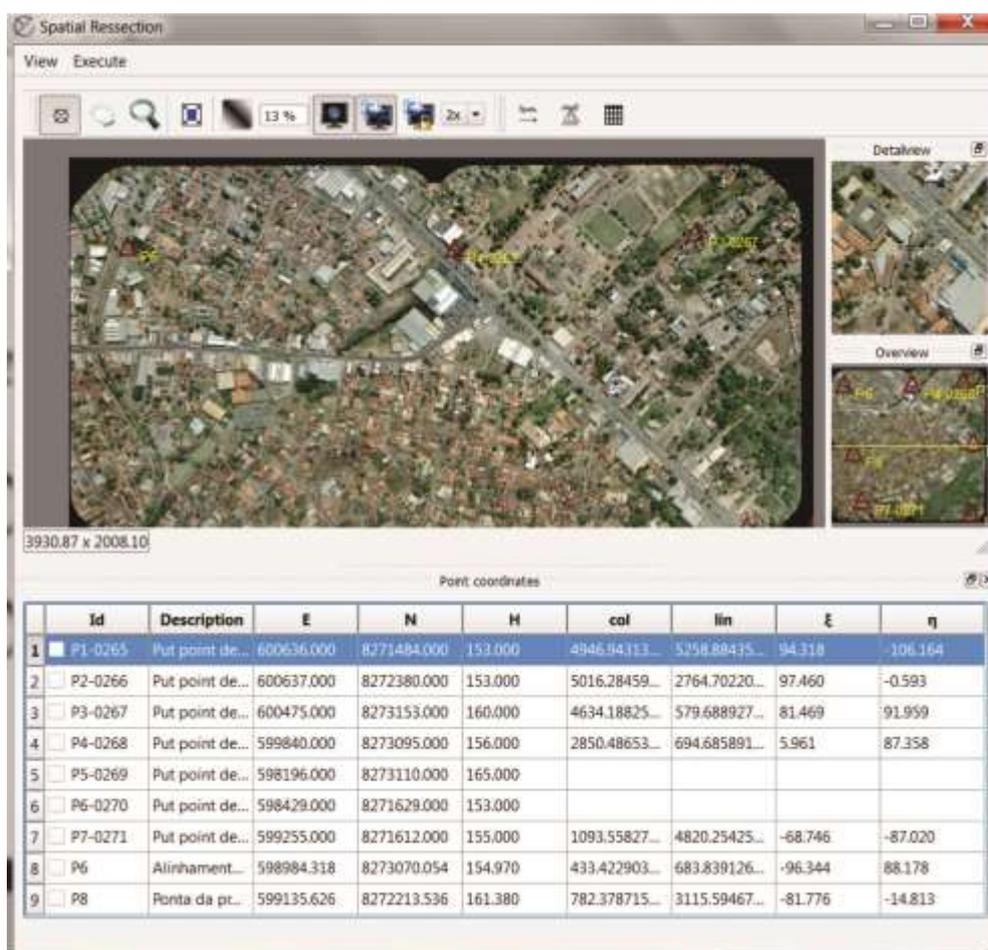
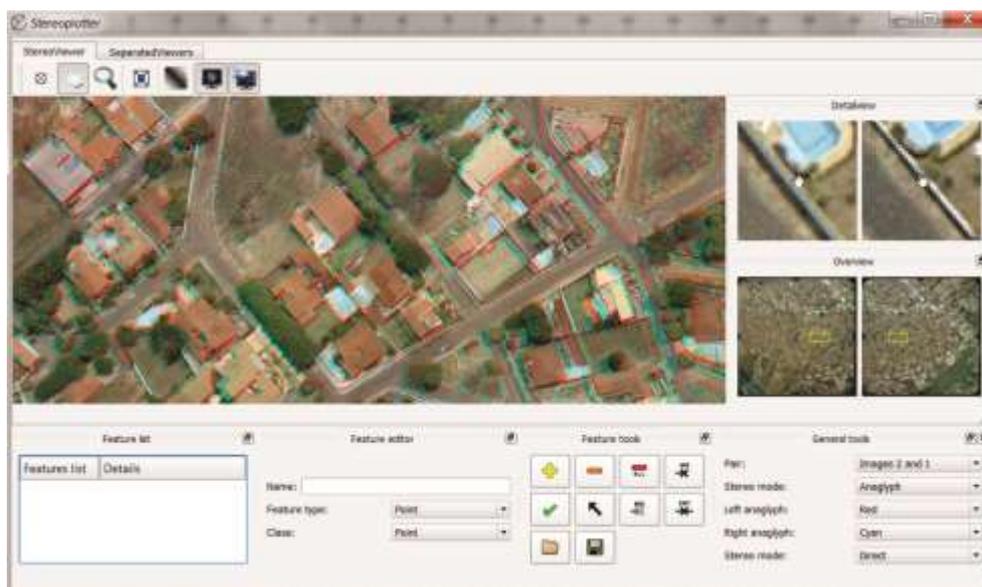


Figura 43 - Módulo *Spatial Resection* operado na Foto 01 do par estereoscópico do estudo

A orientação exterior encerra as etapas de preparação das fotografias, estando neste momento aptas para início dos procedimentos de extração dos dados espaciais da área de estudo.

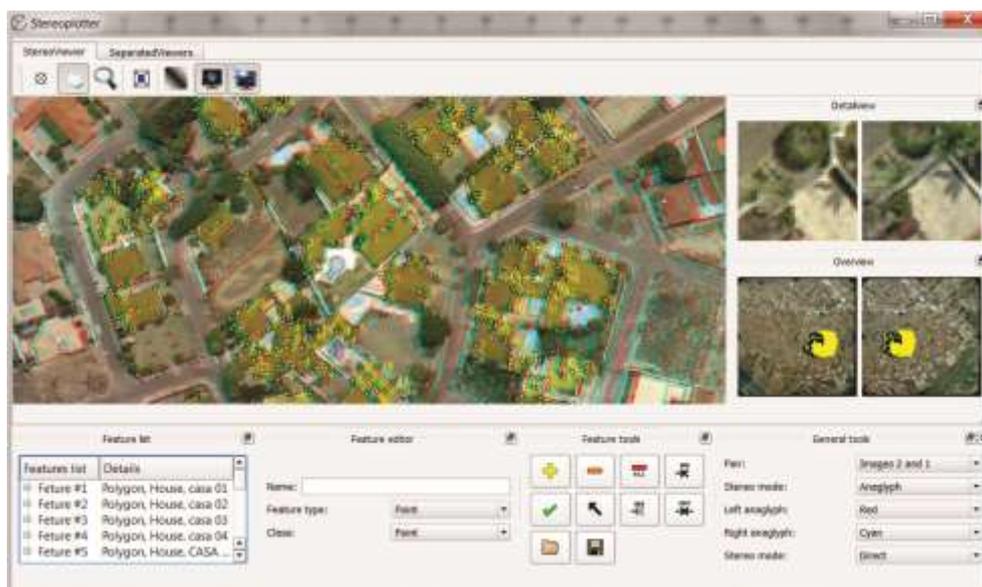
### 3.3.2.1.3. Extração Manual de Feições e Geração do MDS

Na extração manual do MDS e do MDT, o operador humano é o responsável por identificar os objetos presentes em uma cena no par estereoscópico, tendo como premissa três tipos de elementos geométricos, sendo eles os pontos, linhas e polígonos (SILVEIRA, 2011). O *software* E-foto, utilizado para este procedimento, possui um módulo (*Stereoplotter*) que permite a extração das feições presentes nas fotografias (Figura 44).



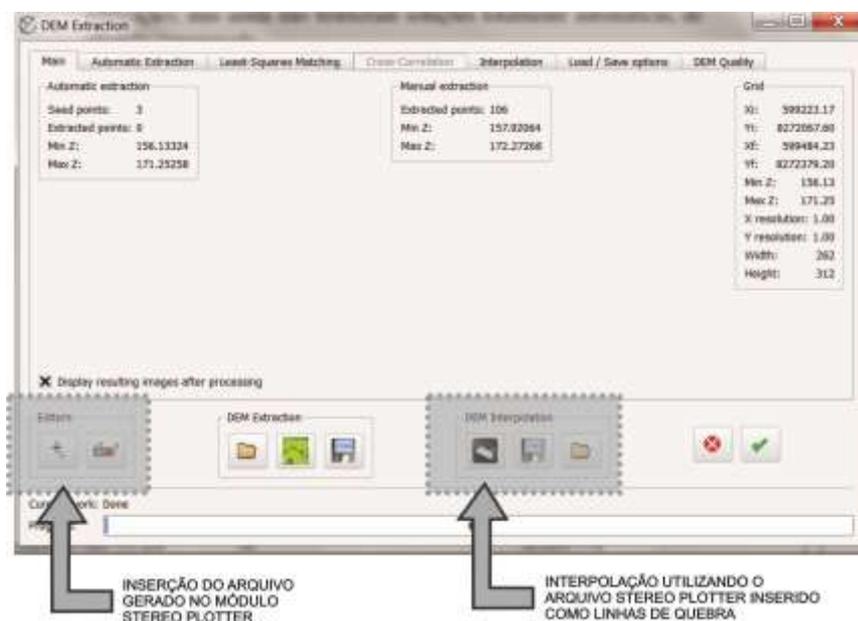
**Figura 44** - Módulo *Stereoplotter* do software E-foto

No estudo, as linhas foram utilizadas para o levantamento de ruas, com base no contorno da própria via, e serviram de base para a modelagem do terreno (MDT), onde as edificações são ignoradas. Os polígonos foram utilizados na delimitação dos contornos das edificações, conforme ilustrado na Figura 45, sendo os contornos resultantes utilizados como linhas de quebra (*break-lines*) na geração do Modelo Digital da Superfície (MDS).



**Figura 45** - Módulo *Stereoplotter* com definição dos contornos dos edifícios

Definidas as feições dos edifícios e ruas, o módulo *DEM Extraction*, da estação E-foto, desenvolve a interpolação dos pontos, tendo como dados de entrada as feições pré definidas (Figura 46).



**Figura 46** - Módulo *DEM Extraction* do software E-foto

#### 3.3.2.1.4. Validação do levantamento aerofotogramétrico

Para a verificação da validade do levantamento aerofotogramétrico executado pela estação E-foto foram realizadas observações in loco da área de estudo. Devido à impossibilidade de se adentrar nos terrenos para a obtenção da altura exata das edificações foram atribuídas a cada uma delas uma identificação quanto à quantidade de pavimentos.

Adotou-se para as edificações de um pavimento a altura média do telhado de 4,5m e para as edificações de dois pavimentos a altura média de 7,5m. Esta definição teve como parâmetros a largura média dos lotes de 15m, a inclinação do telhado cerâmico de 35%, e o pé direito médio das edificações de 3m.

#### 3.3.2.2. Caracterização das superfícies urbanas

Para a correta compatibilização do modelo microclimático com a área de estudo, foi necessária a classificação de todas as superfícies, verticais e horizontais, quanto as suas propriedades radiativas de reflexão (albedo).

Esta classificação inicial foi realizada a partir de observações nas fotografias aéreas e na própria área de estudo, com registros fotográficos e observações quanto às cores, opacidade, rugosidade e tipologia dos materiais utilizados.

A partir desta identificação, as propriedades de albedo efetivo dos cânions e albedo das coberturas, exigidos pelo modelo ENVI-Met, foram obtidos através de pesquisa bibliográfica e experimentação.

Sailor e Fan (2002) estudam o equilíbrio radiativo de onda curta de áreas urbanas e sugerem um quadro preliminar para melhorar a maneira que a troca de radiação de onda curta urbana é calculada em modelos de mesoescala.

Como tipicamente empregue em modelagens, a definição de albedo é independente do ângulo zenital. Para uma dada célula da grelha o albedo é um valor constante, definido unicamente pela categoria do uso da terra da célula.

A hipótese de uma geometria urbana plana apresenta dois erros expressivos no balanço de energia resultante. O primeiro destes erros se relaciona ao fato de algumas superfícies urbanas serem parcialmente sombreadas por estruturas (obstáculos). As características deste sombreamento dependem da geometria urbana, do ângulo de energia solar, e das contribuições relativas do feixe de radiação direta e da radiação difusa. A importância relativa das superfícies ao nível do solo aumenta à medida que o sol se aproxima do zênite. Com o sol perto do horizonte, no entanto, as paredes do edifício são mais importante, seguido pelas superfícies do telhado. O segundo erro introduzido por negligenciar a geometria urbana é que a radiação de onda curta refletida por uma superfície urbana pode ser parcialmente interceptada e absorvida pelas outras superfícies urbanas.

A caracterização do albedo das superfícies, associada com os vários materiais, foi feita através de uma agregação de categorias e dos dados apresentados por Arnfield (1982) e Sailor (1995).

Para a caracterização do albedo das superfícies das telhas encontradas no local de estudo foi realizado um experimento. Foram obtidas amostras destas telhas cerâmicas, retiradas do próprio local, e levadas até o Campus da UFMT. Realizou-se um experimento em parceria com o Laboratório de Conforto do Curso de Arquitetura e urbanismo da UFMT, sob coordenação do professor Ivan Julio Apolonio Callejas. Utilizaram-se dois piranômetros da marca OnsetComp, modelo S-LIB (Figura 47), para a avaliação da radiação solar global incidente e refletida pelas telhas (faixa de leitura – 0 - 1280 W m<sup>2</sup>; precisão de  $\pm 10$  W m<sup>2</sup> ou 5%; resolução de 1,25W m<sup>2</sup>) e um Medidor de

Energia Solar (Figura 47), modelo MES-100, da Instrutherm (resolução de  $1\text{W}/\text{m}^2$  e precisão de  $\pm 10\text{W}/\text{m}^2$  ou 5%).



**Figura 47** - Sensores utilizados no experimento sobre as telhas

Os piranômetros foram instalados em uma torre, próximos a amostra das telhas (Figura 47), estando um voltado para cima e outro para baixo, ligados a um data logger da marca OnsetComp (HOBO modelo U30-NRC). Os dados eram armazenados a cada 5 minutos, no intervalo de tempo proposto por Newton et al. (2007), entre 10:00 e 14:00, no qual observam-se ângulos solares menores que  $35^\circ$ . O medidor de energia solar foi utilizado de forma manual em três horários específicos do dia: 8h, 14h e 17h, para verificar a compatibilidade com os dados registrados nos piranômetros. O experimento foi desenvolvido entre os dias 05 e 08 de setembro de 2013, sendo definido o dia 06 como dia típico, caracterizado por céu limpo e poucos ventos.

Sendo o albedo a proporção entre a luz do sol recebida e refletida por uma superfície (ROMERO, 2000), este foi obtido pela relação entre os valores de radiação medidos pelos dois piranômetros, conforme descrito na equação:

$$\rho\lambda = \frac{\phi_i}{\phi_\rho} \quad \text{Equação 3}$$

em que  $\rho\lambda$  representa o albedo da superfície,  $\phi_i$  o fluxo radiante incidente e  $\phi_\rho$  o fluxo radiante refletido pela superfície.

### 3.3.2.3. *Caracterização das espécies arbóreas*

O modelo ENVI-Met trabalha com a interação entre solo, superfície e atmosfera e simula os processos fisiológicos da vegetação presente nesta superfície até 2m abaixo dela. A caracterização dos indivíduos vegetais no modelo é feita através de 10 medidas de Densidade de Área Foliar (DAF) (Leaf Area Density - LAD), medidos do solo até o topo da copa e 10 medidas de Densidade de Área Radicular (DAR) (Radix Area Density - RAD), medidos da superfície até 2m de profundidade. Além disso, ainda deve-se informar ao modelo a tipologia das plantas, caracterizadas pelo método de fixação de CO<sub>2</sub> e pela perda ou não de folhas, a resistência dos estômatos, o albedo das folhas, a altura e a profundidade das raízes. A base de dados do modelo possui uma série de vegetais, já caracterizados conforme estas especificações.

Considerando a impossibilidade de obtenção de muitas destas especificações para as espécies vegetais brasileiras, o levantamento se baseou na identificação e catalogação das espécies existentes na área de estudo, sua altura, largura da copa e densidade foliar. A partir destas informações foram atribuídas semelhanças aos padrões vegetais existentes na base de dados do modelo, possibilitando maior aproximação à realidade da área de estudo.

Considerando que as fotografias aéreas obtidas pela empresa EngeFoto, utilizadas no levantamento dos edifícios, referem-se ao ano de 2005 e que os indivíduos arbóreos identificados pelas fotos apresentam, a partir desta data, um desenvolvimento de 8 anos, a aerofotogrametria forneceria informações ultrapassadas quanto a altura das árvores e ainda quanto a própria existência destes indivíduos na área de estudo. A metodologia para a identificação das espécies e das alturas da vegetação presente na área de estudo baseou-se em observações realizadas *in loco* com o auxílio do técnico responsável pelo laboratório de Ecologia do curso de Graduação em Botânica e Ecologia da UFMT, Sr Helio Ferreira.

O levantamento buscou catalogar todas as espécies identificando em um mapa sua exata posição. Foram feitos registros fotográficos e coleta de folhas de cada indivíduo de forma a possibilitar a leitura de suas características de tronco e folhas mesmo fora da área de estudo (Figura 48).



**Figura 48** - Fotos obtidas durante a catalogação das árvores na área de estudo

Foram catalogadas 73 espécies diferentes de indivíduos arbóreos, totalizando uma população de 1089 árvores, distribuídas em praças, calçadas e no interior dos terrenos.

### **3.4. MODELAGEM CLIMÁTICA – ENVI-MET**

Antes de iniciar a configuração e o desenvolvimento do modelo no ENVI-Met foi necessário compreender as limitações e especificidades do modelo de forma a minimizar o tempo de processamento e os possíveis erros, garantindo maior precisão dos resultados.

#### **3.4.1. Parâmetros de Configuração e edição do Software**

##### **3.4.1.1. Arquivo de Configuração (Configuration File)**

O arquivo de configuração do ENVI-Met é um arquivo de texto com extensão “.cf”, reconhecida pelo *software* como “*configuration file*” (arquivo de configuração). Possui uma estrutura pré definida (*Default*) com seções específicas para descrever todos parâmetros necessários ao correto funcionamento do *software*.

As seções devem, em sua maioria, ser editadas pelo usuário de forma a adequá-las a área específica de estudo, uma vez que orientam todas as variáveis que alimentam os modelos existentes no *software*. No Anexo 1 desta tese são descritos os parâmetros para configuração de cada uma das seções.

Na seção de dados principais (*Main-Data*), primeira seção do arquivo de configuração, são introduzidas informações como o nome do projeto, a localização do arquivo de edição da área estudada, a data e hora de início da simulação, o total de horas a serem simuladas e o intervalo de tempo para armazenamento dos dados gerados na simulação. Além disso, nesta mesma seção são introduzidos dados climáticos da área de estudo como a velocidade e direção do vento, a rugosidade no ponto da estação de referência, a temperatura inicial da atmosfera, a umidade específica e relativa do ar, além da localização do arquivo de configuração da vegetação.

A segunda seção trata sobre a posição da área de estudo, na qual são introduzidos dados de longitude e latitude, a terceira seção permite a configuração do solo, com a inserção de dados de temperatura e umidade em três diferentes profundidades. As quatro seções seguintes envolvem parâmetros de temporização e intervalos dinâmicos (normalmente mantidos na configuração *default*), opções de modelos de turbulência e coordenadas dos receptores, esta última também podendo ser inserida no arquivo de edição.

Na sequência, o arquivo de configuração apresenta uma seção sobre as propriedades dos edifícios no cenário em estudo, nela são introduzidos dados de temperatura do ar no interior da edificação, a transmissão de calor pelas paredes e coberturas e o albedo das paredes e coberturas.

As seções seguintes envolvem definições da área de borda (*nesting grids*), definições para o cálculo do VME (Voto Médio Estimado), definições para o modelo de vegetação, para a região de fronteira (o que existe fora da delimitação do cenário em estudo), definição dos tipos de gases e partículas emitidos, condições de nebulosidade e ajustes de radiação de onda curta.

#### **3.4.1.2. Arquivo de Edição**

O arquivo de edição é elaborado na própria interface do ENVI-Met, no módulo Eddi. Apesar de tridimensional, o módulo Eddi é apresentado em uma interface bidimensional, caracterizada por uma malha regular na qual cada módulo é denominado *Grid* (grade).

O *Grid* é a unidade de edição do modelo, para o qual são atribuídas dimensões, horizontais e verticais, na configuração inicial da malha, além de informações que devem ser atribuídas manualmente durante o processo de edição, tanto na camada de

superfícies (naturais ou pavimentadas) quanto na camada de vegetações (árvores ou gramas) e ainda na camada de edificações (posição, dimensão e altura).

O ENVI-Met possui uma biblioteca de revestimentos de solo e de vegetação pré definidos, com definição de suas características até 2 m abaixo da superfície, que podem ser editados pelo usuário.

Na biblioteca de superfícies é possível informar dados como a permeabilidade, o conteúdo volumétrico de água na saturação, na capacidade de campo e no ponto de murcha, a matriz potencial na saturação, a condutividade hidráulica na saturação, a capacidade térmica volumétrica, a constante de Clapp e Hornberger e a condutividade térmica do material. Esta biblioteca é ainda complementada por uma configuração dos perfis verticais do solo, de 5mm acima do chão a 1,75 m de profundidade, no qual são especificados o comprimento de rugosidade da superfície, o albedo para radiação de onda curta e a emissividade de onda longa da superfície.

Na biblioteca de vegetação é possível informar dados como o tipo de fixação do CO<sub>2</sub>, o tipo de planta (decídua, conífera e grama), a resistência mínima do estômato da planta (modelo de Deardorff), o albedo da folha para radiação de onda curta, a altura da planta (m), a profundidade total da zona de raízes, a densidade de área foliar (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) no perfil vertical de 10 pontos na planta e a densidade de área radicular (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) no perfil vertical de 10 pontos na planta.

### 3.4.2. Materiais

O processamento do *software* ENVI-Met exige uma máquina com sistema operacional Windows XP ou superior, com no mínimo 2 GByte de RAM e 2 GHz de CPU. Além disso, o processamento não pode ser interrompido por nenhum tipo de interferência, seja por mau funcionamento do *hardware* ou pela interrupção no fornecimento de energia.

Foi utilizado um Servidor Rack IBM System, modelo X3650 M4, com dois processadores modelo Intel Xeon E5-2630, Hexa Core, quatro discos rígidos SAS de 300GB, com configuração em RAID 0, e memória RAM de 32GB (Figura 49), fornecido pelo programa de Pós Graduação em Física Ambiental, no qual foram instaladas máquinas virtuais que processavam os cenários simultaneamente. O servidor era conectado a um NoBreak SMS 2,2Kva, da marca Power Vision, ligado a duas baterias automotivas (Figura 50), que garantia a estabilidade no processamento, mesmo com a interrupção no fornecimento de energia.



**Figura 49** - Servidor utilizado para o processamento dos cenários



**Figura 50** - NoBreak ligado às baterias automotivas

As máquinas virtuais foram geradas no *software* Oracle VM Virtual Box, nas quais foi instalado o sistema operacional Windows XP, conforme recomendado pelos fabricantes do *Software* ENVI-Met. Considerando as exigências para o processamento do *Software*, as máquinas foram configuradas com 2GB de memória Ram e 32Gb de disco rígido. É importante resaltar que cada máquina virtual ocupa um processador, sendo necessário que a máquina possua mais núcleos de processamento que o número de máquinas virtuais criadas.

Ao total foram criadas quatro máquinas virtuais e o *Software* foi processado somente nestas máquinas, deixando a máquina hospedeira livre para gerenciar o processamento das quatro máquinas virtuais.

### 3.4.3. Métodos

Considerando a medição de dados na Sub-camada Rugosa (SR), realizada através da estação micrometeorológica automática fixa localizada no bloco do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental (Figura 51), da UFMT, foi necessário o desenvolvimento de um cenário específico no ENVI-Met que representasse o entorno desta estação. Este cenário foi criado com o único objetivo de gerar dados no *Software* ENVI-Met que pudessem ser validados pelos dados medidos na estação micrometeorológica.

Tal procedimento tornou possível a verificação da adequação do modelo às características urbanas e climáticas da região acima dos telhados (camada de maior acuidade do modelo). Depois de validado, o modelo pôde ser reproduzido com confiabilidade na zona urbana de estudo, caracterizada pelo bairro Jardim Califórnia.



**Figura 51** - Localização da estação fixa acima da cobertura do bloco de Pós Graduação em Física Ambiental

A estação estava posicionada sobre a cobertura do bloco, a uma altura aproximada de 7m. Sua localização pode ser observada na Figura 51.

A metodologia adotada iniciou-se com a definição da escala de trabalho, baseada no tamanho da área de estudo, nas limitações de tamanho dos *grids* e no tempo de processamento do ENVI-Met.

A dimensão dos *grids* foi definida tendo como parâmetro a recomendação do fabricante do modelo para simulações em espaços urbanos, com tamanho máximo de 2m, de forma a permitir a caracterização dos elementos presentes na superfície da cidade

(calçadas, canteiros, árvores). Assim as escalas de trabalho para os dois modelos ficaram definidas da seguinte forma:

- a) Modelo Física Ambiental – pela necessidade de processar com maior rapidez, dando dinamismo para reconfigurações, optou-se pelo cenário com menor número de grades (100x100x30 *grids*), com tamanho do *grid* igual a 1,5 m.
- b) Modelo Jardim Califórnia – pela necessidade de eliminar possíveis efeitos de borda (provocados pelo impacto de entrada das variáveis no modelo) e permitir a observação dos efeitos do telhado vegetado em maior escala optou-se pelo cenário com um número mais elevado de *grids*. No entanto se a quantidade de *grids* fosse muito grande poderia comprometer o tempo de obtenção dos resultados e dificultar a dinâmica dos computadores que estivessem realizando o processo. Optou-se, desta forma, pelo cenário intermediário do ENVI-Met (180x180x30 *grids*), com tamanho do *grid* igual a 2,0 m.

#### **3.4.3.1. Modelo Física Ambiental**

Como descrito anteriormente este modelo foi desenvolvido de forma a representar a área de entorno do Bloco de Pós Graduação em Física Ambiental. A metodologia adotada para o levantamento, desenvolvimento e validação do modelo seguiu as seguintes etapas:

- a) Levantamento da área;
- b) Compatibilização da base de dados de vegetação;
- c) Edição do modelo;
- d) Configuração do arquivo de entrada;
- e) Simulação;

##### **3.4.3.1.1. Levantamento da área**

A metodologia adotada para o levantamento das características espaciais da área de estudo iniciou-se com a análise e interpretação de fotografias aéreas (Figura 52). Não foi realizado o método de levantamento aerofotogramétrico devido à simplicidade arquitetônica dos edifícios da região estudada, além da facilidade de acesso e

aproximação a todos eles. As fotografias orientaram a construção de um mapa com as delimitações de ruas, calçadas, jardins e edifícios, que serviu de base para a realização do levantamento in loco (Figura 53).



**Figura 52** - Fotografia aérea da região estudada no modelo Física Ambiental  
**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2009)



**Figura 53** - Fotos obtidas durante o levantamento in loco da área estudada

As observações realizadas no local permitiram a identificação da altura dos edifícios, das características da vegetação existente e dos revestimentos usados nos pavimentos.

#### 3.4.3.1.2. *Compatibilização da base de dados da Vegetação*

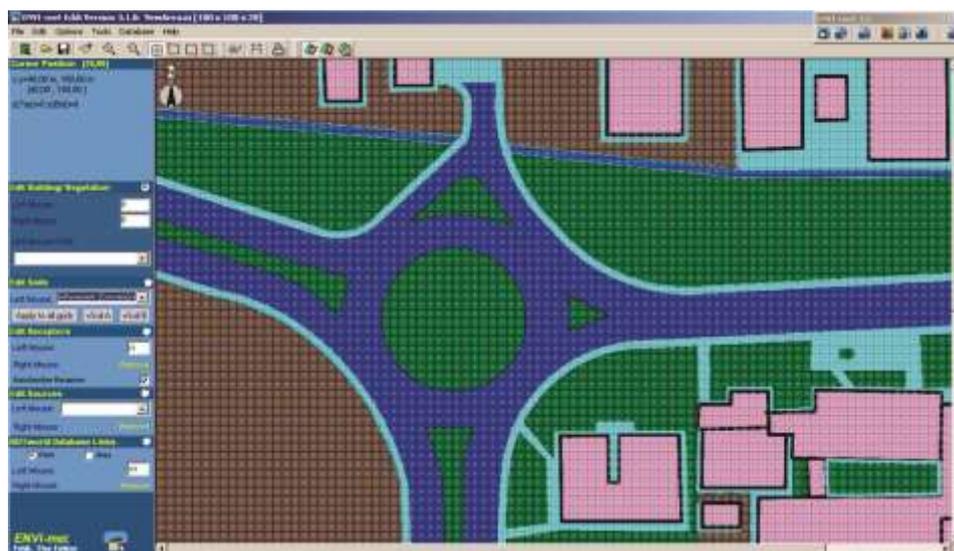
Após levantadas as características da vegetação localizada na área de estudo, foi necessário compatibilizar a base de dados de vegetação do modelo com as espécies identificadas. Definiram-se três categorias principais de vegetais, de acordo com a densidade de área foliar (DAF), denominadas plantas de baixa, média e alta densidade, possuindo, cada uma delas, subcategorias baseadas na altura das árvores encontradas no modelo. As alturas destas subcategorias foram definidas a partir da dimensão vertical da *grid* dos dois modelos, sendo elas 3, 4, 6, 8, 9,10 e 12m.

A DAF representa a estrutura vertical da vegetação em cada camada horizontal, sendo definida como a área unilateral total das folhas por unidade de volume ( $m^2/m^3$ ) (WEISS et al., 2004). O índice de área foliar (IAF), mais comumente utilizado no Brasil, é definido por Watson (1947) como sendo a razão entre a área foliar total unilateral do dossel e a unidade de superfície projetada no solo ( $m^2/m^2$ ), é calculado integrando os dados de DAF.

As novas árvores foram criadas a partir da edição do arquivo original de vegetação fornecido pelo modelo. Tendo como base as três categorias de densidade de área foliar, pré-definidas no arquivo, alterou-se somente a variável altura, criando-se sete tipologias diferentes para cada categoria de densidade. Ao final foram criadas vinte e uma novas tipologias de árvores na base de dados de vegetação do modelo e uma tipologia para as ramas.

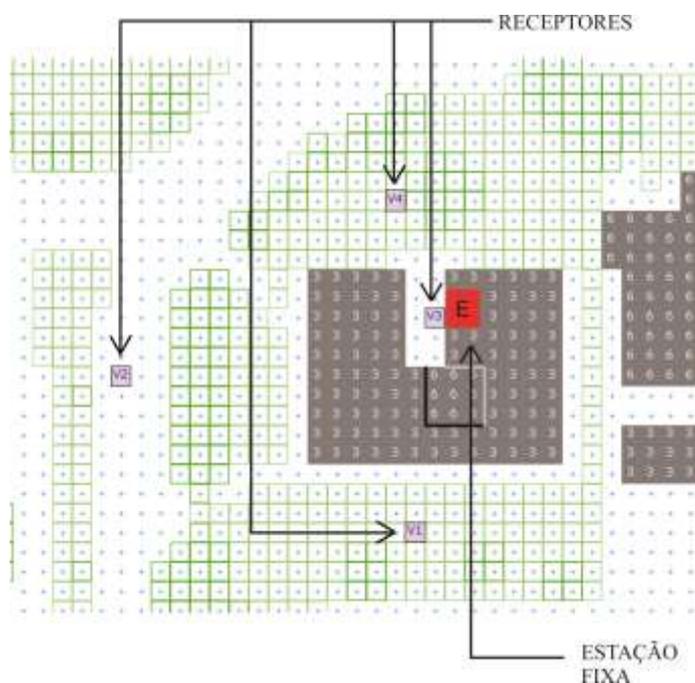
#### 3.4.3.1.3. *Edição do modelo*

Depois de definidos os mapas temáticos da área e de configurado o arquivo de vegetação deu-se início a construção do modelo no módulo de edição do ENVI-Met. Os mapas, salvos em extensão de imagem do tipo Bitmap, foram importados para o modelo (Figura 54) e utilizados para orientar a configuração da área quanto às definições de edifícios, vegetação e superfícies.



**Figura 54** - Área de edição do modelo no ENVI-Met com mapa de fundo (Física Ambiental)

Na área de edição do modelo, próximo ao bloco de Pós Graduação em Física Ambiental, foram posicionados receptores. Estes receptores representam torres onde são registrados perfis de todas as variáveis simuladas no modelo. Assim, é possível obter o valor pontual de cada variável para cada altura pré definida, que se estende da superfície até o topo da área simulada.



**Figura 55** - Receptores posicionados na proximidade da estação fixa

De forma a minimizar os efeitos da ventilação, não muito precisos para este modelo, foram definidos quatro receptores (Figura 55), todos localizados na proximidade

do local onde a estação fixa está instalada. Os valores médios dos quatro receptores foram usados para a validação do modelo.

#### *3.4.3.1.4. Configuração do arquivo de entrada*

A configuração do arquivo de entrada é um dos pontos mais importantes na construção do modelo. Nele são informados os dados climáticos de entrada além de todas as definições necessárias para o processamento do modelo. A definição dos parâmetros para a configuração deste arquivo teve como referência as recomendações apresentadas pela professora Dr<sup>a</sup> Eleonora Sad de Assis, coordenadora do projeto “Monitoramento e modelagem de balanço de energia na cidade de Belo Horizonte, MG”. Maiores detalhes sobre a construção do arquivo de entrada podem ser observados no Anexo 1 desta tese.

#### *3.4.3.1.5. Simulação*

Depois de configurado, o modelo está pronto para o processamento. No módulo START do ENVI-Met é definida a escala de simulação do modelo. Quanto maior esta escala maior o tempo de processamento, que pode se estender por semanas.

Considerando o objetivo, do modelo Física Ambiental, de permitir a verificação da confiabilidade dos dados de saída do modelo, esperou-se que o processamento fosse o mais rápido possível, dando dinamismo ao processo. Desta forma realizaram-se adequações na configuração de entrada até que o modelo gerasse resultados coerentes com a realidade climática da área de estudo.

O modelo Física Ambiental para as duas estações do ano levou em torno de 40 horas para processar 48 horas de dados, com registros arquivados a cada 1 hora. Estes resultados foram trabalhados em planilhas do Excel para cada ponto de Receptor, considerando a altura de 7 metros da estação microclimática utilizada para a validação.

#### *3.4.3.2. Modelo Jardim Califórnia*

O modelo desenvolvido no bairro Jardim Califórnia teve como objetivo dimensionar as interferências do telhado vegetado no microclima da zona urbana (quintais, calçadas e ruas). Para isto foram desenvolvidos quatro cenários, o primeiro caracterizando a configuração atual do bairro, o segundo com a inserção de vegetação em 100% dos telhados, o terceiro com 50% de telhado vegetado e o quarto com 10%.

Cada um destes cenários foi simulado para as duas estações do ano, quente-úmida e quente-seca, permitindo a verificação do impacto deste sistema de telhado nas duas realidades climáticas da cidade de Cuiabá.

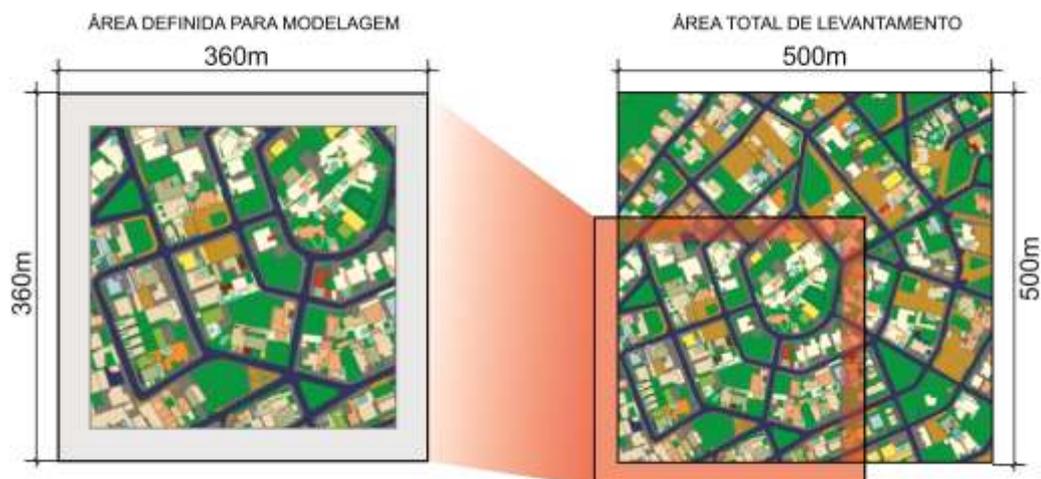
Considerando a característica arquitetônica das edificações na zona urbana de estudo, que se reproduz também para toda a cidade de Cuiabá, de edificações com telhado cerâmico tradicional, com inclinação em torno de 30%, optou-se por trabalhar no modelo com telhado vegetado do tipo extensivo, mais adequado para esta tipologia de edificações, conforme descrito no subitem sobre telhado vegetado na Revisão Bibliográfica desta Tese.

A metodologia adotada para o desenvolvimento do modelo seguiu as seguintes etapas:

- a) Edição do modelo;
- b) Definição da vegetação usada no telhado vegetado;
- c) Configuração do arquivo de entrada;
- d) Simulação;
- e) Definição dos cenários com telhado vegetado.

#### *3.4.3.2.1. Edição do modelo*

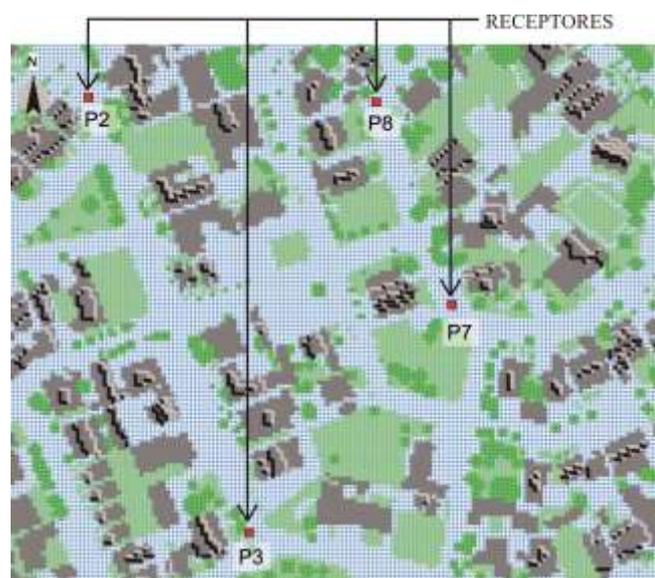
Depois de definidos os mapas temáticos do bairro Jardim Califórnia e de configurado o arquivo de vegetação (mesmo arquivo utilizado no modelo de calibração), deu-se início a construção do modelo no módulo de edição do ENVI-Met. Considerando a escala de processamento do modelo escolhida (180x180x30 *grids*), foi necessária a delimitação da área de modelagem dentro da área total levantada no bairro Jardim Califórnia. Tendo como parâmetro o tamanho individual de cada *grid*, de 2,0 m, a área modelada totalizou 129.600,00 m<sup>2</sup>, dentre os quais 39.600,00 m<sup>2</sup> são referentes os *nesting grids*, que configuraram a borda do modelo (Figura 56).



**Figura 56** -Definição da área de modelagem

Os mapas, arquivados em extensão de imagem do tipo Bitmap, foram importados para o modelo e utilizados para orientar a configuração da área quanto às definições de edifícios, vegetação e superfícies.

O posicionamento dos receptores baseou-se na localização dos pontos de medição das variáveis microclimáticas, obtidas durante o transecto móvel. Considerando a delimitação da área para adequação à escala do ENVI-Met, como descrito anteriormente, somente quatro pontos, dos nove levantados pelo transecto móvel, foram abrangidos pelo modelo (Figura 57).



**Figura 57** - Localização dos receptores no modelo Jardim Califórnia

Nestes quatro pontos foram definidas, de forma mais aprofundada, as características do entorno delimitado por um raio de influência a partir de cada um dos pontos de medição. Esta caracterização tem por objetivo sintetizar graficamente os atributos espaciais do entorno de cada ponto, auxiliando na interpretação dos resultados obtidos pelo modelo.

O raio ( $r$ ) da área circular da superfície que influencia os dados coletados pelo sensor é definido pela altura do sensor ( $Z_1$ ), e pelo Fator de Visão ( $F$ ) (SCHMID et al., 1991). Fator de visão é a proporção de contribuição da área de entorno no fluxo medido pelo sensor, e vai depender do campo de visão que o entorno disponibiliza para o sensor. Os valores frequentemente observados na literatura são 50, 90, 95, 99 ou 99,5%. A distância de influência de um sensor instalado a uma altura em torno de 1,50m não ultrapassa algumas dezenas de metros, em condições instáveis de atmosfera, enquanto que a 3,00m a distância de influência pode chegar a 500m (OKE, 2004b).

Partindo desta definição, considerando a altura do sensor, utilizado no levantamento das variáveis microclimáticas, de aproximadamente 1,30m, determinou-se um raio de 60m para delimitação da área de influência.

#### 3.4.3.2.2. *Definição da vegetação usada no telhado vegetado*

A vegetação utilizada no telhado vegetado, considerando o sistema extensivo deste tipo de cobertura, se caracterizou como do tipo gramínea. Para a definição da configuração a ser utilizada no modelo, foram realizados testes em uma parcela reduzida do cenário, de forma a obter respostas mais rápidas.

Como parâmetro seguiu-se o padrão apresentado por Peng e Jim (2013), para telhado vegetado extensivo, com 10cm de espessura e DAF média de  $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Além desta configuração, baseado nos resultados de DAF observados por Ong (2003) para gramíneas em espaços urbanizados, foram definidos padrões de DAF média de  $3 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (mínimo observado pelo autor) e DAF média de  $7 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (máximo observado pelo autor). Verificou-se também o tipo de planta mais adequado quanto a sua característica de assimilação de  $\text{CO}_2$ .

O teste foi realizado em um cenário reduzido da área de estudo do modelo Jardim Califórnia durante os dois períodos do ano, quente-seco e quente úmido. Foram gerados mapas de temperatura à 4m de altura, considerando a superfícies de influência mais direta do telhado vegetado, visto que a maioria das edificações eram térreas.

#### 3.4.3.2.3. *Configuração do arquivo de entrada*

A configuração do arquivo de entrada seguiu as especificações definidas no modelo de calibração. Maiores detalhes sobre a construção deste arquivo podem ser observados no Anexo 1 desta tese.

Destaque maior deve ser dado, neste modelo, aos parâmetros de entrada referentes ao solo, no período seco, considerando as necessidades hídricas da vegetação do tipo C4. Como o ENVI-Met interrompe seu processamento em caso de suprimento de água no solo inferior a 10% da capacidade de campo e considerando o elevado consumo de água característico da vegetação do tipo C4, foi necessário utilizar dados de temperatura e umidade do solo em situação de irrigação, no arquivo de entrada, para este período seco.

A umidade e temperatura limite do solo para garantir o processamento do modelo e a sobrevivência da vegetação, no período seco, foram definidas a partir de testes realizados no próprio ENVI-Met, utilizando o mesmo modelo desenvolvido para o teste da vegetação. Os resultados podem ser observados no arquivo de configuração para o período seco, no Anexo 1 desta tese.

#### 3.4.3.2.4. *Definição dos parâmetros para análise do Conforto do pedestre*

Os valores individuais de desconforto, calculados pelo índice de Porcentagem Prevista de Insatisfeitos (PPI) (*Predicted Percentage of Dissatisfied - PPD*), estabelece uma predição quantitativa da porcentagem de pessoas em desconforto, tanto para o calor como para o frio a partir do Voto Médio Estimado (VME) de Fanger (1970). A norma ISO 7730 (ISO, 2005) estabelece que em um ambiente termicamente confortável o PPI não deve ultrapassar 10%, valor que corresponde à faixa entre  $-0,5$  e  $+0,5$ .

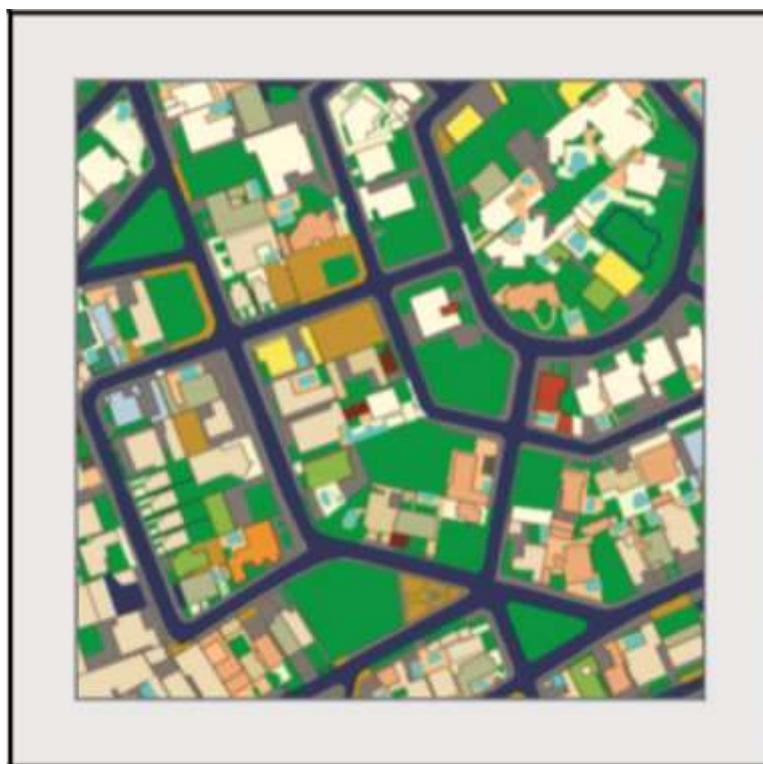
O Modelo ENVI-Met avalia este índice a partir dos parâmetros de entrada definidos no arquivo de configuração do modelo e das variáveis modeladas pelo *software* no cenário de estudo, de forma a incorporar o complexo de radiação externa ao cálculo, incluindo na análise os efeitos da radiação direta, difusa e refletida pelos pavimentos e edificações.

Para o cálculo da sensação térmica do homem padrão, as seguintes características foram consideradas: idade 30 anos, altura 1,75 m e peso 70 kg. O valor de isolamento térmico das roupas considerado foi de 0,5clo, a taxa metabólica utilizada foi de 150 W/m<sup>2</sup>, correspondente a caminhada em superfície plana a 0,5m/s (ISO, 2005).

Os resultados apresentados pelo modelo ainda devem ser validados para climas tropicais, uma vez que o modelo utiliza parâmetros de conforto definidos para climas temperados e subtropicais. Desta forma os resultados devem ser analisados com cuidado, com o único objetivo de dimensionar os efeitos da incorporação do telhado vegetado nos parâmetros de conforto do pedestre.

#### 3.4.3.2.5. Simulação

Como descrito anteriormente, os modelos do bairro Jardim Califórnia foram trabalhados com uma escala de 180x180x30 *grids*, dentre os quais 150 correspondem à área de estudo modelada e 30 *grids* foram caracterizados como contorno, denominados *Nesting Grids*, permitindo a minimização dos efeitos de borda (Figura 58). Cada cenário levou em torno de sete dias para processar 48 horas de dados, com registros arquivados a cada 1 hora. Estes resultados foram trabalhados em planilhas do Excel, para cada ponto de Receptor, e em mapas temáticos configurados no *software* Leonardo 3.75, fornecido pelo próprio fabricante do ENVI-Met.



**Figura 58** - Área total modelada (*área urbanizada + nesting grids*)

O *Software* Leonardo 3.75 é uma ferramenta de visualização e análise interativa para o *software* ENVI-met, no qual é possível desenvolver desde gráficos de linhas simples a complexas animações em 3D.

#### 3.4.3.2.6. Definição dos cenários com telhado vegetado

O modelo representativo da zona urbana escolhida para o desenvolvimento do estudo, como descrito anteriormente, foi caracterizado pela criação de três cenários com diferentes proporções de ocupação dos telhados pela vegetação:

- a) incorporação do telhado vegetado extensivo em 10% dos telhados;
- b) incorporação do telhado vegetado extensivo em 50% dos telhados;
- c) incorporação do telhado vegetado extensivo em 100% dos telhados.

As porcentagens foram definidas a partir da área total de telhados presente no cenário. A definição das casas que receberam a vegetação se fez de forma a abranger a maior região possível do cenário (Figura 59 e Figura 60), evitando os efeitos da concentração da vegetação em uma porção específica da área de estudo.



**Figura 59** - Localização das edificações com telhado vegetado (cenário com 10% de telhado vegetado)



**Figura 60** - Localização das edificações com telhado vegetado (cenário com 50% de telhado vegetado)

### 3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis utilizadas para a validação do modelo foram a temperatura e a umidade do ar. Estas variáveis foram definidas a partir das recomendações do fabricante, uma vez que as demais variáveis não são tão precisas nos dados de saída do modelo. Além disso, considerando o objetivo do trabalho, de verificar a influência do telhado vegetado no microclima urbano, as variáveis de temperatura e umidade do ar fornecem parâmetros mais expressivos no dimensionamento destas interferências.

A metodologia utilizada para avaliar a distância entre os valores das séries temporais medidas e os valores das séries temporais previstas pelo modelo ENVI-Met foi a medida dos erros de predição (SAVI, 2006). Para este trabalho foram adotadas quatro medidas para quantificar o erro na predição, sendo elas: o Coeficiente de Correlação  $r$ , a Raiz Quadrada do Erro Médio  $RMSE$ , o Erro Médio Absoluto  $MAE$  e o Desvio das Médias  $MBE$ . Essas medidas de erro de predição são descritas a seguir.

#### 3.5.1. Coeficiente de Correlação - $r$

A precisão de uma predição é dada pelo Coeficiente de Correlação ( $r$ ). Este índice estatístico indica o grau de associação entre duas variáveis, no caso deste trabalho, entre a série temporal medida (M) e série temporal predita (P) pelo modelo ENVI-Met,

com um número total de  $N$  observações. O Coeficiente de Correlação  $r$  é dado pela equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (M - \bar{M})(P - \bar{P})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (M - \bar{M})^2][\sum_{i=1}^N (P - \bar{P})^2]}} \quad \text{Equação 4}$$

De modo que, o grau máximo de associação,  $r = 1$ , significa uma correlação perfeita positiva entre as duas séries temporais,  $r = -1$ , significa uma correlação negativa perfeita entre as duas séries, isto é, se uma aumenta a outra diminui, e  $r = 0$  que as séries não possuem associação uma com a outra.

### 3.5.2. Raiz Quadrada do Erro Médio - RMSE

A Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE) é uma das mais comuns medições de erro definida como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{n=N+1}^{N+p} (M_n - P_n)^2} \quad \text{Equação 5}$$

O valor do desvio RMSE está relacionado com a dispersão entre os valores estimados e observados na estação fixa, decorrentes de erros não sistemáticos.

### 3.5.3. Erro Médio Absoluto - MAE

O Erro Médio Absoluto (MAE) é a quantidade usada para medir o quão próximos estão os dados previstos dos dados medidos. O MAE é dado pela equação:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P - M| \quad \text{Equação 6}$$

### 3.5.4. Desvio das médias - MBE

O desvio das médias (MBE) (Mean Bias Error) é um indicativo que fornece informação no desempenho de um modelo a longo prazo. O MBE é dado pela equação:

$$MBE = \frac{\sum_i (P_i - M_i)}{N} \quad \text{Equação 7}$$

Um valor positivo indica uma superestimação, pelo modelo, e para um valor negativo ocorre o inverso. Quanto menor seu valor absoluto, melhor é sua performance.

Maiores aprofundamentos sobre as técnicas apresentadas neste trabalho podem ser encontrados em Kantz e Shreiber (2004). Os testes estatísticos foram desenvolvidos no *software* IRENE (Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates), desenvolvido com suporte fornecido pelo Ministério italiano das Políticas Agrícolas e Florestais, projeto SIPEAA, projetado para fornecer acesso fácil a métodos estatísticos utilizados para a avaliação de modelos (FILA et al., 2003). O pacote de instalação pode ser baixado em: <http://www.isci.it/tools>.

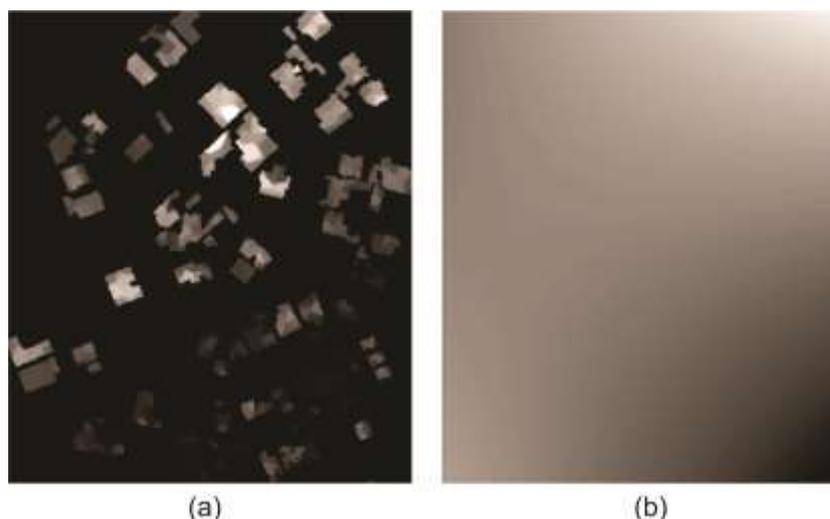
## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste item serão apresentados os resultados preliminares, obtidos durante os procedimentos metodológicos, necessários para a elaboração e configuração do modelo no *software* ENVI-Met. Além disso também são apresentados os resultados do procedimento de validação dos modelos em micro e mesoescala e os efeitos provocados no microclima urbano pela incorporação do telhado vegetado em 10%, 50% e 100% das edificações na área de estudo.

### **4.1. RESULTADOS PRELIMINARES PARA CONFIGURAÇÃO DO SOFTWARE ENVI-MET**

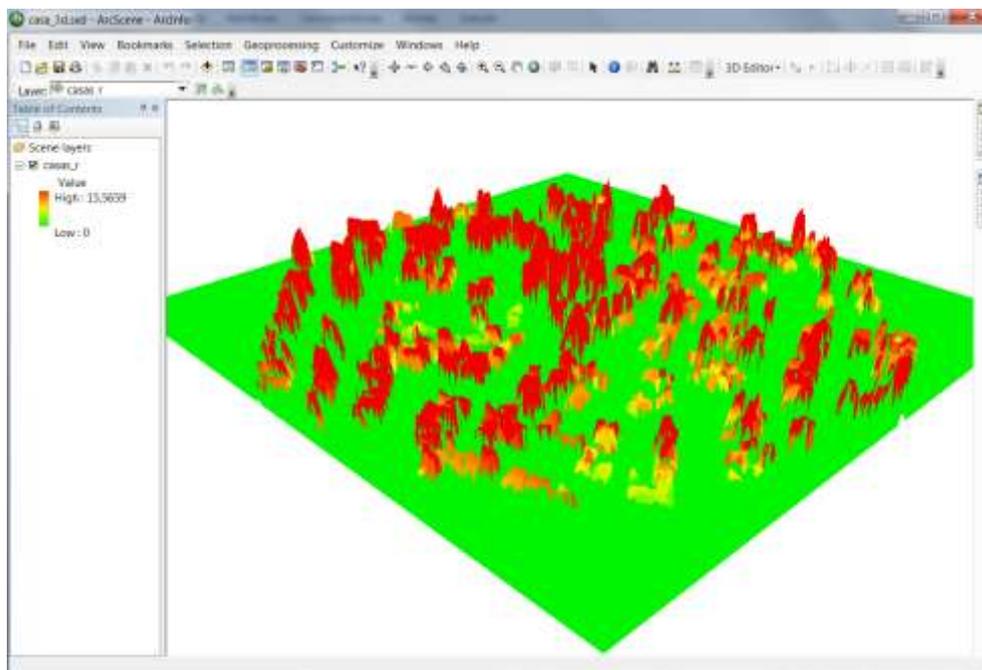
#### **4.1.1. Produto final da Aerofotogrametria – MDS e MDT**

Foram realizadas duas interpolações no módulo “DEM Extraction”, ao final do procedimento aerofotogramétrico na Estação E-foto. Uma delas objetivou a geração do MDS (Modelo Digital de Superfície), tendo como referência as linhas de quebra, formadas pelos polígonos (Figura 61a), e outra o MDT (Modelo Digital de Terreno), tendo como base as linhas de definição das ruas (Figura 61b). Os resultados das duas interpolações são exportados em arquivo ASC, contendo as coordenadas x, y e z de cada pixel da imagem.

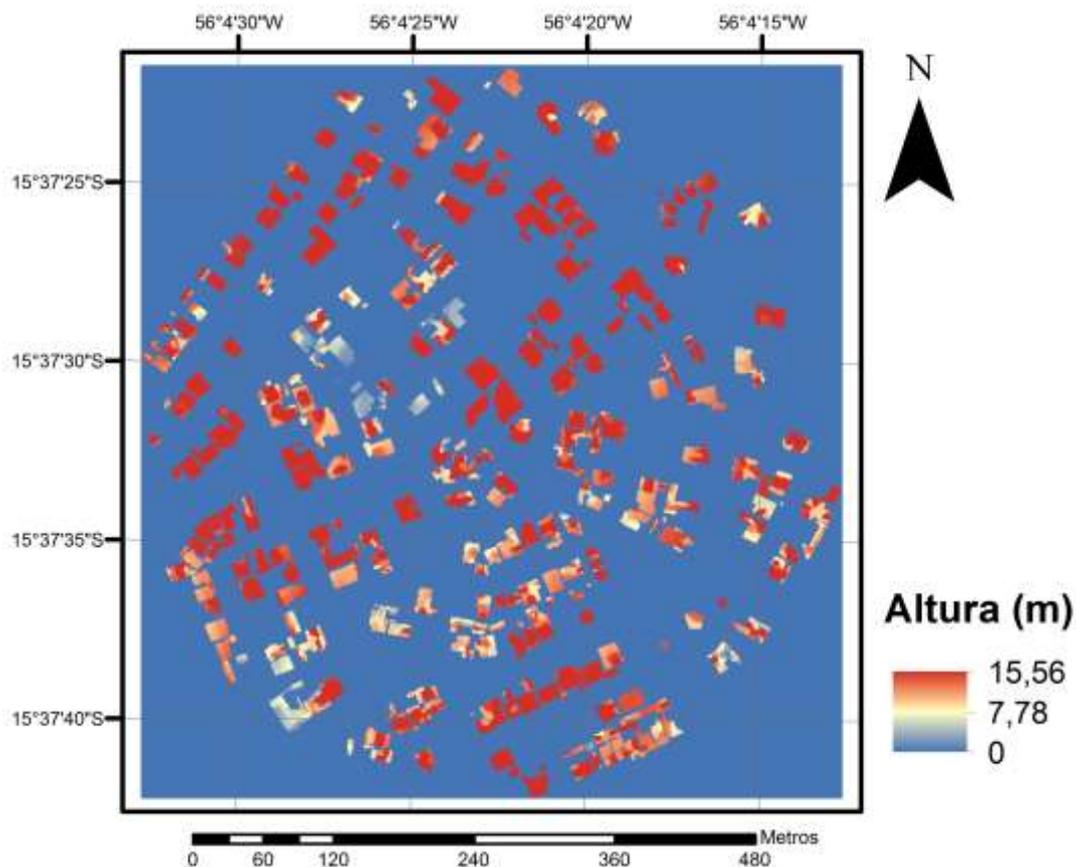


**Figura 61** - Visualização, a partir do módulo DEM Extraction, do MDS (a) e do MDT (b)

Tendo como referência os dois modelos gerados (MDT e MDS) foi possível a definição das alturas dos edifícios localizados na zona de estudo. Utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 10 fornecido pelo Programa de Pós Graduação em Geografia do Instituto de Ciências Humanas e Sociais (ICHS) da UFMT. O resultado pode ser visualizado na Figura 62 e na Figura 63 onde observa-se o produto final da subtração dos dois modelos (MDS e MDT).



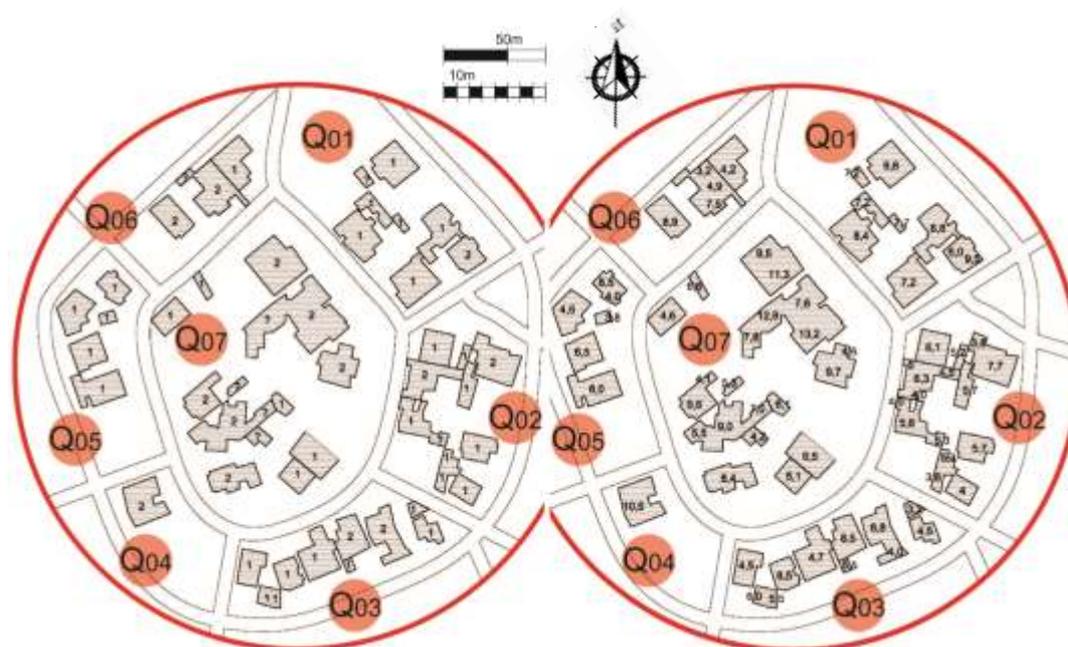
**Figura 62** - Visualização 3D da subtração dos Modelos de Superfície e de Terreno gerado pelo ArqGIS (ArqScene)



**Figura 63** - Produto Georreferenciado da subtração dos Modelos de Superfície e de Terreno gerado pelo ArqGIS (ArqMap)

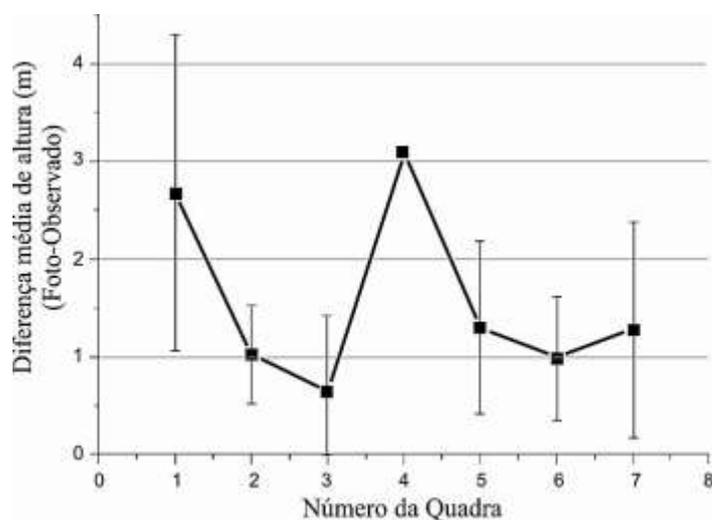
#### 4.1.2. Validação do levantamento aerofotogramétrico

Os resultados observados tanto no levantamento *in loco* como no aerofotogramétrico são apresentados na Figura 64. Na implantação localizada a esquerda observa-se o número de pavimentos referente a cada edificação, informação obtida através de verificação *in loco*. Na implantação localizada a direita estão os valores médios de altura das edificações obtidos a partir do MDS gerado pela estação E-foto.



**Figura 64** - Informações coletadas *in loco*(esquerda) e medidas no MDS(direita)

Considerando as médias das diferenças de alturas identificadas *in loco* e medidas a partir do MDS, observou-se, para cada quadra, diferenças médias em torno de 1m, conforme pode ser observado na Figura 65. Somente nas quadras 01 e 04 identificam-se diferenças maiores, próximas de 3,0m. Na quadra 01 esta irregularidade se dá devido o fato de as edificações terem largura maior que o padrão definido para o dimensionamento da cumeeira, sendo em média 15m para as casas desta quadra, isto resulta na obtenção de maiores alturas e consequentemente valores acima do determinado para edificações de um pavimento. Na quadra 04 existe somente uma casa, o que reduz o valor estatístico desta diferença.

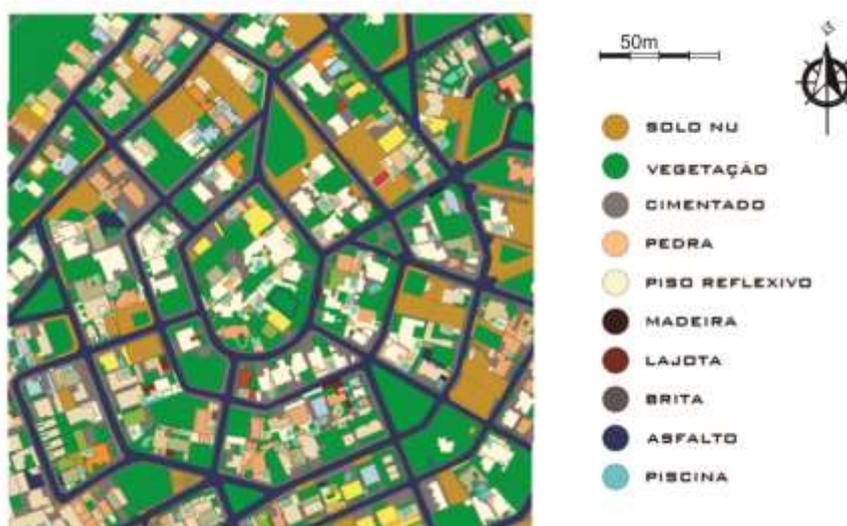


**Figura 65** - Gráfico das médias das diferenças de altura observadas e medidas por aerofotogrametria

De uma forma geral, apesar de se assemelhar aos valores estimados pela técnica de levantamento in loco, baseada na altura média das edificações, os dados obtidos através do MDS são mais precisos e específicos, permitindo identificar características das coberturas, como a posição da cumeeira na configuração do telhado e a altura de elementos arquitetônicos internos ao terreno, que não podem ser visualizados pela fachada.

#### 4.1.3. Caracterização das superfícies urbanas

Os resultados das observações realizadas in loco e pelas fotografias aéreas, quanto à caracterização das superfícies urbanas, foram inseridos em um mapa temático (Figura 66), confeccionado no programa AutoCAD, da Auto Desk, versão 2012, onde cada cor representa uma tipologia de superfície.



**Figura 66** - Mapa Temático das superfícies identificadas na área de estudo

No mapa, além das superfícies dos pavimentos, as superfícies verticais dos edifícios foram identificadas através do preenchimento da região ocupada por eles no terreno. Cada cor, neste caso, indica a cor das alvenarias externas das edificações, sendo predominante a ocorrência de paredes brancas e claras.

##### 4.1.3.1. Albedo das superfícies do cânion e das telhas

O albedo para as diferentes categorias de uso da terra urbana, segundo classificação de Sailor e Fan (2002), varia entre 0,13 e 0,17 (Tabela 5). Assim, dependendo do nível de precisão desejado, pode-se argumentar que uma estimativa apropriada para albedo de todas as categorias urbanas é de 0,15.

**Tabela 5** - Fatores de correção do albedo (ACF) e albedo médio ponderado de energia diária (EWA) para conjuntos de simulações de radiação envolvendo as quatro categorias de uso da terra urbanizada, cada um com 10, 60 ou 100 edifícios por célula da grade de simulação.

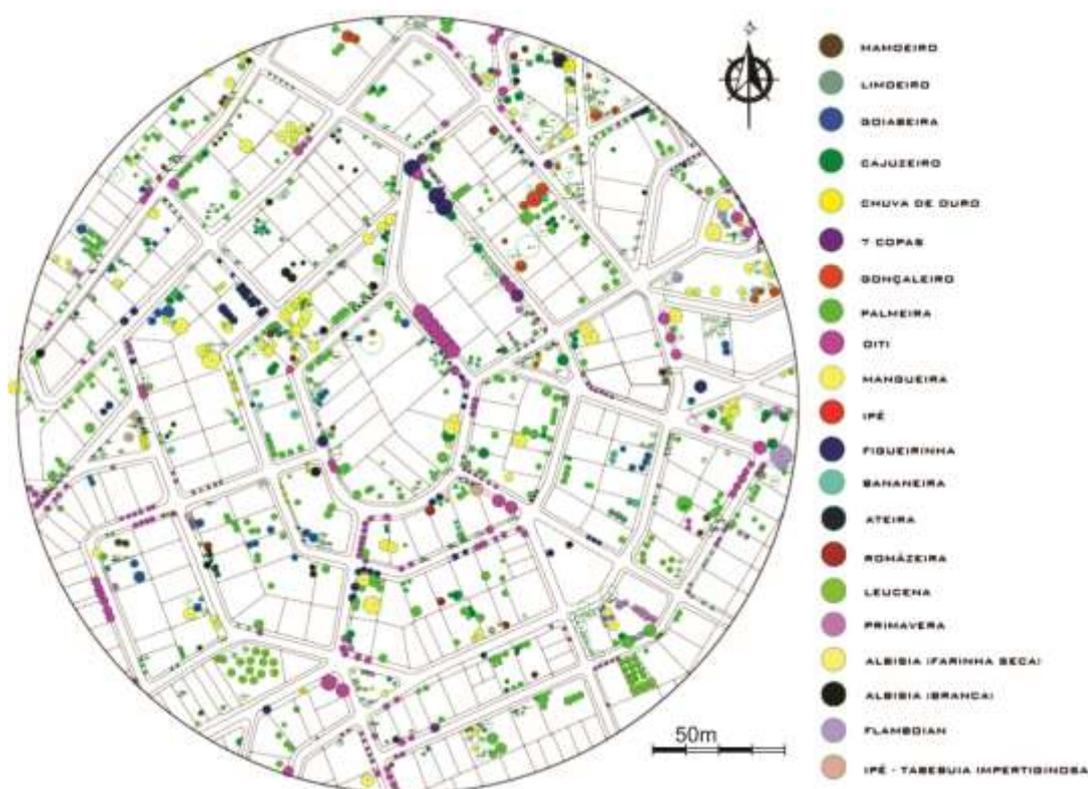
		<b>10 edifícios</b>	<b>60 edifícios</b>	<b>100 edifícios</b>
<b>Residencial (RES)</b>	ACF	0,865 ± 0,045	0,871 ± 0,018	0,872 ± 0,014
	EWA	0,169 ± 0,024	0,170 ± 0,011	0,170 ± 0,008
<b>Comercial (COM)</b>	ACF	0,850 ± 0,055	0,853 ± 0,023	0,854 ± 0,018
	EWA	0,148 ± 0,016	0,148 ± 0,007	0,148 ± 0,005
<b>Industrial (IND)</b>	ACF	0,887 ± 0,040	0,891 ± 0,016	0,891 ± 0,013
	EWA	0,146 ± 0,015	0,146 ± 0,007	0,146 ± 0,005
<b>Núcleo Urbano (UC)</b>	ACF	0,784 ± 0,136	0,736 ± 0,052	0,733 ± 0,040
	EWA	0,133 ± 0,022	0,124 ± 0,008	0,124 ± 0,06

**Fonte:** Adaptado de Sailor e Fan (2002)

O resultado encontrado para o albedo das telhas cerâmicas utilizadas na zona de estudo, através do experimento conduzido no campus da UFMT, foi de 0,1763. Este valor assemelha-se ao encontrado por Chatzidimitriou; Chrissomallidou e Yannas (2006) (0,21), em Londres, sendo o primeiro um pouco inferior pelo fato de o experimento utilizar telhas removidas do próprio local de estudo, com incorporação de manchas oriundas do efeito das intempéries.

#### **4.1.4. Caracterização das superfícies arbóreas**

O produto elaborado através da catalogação das árvores existentes no local de estudo é apresentado através de um mapa temático (Figura 67), com a localização e identificação das espécies identificadas no levantamento.



**Figura 67** - Mapa temático com identificação das espécies arbóreas presentes na área de estudo

A partir do mapa foi criado um quadro resumo (Quadro 5) catalogando os indivíduos arbóreos, com identificação das espécies, famílias, nomes populares, número de indivíduos presentes na área de estudo e o padrão de densidade foliar de suas copas. O quadro permitiu a identificação das espécies mais representativas da área de estudo e auxiliou na obtenção das especificações fisiológicas exigidas pelo modelo.

**Quadro 5** - Catálogo das árvores identificadas na área de estudo

Nº	Família	Gênero/Espécie	Nome Popular	QTD	Repres. (%)	Dens. Foliar
1	Arecaceae	GERAL	Palmeira	301	28,24%	Baixa
2	Chrysobalanaceae	Licania tomentosa	Oiti	157	14,73%	Alta
3	Anacardiaceae	Mangifera indica L	Mangueira	74	6,94%	Alta
4	Euphorbiaceae	Margaritaria nobilis	Figueirinha	64	6,00%	Alta
5	Anacardiaceae	Anacardium occidentale	Cajueiro	49	4,60%	Média
6	Myrtaceae	Psidium guajava L.	Goiabeira	42	3,94%	Média
7	Fabaceae	Leucaena leucocephala	Leucena	41	3,85%	Baixa
8	Pinaceae	GERAL	Pinheiro	24	2,25%	Alta
9	Musaceae	Musa balbisiana	Bananeira	22	2,06%	Baixa
10	Leguminosae-Caesalpinoideae	Cassia ferruginea	Chuva-de-ouro	21	1,97%	Baixa
11	Leguminosae-Mimosoideae (Fabaceae)	Albizia niopoides	Angico branco	20	1,88%	Média
12	Lythraceae	Punica granatum	Romanzeira	19	1,78%	Média

Quadro 5– cont.

Nº	Família	Gênero/Espécie	Nome Popular	QTD	Repres. (%)	Dens. Foliar
13	Nyctaginaceae	Bougainvillea glabra	Primavera	17	1,59%	Baixa
14	Sapotaceae.	Pouteria Caimito	Abiu	14	1,31%	Alta
15	Anacardiaceae	Astronium fraxinifolium	Gonçaleiro	13	1,22%	Baixa
16	Bignoniaceae	Tabebuia impetiginosa	Ipê Roxo	11	1,03%	Média
17	Rutaceae	Citrus × latifolia	Limoeiro	11	1,03%	Média
18	Caricaceae	Carica papaya	Mamoeiro	10	0,94%	Baixa
19	Meliaceae	Melia azedarach	Santa Barbara	8	0,75%	Média
20	Annonaceae	Annona squamosa	Ateira	8	0,75%	Baixa
21	Urticaceae	Cecropia pachystachya	Embaúba	7	0,66%	Baixa
22	Euphorbiaceae	Manihot esculenta	Mandioca	7	0,66%	Baixa
23	Bignoniaceae	Tabebuia roseo-alba	Ipê Branco	7	0,66%	Média
24	Combretaceae	Terminalia catappa	Sete-Copas	6	0,56%	Média
25	Myrtaceae	Myrcia arborescens	Myrcia	6	0,56%	Média
26	Malpighiaceae	Malpighia emarginata	Acerola	6	0,56%	Média
27	Leguminosae-Caesalpinioideae	Cassia leptophylla	Falso-barbatimão	6	0,56%	Média
28	Sapindaceae	Magonia Pubescens	Tingui	5	0,47%	Baixa
29	Fabaceae	Caesalpinia peltophoroides	Sibipiruna	5	0,47%	Alta
30	Lauraceae	Persea americana	Abacateiro	5	0,47%	Média
31	Rutaceae	Citrus × sinensis	Laranjeira	5	0,47%	Alta
32	Myrtaceae	Myrciaria cauliflora	Jabuticabeira	5	0,47%	Alta
33	Mimosoideae	Albizia hassleri	Farinha Seca	4	0,38%	Média
34	Fabaceae	Delonix regia	Flamboyant	4	0,38%	Média
35	Fabaceae	Bauhinia blakeana	unha-de-vaca	4	0,38%	Média
36	Myrtaceae	Syzygium jambos	Jambo	4	0,38%	Alta
37	Bombacaceae	Pachira aquatica	Monguba	4	0,38%	Alta
38	Euphorbiaceae	Ricinus communis L	Mamoneira	4	0,38%	Baixa
39	Fabaceae	Copaifera langsdorffii	Pau-d'óleo	3	0,28%	Média
40	Sterculiaceae	Guazuma tomentosa	Chico Magro	3	0,28%	Média
41	Simaroubaceae	Simarouba versicolor	Simarouba	3	0,28%	Baixa
42	Poaceae	Bambusa vulgaris "vittata"	Bambu	3	0,28%	Média
43	Fabaceae	Bowdichia virgilioides	Sucupira-Preto	2	0,19%	Baixa
44	Arecaceae	Aiphanes aculeata Willd.	Pupunha xicaxica	2	0,19%	Baixa
45	Bignoniaceae	Cybistax antisiphilitica	Ipê verde	2	0,19%	Média
46	Bignoniaceae	Tabebuia ochracea	Ipê amarelo	2	0,19%	Média
47	Tiliaceae	Luehea grandiflora	Açoita Cavalo	2	0,19%	Média
48	Moraceae	Artocarpus heterophyllus	Jaqueira	2	0,19%	Alta
49	Oxalidaceae	Averrhoa carambola	Caramboleira	2	0,19%	Média
50	Boragináceas	Cordia Glabrata	Louro Preto	1	0,09%	Baixa
51	Dileniaceae	Curatella americana	Lixeira	1	0,09%	Média
52	Bignoniaceae	Tecoma stans	Ipê de Jardim	1	0,09%	Média
53	Leguminosae-Mimosoideae	Inga edulis	Ingá-de-metro	1	0,09%	Média
54	Bombacaceae	Chorisia speciosa	Paineira	1	0,09%	Média
55	Myrtaceae	Psidium guineense	Araçá	1	0,09%	Média
56	Fabaceae -Papilionoideae	Dipteryx alata	Cumbarú	1	0,09%	Alta
57	Fabaceae -Papilionoideae	Erytrina falcata	Bico de papagaio	1	0,09%	Média
58	Bignoniaceae	Tabebuia aurea	Ipê-amarelo-do-cerrado	1	0,09%	Baixa
59	Annonaceae	Annona dioica	Anona	1	0,09%	Média

Quadro 5 – cont.

Nº	Família	Gênero/Espécie	Nome Popular	QTD	Repres. (%)	Dens. Foliar
60	Leguminosae-Mimosoideae	Inga SP	Ingá da folha miúda	1	0,09%	Média
61	Burseraceae	Commiphora leptophloeos	Imburana	1	0,09%	Baixa
62	Combretaceae	Buchenavia oxycarpa	Periquiteira	1	0,09%	Média
63	Rubiaceae	Morinda citrifolia	Noni	1	0,09%	Média
64	Malvaceae	Bastardiopsis densiflora	Algodoeiro	1	0,09%	Alta
65	Moraceae	Morus nigra	Amoreira	1	0,09%	Média
66	Rutaceae	Citrus reticulata	Pocã	1	0,09%	Média
67	Lythraceae	Lafoensia pacari St. HIL	Pau de Bixo	1	0,09%	Baixa
68	Asteraceae	Gochnatia polymorpha Less.	Cambará	1	0,09%	Média
69	Papaveraceae	Papaver somniferum L	Papoula	1	0,09%	Média
TOTAL				1066	100,00%	

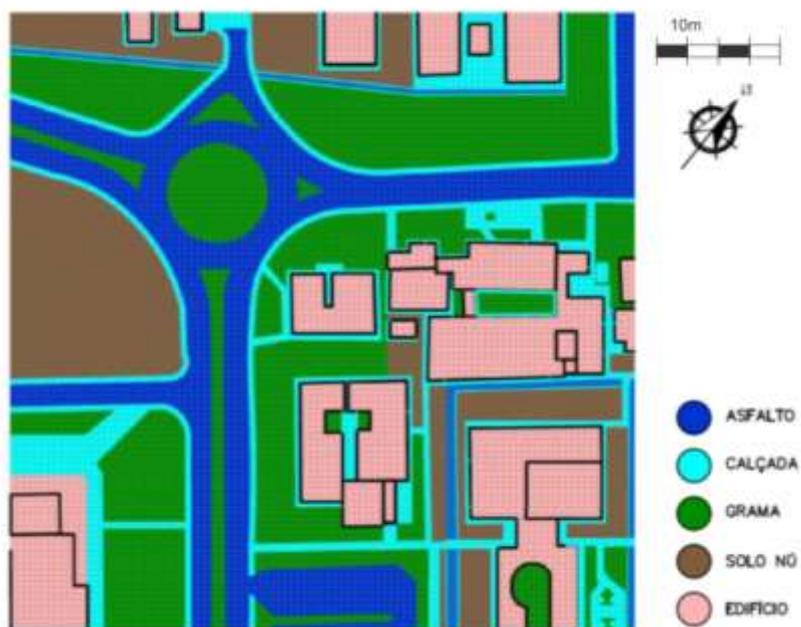
A partir das informações apresentadas no Mapa de vegetação (Figura 67) e no Catálogo de espécies (Quadro 5) foi possível a definição dos ajustes necessários para compatibilização do arquivo de vegetação, fornecido pelo modelo, à área de estudo.

#### 4.1.5. Construção do Modelo no ENVI-Met

##### 4.1.5.1. Modelo para análise na Sub-camada Rugosa (SR)- Física Ambiental

###### 4.1.5.1.1. Levantamento da área

O levantamento realizado *in loco* permitindo a construção do mapa de revestimentos e edifícios (Figura 68) e do mapa de vegetação (Figura 69). Os dois mapas foram importados no modelo ENVI-Met para auxiliar a edição da área de estudo.



**Figura 68** - Mapa de revestimentos e edifícios



**Figura 69** - Mapa de vegetação

#### 4.1.5.1.2. Base de dados de Vegetação

As novas árvores, criadas a partir da edição do arquivo original de vegetação fornecido pelo modelo, são descritas a seguir (Tabela 6).

Tabela 6 - Base de dados de Vegetação criado para o modelo Física Ambiental

ID	C	T Y	rs- m	a f	HH. HH	TT.T T	LAD 1	LAD 2	LAD 3	LAD 4	LAD 5	LAD 6	LAD 7	LAD 8	LAD 9	LAD 10	RAD 1	RAD 2	RAD 3	RAD 4	RAD 5	RAD 6	RAD 7	RAD 8	RAD 9	RAD 10	NOME	DESCRIÇÃO			
xx	C4	3	200	0,20	0,10	0,10	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Grass	10 cm, aver., dense	
D3	C3	1	400	0,20	3,00	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	3m, very dense.
D4	C3	1	400	0,20	4,00	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	4m, very dense.
D6	C3	1	400	0,20	6,00	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	6m, very dense.
D8	C3	1	400	0,20	8,00	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	8m, very dense.
D9	C3	1	400	0,20	9,00	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	9m, very dense.
D0	C3	1	400	0,20	10,0	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	10m, very dense.
D2	C3	1	400	0,20	12,0	2,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,65	2,15	2,18	2,05	1,72	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	12m, very dense.
M3	C3	1	400	0,20	3,00	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	3m, dense.
M4	C3	1	400	0,20	4,00	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	4m, dense.
M6	C3	1	400	0,20	6,00	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	6m, dense.
M8	C3	1	400	0,20	8,00	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	8m, dense.
M9	C3	1	400	0,20	9,00	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	9m, dense.
M0	C3	1	400	0,20	10,0	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	10m, dense.
M2	C3	1	400	0,20	12,0	2,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,25	1,15	1,06	1,05	0,92	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree	12m, dense.
B3	C3	1	400	0,20	3,00	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 3m
B4	C3	1	400	0,20	4,00	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 4m
B6	C3	1	400	0,20	6,00	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 6m
B8	C3	1	400	0,20	8,00	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 8m
B9	C3	1	400	0,20	9,00	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 9m
B0	C3	1	400	0,20	10,0	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 10m
B2	C3	1	400	0,20	12,0	2,00	0,04	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,14	0,13	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	Tree,	light 12m

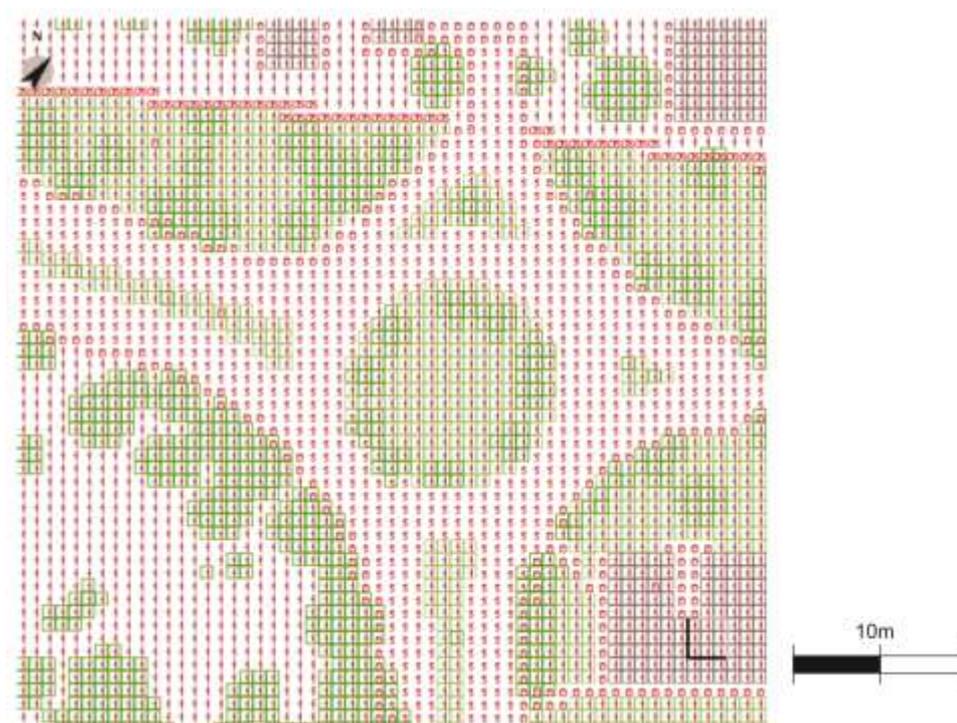
em que **ID** representa a identificação da nova vegetação criada; **C** o tipo de fixação do  $\text{CO}_2$ ; **TY** o tipo de planta, sendo **01**-decídua, **02**-conífera e **03**-grama; **rs-m** a resistência mínima do estômato da planta (modelo de Deardorff); **af** o albedo da folha para radiação de onda curta; **HH.HH** a altura da planta (m); **TT.TT** a profundidade total da zona de raízes; **LAD1** a **LAD10** a densidade de área foliar ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) no perfil vertical de 10 pontos na planta; **RAD1** a **RAD10** a densidade de área radicular ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) no perfil vertical de 10 pontos na planta.

#### 4.1.5.1.3. Produto da edição do modelo

A configuração da área do estudo quanto às definições de edifícios e vegetação (Figura 70) e quanto as definições de superfície (Figura 71) são ilustradas a seguir.



**Figura 70** - Edição de edifícios e vegetação no ENVI-Met (modelo Física Ambiental)



**Figura 71** - Edição de superfícies no ENVI-Met (modelo Física Ambiental)

#### ***4.1.5.2. Modelo para análise na Camada do Dossel Urbano (CDU) – bairro Jardim Califórnia***

##### ***4.1.5.2.1. Produto da edição do modelo***

A configuração da área do estudo do modelo para análise da CDU do bairro Jardim Califórnia quanto às definições de edifícios e vegetação (Figura 72) e quanto às definições de superfície (Figura 73) são ilustradas a seguir.



Figura 72 - Edição de edifícios e vegetação no ENVI-Met (Jd Califórnia)

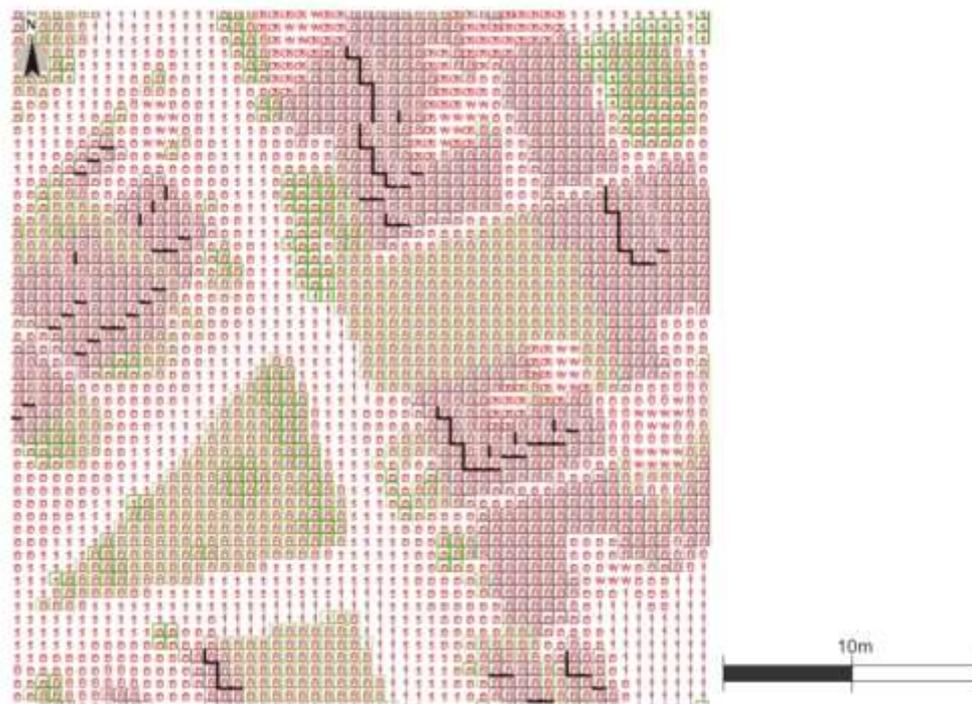
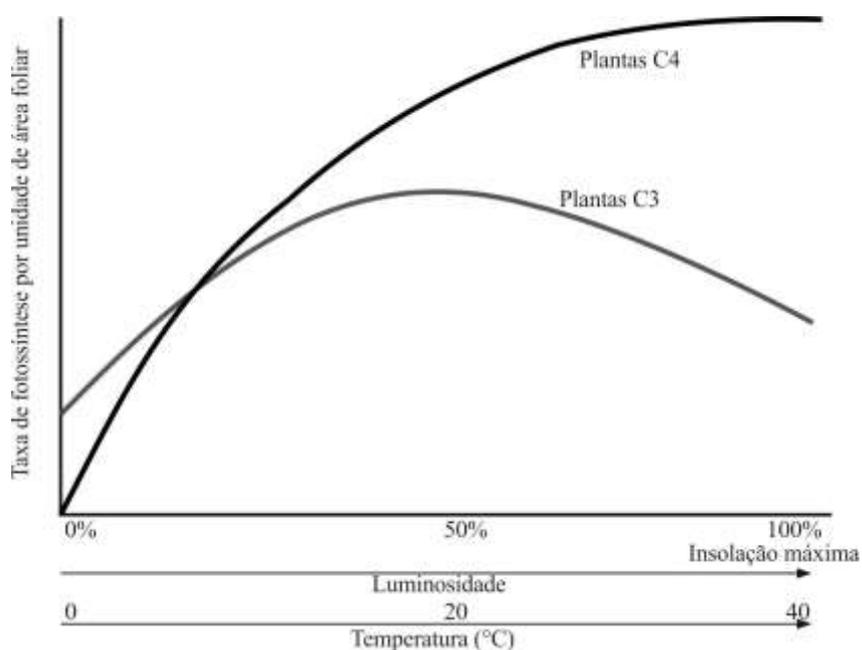


Figura 73 - Edição de superfícies no ENVI-Met (Jd Califórnia)

#### 4.1.5.2.2. *Vegetação usada no telhado vegetado*

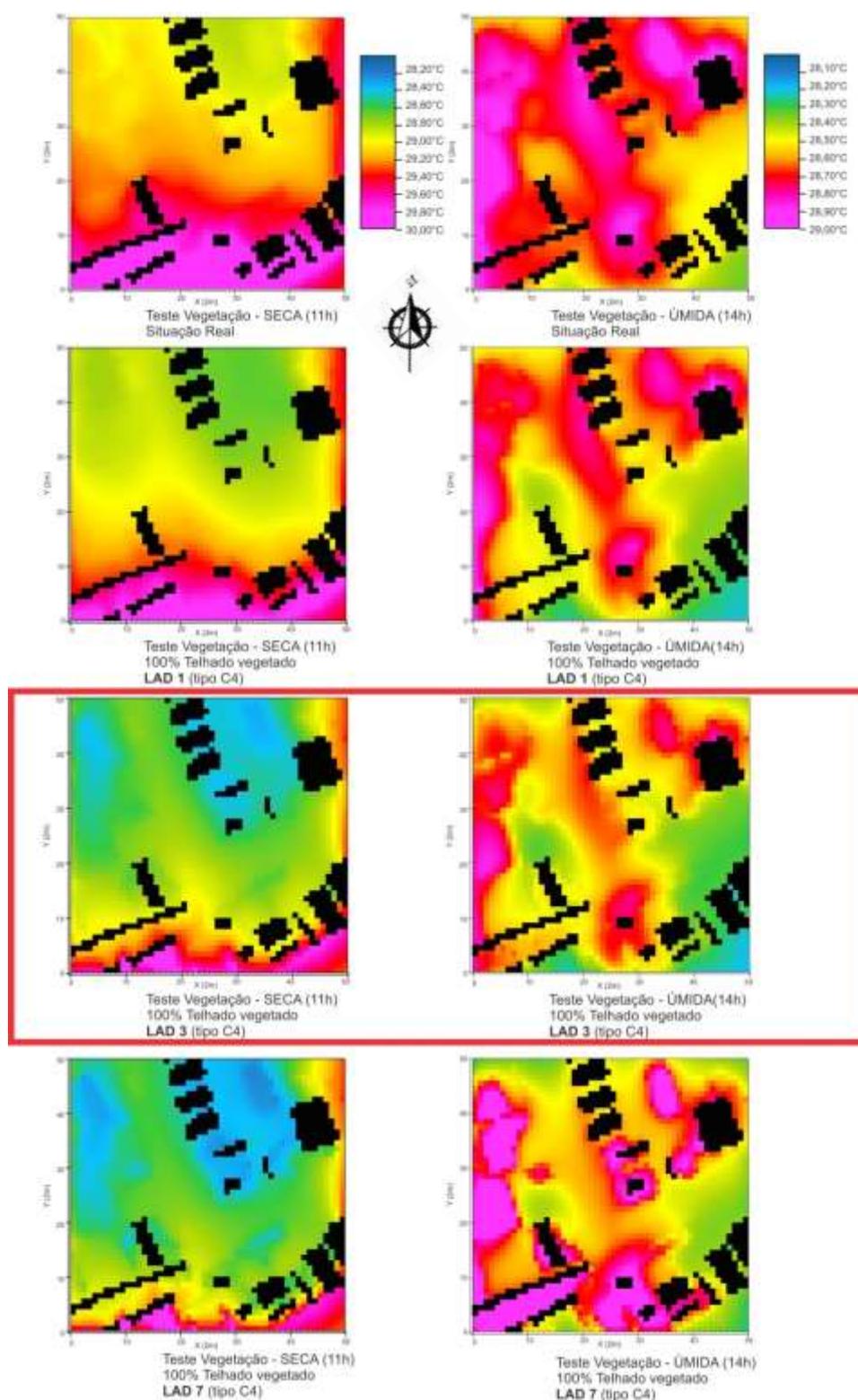
Considerando as características climáticas da cidade de Cuiabá, com temperaturas acima de 30°C durante a maior parte do dia, e a situação de completa exposição solar a que as plantas estarão sujeitas acima dos telhados, optou-se pela utilização de espécies gramíneas do tipo C4 para a composição dos telhados vegetados (Figura 74).



**Figura 74** - Comparação das respostas fotossintéticas de plantas C3 e C4 a aumentos de luminosidade e temperatura

**Fonte:** Adaptado de Odum (1983)

Os resultados obtidos no cenário teste confirmam as observações de Rosseti (2013b), evidenciando maior influência do telhado vegetado no período seco (Figura 75), caracterizado por altas temperaturas e baixas umidades do ar.



**Figura 75** - Teste de vegetação para o telhado vegetado, C4, período Seco e Úmido

Quanto à densidade de área foliar, os testes evidenciaram melhor desempenho do telhado vegetado com DAF média de  $3\text{m}^2/\text{m}^3$ , quando analisados os resultados conjuntos do período seco e úmido (Figura 75). Neste último período, a vegetação com DAF média

de  $7\text{m}^2/\text{m}^3$  foi a que apresentou maiores temperaturas sobre os telhados, ao contrário da estação seca que, neste mesmo cenário apresentou as menores temperaturas. Este resultado confirma que a arquitetura da vegetação pode influenciar o desempenho do telhado vegetado como estratégia de mitigação dos efeitos da ilha de calor urbana e que estes efeitos estão diretamente relacionados às características de temperatura e umidade do ar.

Desta forma, definiu-se para a simulação dos telhados vegetados no modelo Jardim Califórnia a vegetação do tipo C4 com DAF média de  $3\text{m}^2/\text{m}^3$ .

## 4.2. VALIDAÇÃO

Os dados de saída do *software* ENVI-Met são armazenados em uma pasta denominada “*output*”, conforme definido no arquivo de configuração, em categorias específicas. As categorias “*atmosphere*”, “*BOTworld*”, “*soil*” e “*surface*” podem ser analisadas a partir de softwares complementares, como o Leonardo 3.75, fornecido juntamente com o ENVI-Met. As categorias “*receptors*” e “*inflow*” são apresentadas em planilhas que podem ser editadas e analisadas em programas como o EXCEL, desenvolvido pela *Microsoft*.

A validação foi realizada tendo como referência o *output* gerado na categoria “*receptors*”, na qual estão armazenados os dados referentes aos receptores posicionados em cada um dos cenários analisados. Cada receptor é apresentado separadamente na categoria permitindo a visualização do perfil vertical de todas as variáveis processadas pelos modelos existentes no ENVI-Met.

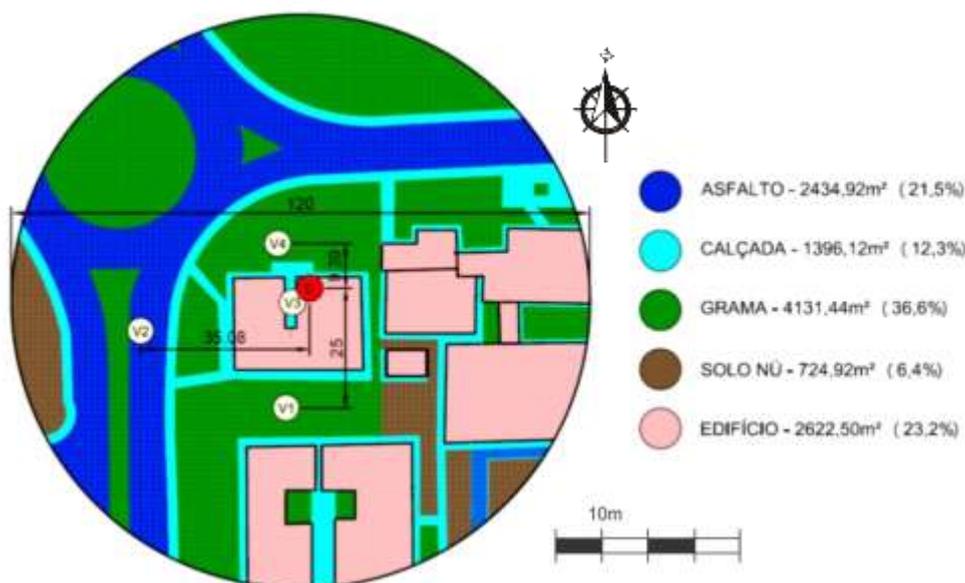
### 4.2.1. Sub-Camada Rugosa (SR) – Física Ambiental

O *output* do modelo Validação para cada receptor foi configurado de forma a permitir sua comparação com os dados fornecidos pela estação fixa. Os dados horários, para a altura de sete metros, das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar dos quatro receptores, configuraram um valor médio. As variáveis obtidas pela estação fixa e as médias obtidas através dos receptores foram plotadas em gráficos de dispersão e analisados os indicadores de desempenho do modelo.

A região do entorno nas proximidades da estação fixa ( $\Phi 120\text{m}$ ) foi caracterizada segundo os atributos de ocupação do solo (Figura 76) de forma a permitir a interpretação dos resultados obtidos no modelo, permitindo ainda a comparação com os do modelo do

bairro Jardim Califórnia. Observa-se que a maior porção da área é ocupada por superfície de grama (36,6%), seguida pela área edificada (23,2%) e a área de asfalto (21,5%). As superfícies de calçadas em concreto (12,3%) e solo nu (6,4%) não ocuparam de forma expressiva a área.

Observa-se ainda, na Figura 76, a posição dos receptores, localizados no modelo, em relação à estação fixa instalada no local. Os receptores são identificados pela letra V seguida dos números 1, 2, 3 ou 4, e a estação é definida pela letra E. Os receptores V1 e V4 foram posicionados sobre a grama, o V2 sobre o asfalto e o V3 sobre a calçada de concreto. A diversificação das superfícies de inserção dos receptores permite minimizar os efeitos locais sobre as variáveis, uma vez que busca-se uma análise na Sub-camada Rugosa, ou seja, acima do dossel urbano.



**Figura 76** - Caracterização do entorno da estação fixa quanto aos atributos de ocupação do solo

A Tabela 7 resume os indicadores de desempenho do modelo ENVI-Met para cada variável em cada época do ano. Observa-se que o  $R^2$  se apresenta elevado para as duas variáveis nos dois períodos. No entanto, quando tratamos da umidade relativa do ar, os valores de RMSE, MAE e MBE são elevados, evidenciando que, apesar de representar muito bem a dinâmica desta variável, o modelo ENVI-Met subestima seus valores, em todos os horários, nos dois períodos do ano.

Esta discrepância pode ser explicada da seguinte forma: (1) pela incapacidade do ENVI-Met de simular o calor antrópico, que pode causar aumento de temperatura acentuada em um cenário real, não sendo refletido no processo de modelagem, (2) pelo

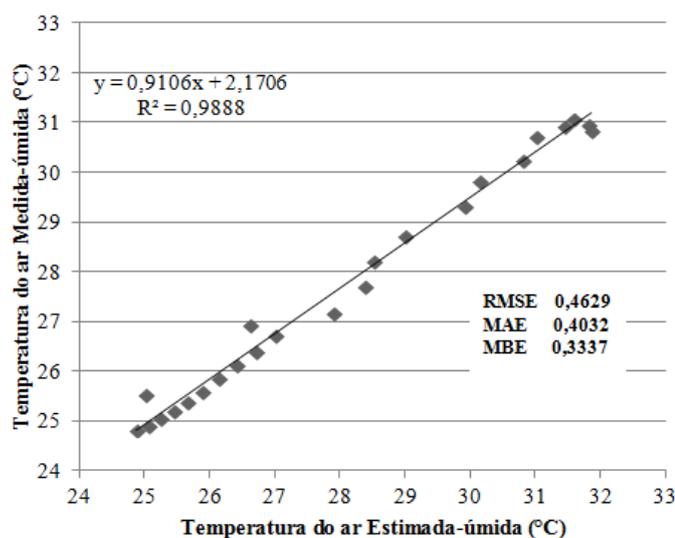
fato de as variáveis climáticas, no arquivo de entrada do modelo, serem médias, enquanto os dados observados representam a situação no instante do tempo de medição. Portanto, o ENVI-Met não possui uma boa capacidade de moderar valores extremos das variáveis, principalmente relacionados a umidade relativa do ar. Resultados semelhantes foram descritos por Johansson et al. (2006) e Emmanuel et al. (2007).

**Tabela 7** - Indicadores de desempenho do modelo ENVI-Met (Validação)

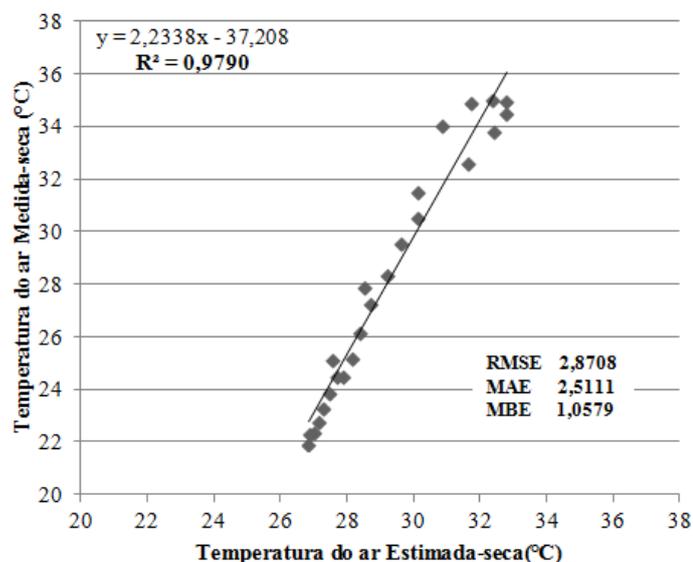
Variável/Período	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE	MBE
Temperatura/Seco	0,9790	2,8708	2,5111	1,0579
Temperatura/Úmido	0,9944	0,4629	0,4032	0,3337
Umidade/Seco	0,9647	20,9828	18,1847	-18,1847
Umidade/Úmido	0,9845	28,8030	25,7673	-25,7673

Diferentemente disto, o modelo consegue reproduzir, com elevada precisão, a variável de temperatura do ar, que não apresenta valores de RMSE, MAE e MBE maiores que 3,0, em nenhum período do ano, sendo ainda melhor prevista, pelo modelo, no período úmido.

A Figura 77 e 78 ilustram os gráficos de regressão linear entre a temperatura do ar estimada pelo modelo e medida, nos dois períodos estudados. A reta de regressão, presente nas figuras, evidencia a existência de correlação positiva entre as variáveis medidas e estimadas pelo modelo, indicando que elevações na temperatura medida são acompanhadas por elevações na temperatura estimada. A dispersão dos pontos em torno da reta de regressão reforça os indicadores de desempenho ilustrados na Tabela 7.



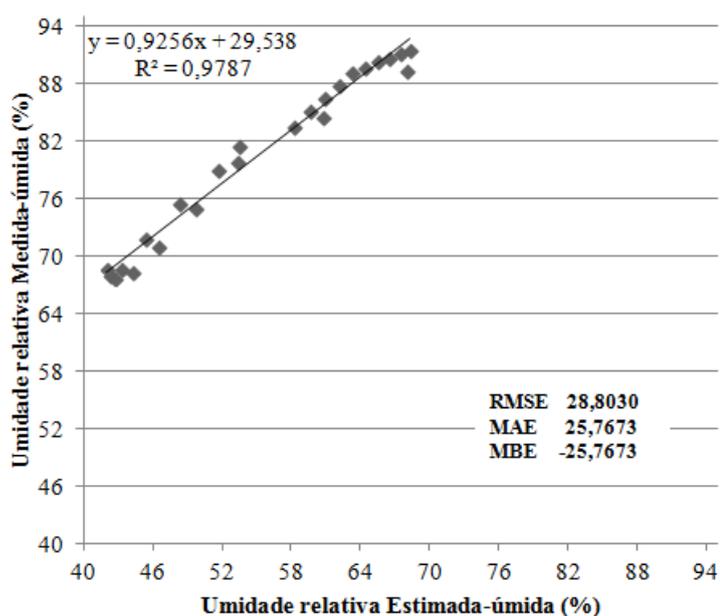
**Figura 77** - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período úmido (estimada x modelada)



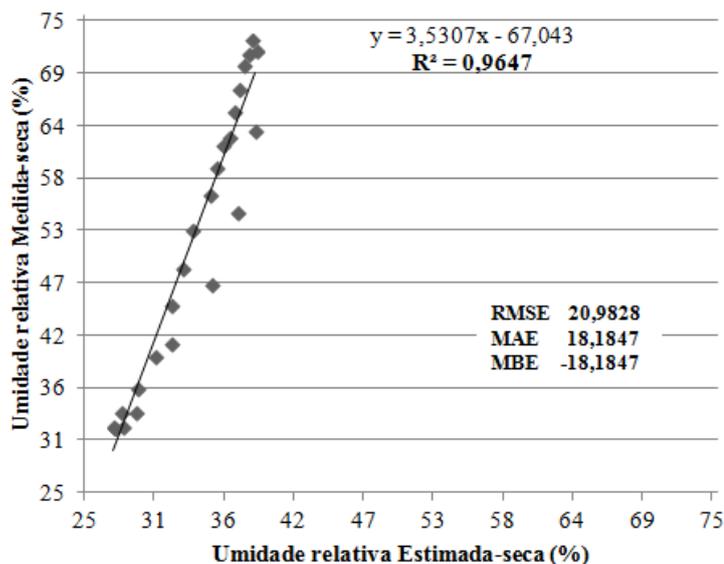
**Figura 78** - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período seco (estimada x modelada)

Observa-se a qualidade da previsão de temperatura do ar realizada pelo modelo ENVI-Met, sendo mais representativa no período úmido, como pode ser confirmado pelos valores de RMSE, MAE e MBE, que não ultrapassaram 0,5 nesta época do ano.

A Figura 79 e 80 ilustram os gráficos de regressão linear entre a umidade do ar estimada pelo modelo e medida, nos dois períodos estudados. A reta de regressão, presente nas figuras, evidencia a existência de correlação positiva entre as variáveis medidas e estimadas pelo modelo. A dispersão dos pontos em torno da reta de regressão reforça os indicadores de desempenho, apresentados na Tabela 7.



**Figura 79** - Gráfico de dispersão da Umidade do ar no período úmido (estimada x modelada)



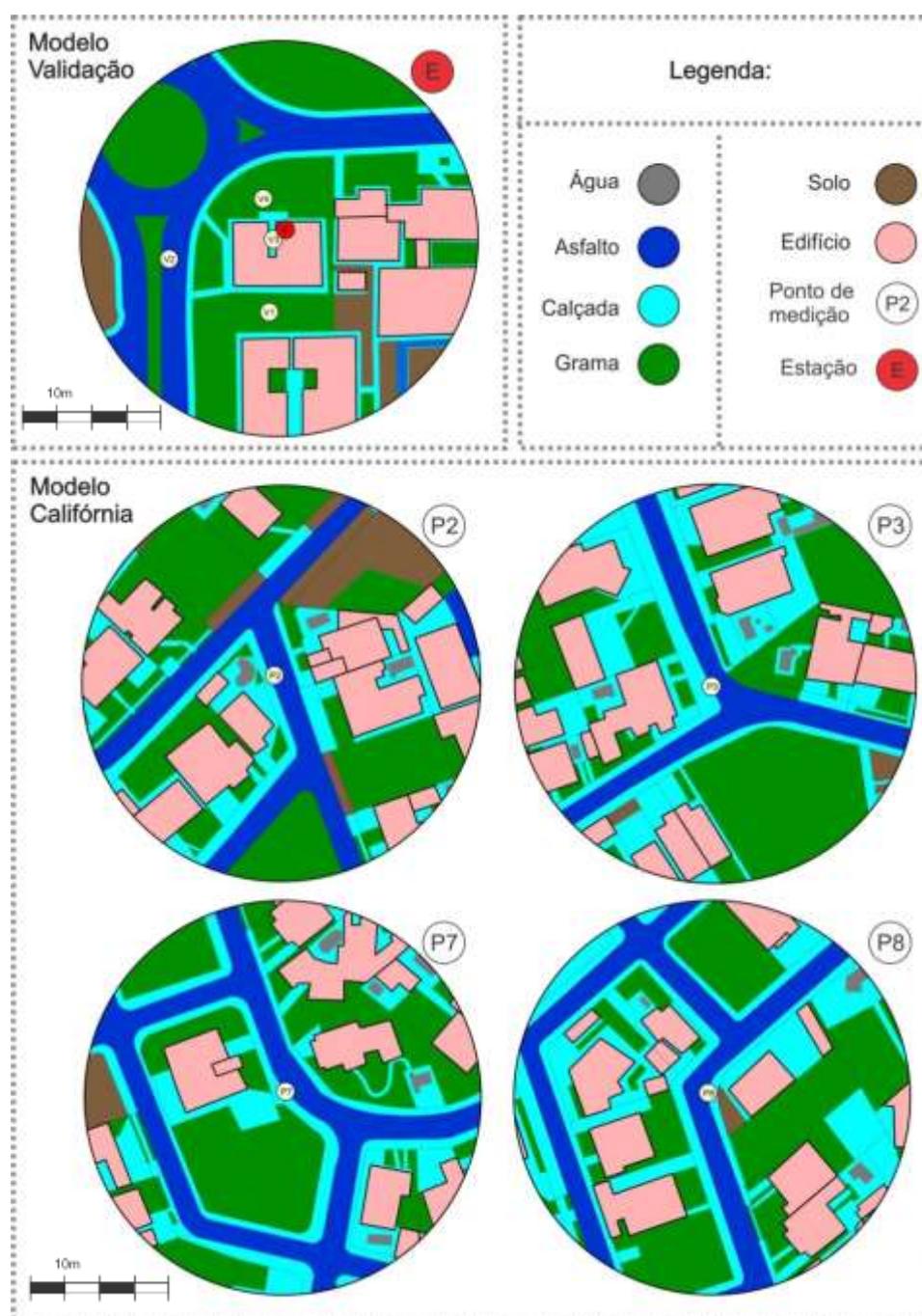
**Figura 80** - Gráfico de dispersão da Umidade do ar no período seco (estimada x modelada)

A qualidade do modelo ENVI-Met na estimativa da variável de umidade do ar não é tão expressiva quanto da temperatura do ar, no entanto o  $R^2$  elevado, identificado nas equações de regressão, apresenta padrões horizontais semelhantes, evidenciando que a dinâmica da umidade foi bem reproduzida. Os valores de RMSE, MAE e MBE confirmam a elevada distância entre os valores medidos e estimados pelo modelo, sendo este último, em todos os casos, inferior ao medido pela estação fixa, confirmado pelo sinal negativo do desvio MBE.

Em geral, os resultados reforçam a validade do modelo ENVI-Met como uma ferramenta de previsão microclimática para a cidade de Cuiabá. No entanto deve-se haver preocupação especial com a configuração dos dados de entrada do modelo, feita de forma manual pelo usuário. Os parâmetros usados para a definição dos dados de entrada do modelo validado neste trabalho podem ser visualizados no Anexo 1 da tese.

#### 4.2.2. Camada do Dossel Urbano (CDU) – bairro Jardim Califórnia

A ocupação do solo no entorno dos receptores foi definida a partir de seis atributos, sendo eles: água, asfalto, calçamento, grama, solo e edifício (Figura 81). A proporção da área ocupada por cada um deles em relação à área total analisada é apresentada de forma resumida na Tabela 8.



**Figura 81** - Caracterização dos atributos de superfícies no entorno dos pontos de receptores

**Tabela 8** - Proporção da área de ocupação dos atributos no entorno de cada Receptor

Modelo	Água (%)	Asfalto (%)	Calçada (%)	Grama (%)	Solo (%)	Edifício (%)
Validação	0,0	21,5 <sup>3</sup>	12,3	36,6 <sup>1</sup>	6,4	23,2 <sup>2</sup>
Califórnia - P2	1,0	14,5	17,4 <sup>3</sup>	33,0 <sup>1</sup>	8,2	25,9 <sup>2</sup>
Califórnia - P3	1,4	10,0	28,0 <sup>2</sup>	33,9 <sup>1</sup>	1,0	25,7 <sup>3</sup>
Califórnia - P7	1,0	20,2 <sup>3</sup>	26,8 <sup>2</sup>	31,5 <sup>1</sup>	1,8	18,7
Califórnia - P8	0,7	16,9	31,9 <sup>1</sup>	30,8 <sup>2</sup>	0,5	19,2 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Atributo de maior ocupação; <sup>2</sup> Atributo de 2ª maior ocupação; <sup>3</sup> Atributo de 3ª maior ocupação.

Observa-se que a configuração do entorno imediato aos receptores segue um padrão semelhante, com maior proporção de áreas gramadas, seguida por edifícios e calçadas, estes últimos variando entre 2ª e 3ª maior frequência, e asfaltos. As áreas ocupadas por solo nu e superfícies de água aparecem com uma frequência muito inferior as demais superfícies.

Este padrão de ocupação do solo também é identificado no cenário desenvolvido para o modelo da Física Ambiental, tornando possível a utilização do arquivo de configuração deste modelo, já validado, para o cenário representativo do bairro Jardim Califórnia. No entanto, ainda foram realizados testes estatísticos com os resultados do modelo Jardim Califórnia e os dados climáticos obtidos através do transecto móvel para definição de equações de calibração a serem aplicadas nos resultados do modelo.

As análises realizadas objetivaram ainda verificar a sensibilidade do modelo, desenvolvido no ENVI-Met, em representar o comportamento climático do cenário na CDU, considerando ser esta a camada de interesse neste estudo.

Os indicadores de desempenho do modelo ENVI-Met para cada variável em cada época do ano são apresentados na Tabela 9. Observa-se que o  $R^2$  se apresenta elevado para as duas variáveis nos dois períodos, estando somente a umidade relativa do ar, com  $R^2$  inferior a 0,95. Quando trata-se desta última variável, no período úmido, os valores de RMSE, MAE e MBE são elevados, evidenciando que o modelo ENVI-Met subestima seus valores, em todos os horários, neste períodos do ano.

**Tabela 9** - Indicadores de desempenho do modelo ENVI-Met (Jd Califórnia)

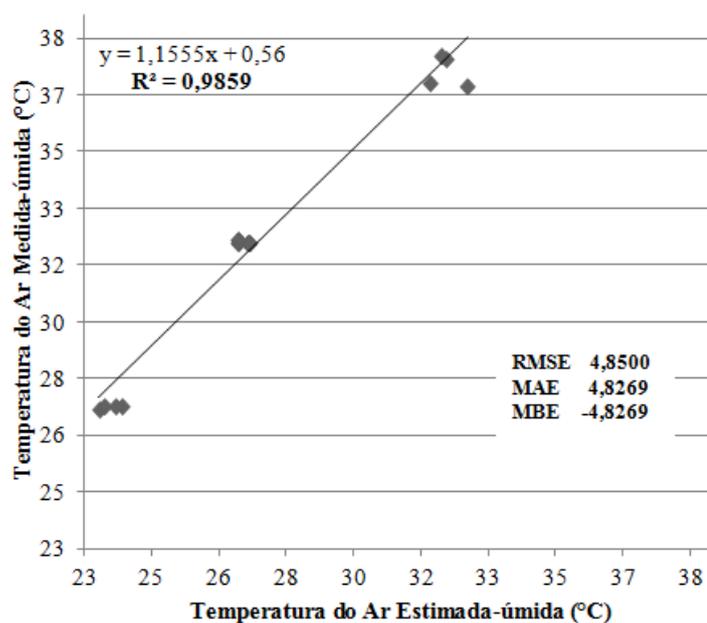
Variável/Período	$R^2$	RMSE	MAE	MBE
Temperatura/Seco	0,9573	3,8520	3,6144	-3,0156
Temperatura/Úmido	0,9859	4,8500	4,8269	-4,8269
Umidade/Seco	0,9029	2,7275	4,2106	-2,2469
Umidade/Úmido	0,9153	14,3162	14,3150	-14,3150

Esta discrepância pode ser explicada, conforme Johansson et al. (2006) e Emmanuel et al. (2007), principalmente pelo fato de a umidade do ar, no arquivo de entrada do modelo, ser uma média, enquanto os dados observados representam a situação no instante do tempo de medição. Portanto, o ENVI-Met não possui capacidade de moderar valores extremos das variáveis, principalmente relacionados à umidade relativa do ar. No caso da análise em microescala este efeito pode ser mais expressivo

pela grande interferência que as atividades antrópicas e pequenos estímulos podem causar nos sensores, impossíveis de serem previstos no modelo.

Diferentemente disto, o modelo consegue reproduzir, com elevada precisão, a variável de temperatura do ar, que não apresenta valores de RMSE, MAE e MBE maiores que 5,0, em nenhum período do ano, sendo ainda melhor prevista, pelo modelo, no período seco.

A Figura 82 e 83 ilustram os gráficos de regressão linear entre a temperatura do ar estimada pelo modelo e medida, nos dois períodos estudados, e a Figura 84 e 85 ilustram a umidade relativa do ar, nas mesmas condições. A reta de regressão, presente nas figuras, evidencia a existência de correlação positiva entre as variáveis medidas e estimadas pelo modelo, indicando que elevações na temperatura e na umidade medidas são acompanhadas por elevações na temperatura e na umidade estimadas. A dispersão dos pontos em torno da reta de regressão reforça os indicadores de desempenho ilustrados na Tabela 9.



**Figura 82** - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período úmido (estimada x modelada)

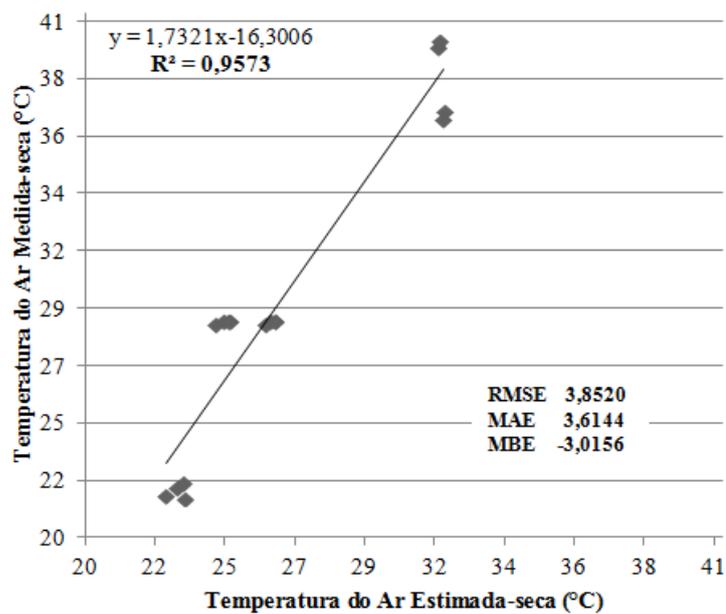


Figura 83 - Gráfico de dispersão da temperatura do ar no período seco (estimada x modelada)

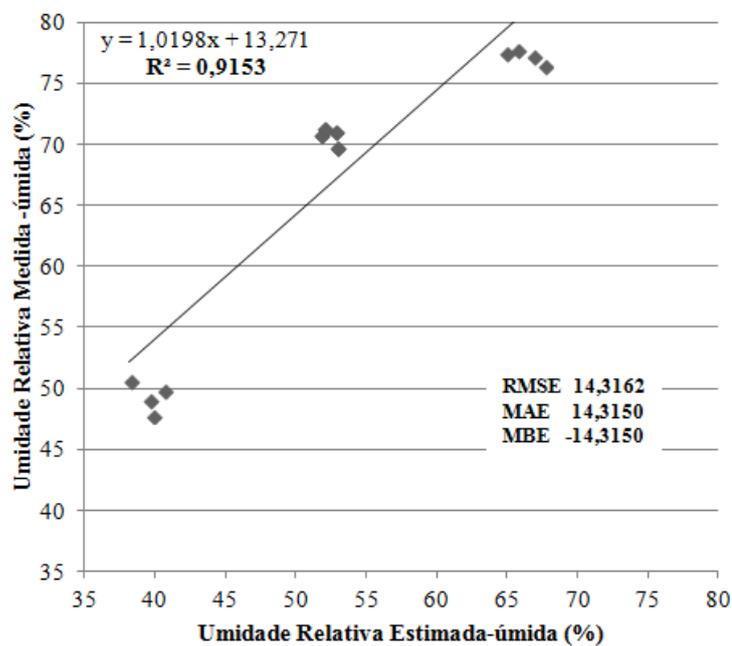
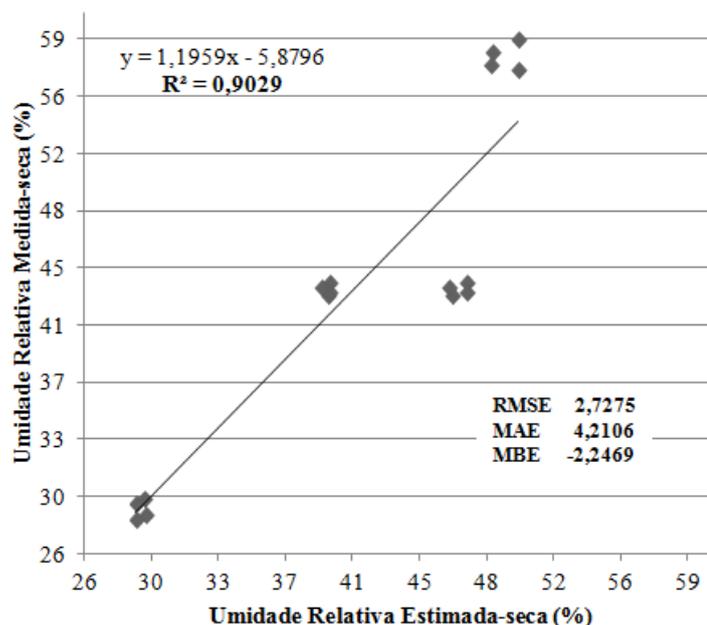


Figura 84 - Gráfico de dispersão da umidade relativa do ar no período úmido (estimada x modelada)



**Figura 85** - Gráfico de dispersão da umidade relativa do ar no período seco (estimada x modelada)

A qualidade do modelo ENVI-Met, na estimativa em microescala da variável umidade do ar, no período úmido, não é tão expressiva quanto da temperatura do ar. No entanto o  $R^2$  elevado, identificado nas equações de regressão, apresenta padrões horizontais semelhantes, evidenciando que a dinâmica da umidade foi bem reproduzida, mesmo nesta variável. Os valores de RMSE, MAE e MBE confirmam a elevada distância entre os valores medidos e estimados pelo modelo, sendo este último, em todos os casos, inferior ao medido no transecto, principalmente no período úmido. Estes valores, no entanto, são inferiores ao observado no modelo de validação, evidenciando que o modelo Califórnia conseguiu reproduzir com mais fidelidade os fenômenos atmosféricos da área de estudo.

Em geral, os resultados confirmam a validade do modelo ENVI-Met como uma ferramenta de previsão microclimática para o cenário proposto, possibilitando a sua utilização na estimativa dos efeitos do telhado vegetado nesta camada urbana.

#### 4.2.2.1. Definição das equações de calibração

Considerando os resultados obtidos nos dois modelos de validação, realizou-se a identificação das equações de calibração que melhor representam os resultados reais. A escolha se fundamentou nos parâmetros estatísticos, definidos pelos indicadores RMSE, MAE e MBE, que determinam as regressões com menor ou maior erro.

Desta forma as equações Equação 8, 9, 10 e 11 representam as correções realizadas nos dados de saída do modelo, relacionadas respectivamente a: temperatura e umidade relativa do ar no período úmido e do período seco, respectivamente.

a) Temperatura do ar – período úmido

$$T_u = 1,1555t_{eu} + 0,56 \quad \text{Equação 8}$$

em que  $T_u$  representa a temperatura do ar corrigida no período úmido e  $t_{eu}$  a temperatura estimada pelo modelo no período úmido.

b) Umidade relativa do ar – período úmido

$$UR_u = 1,0198ur_{eu} + 13,271 \quad \text{Equação 9}$$

em que  $UR_u$  representa a umidade relativa do ar corrigida no período úmido e  $UR_{eu}$  a umidade relativa estimada pelo modelo no período úmido.

c) Temperatura do ar – período seco

$$T_s = 1,7321t_{es} - 16,3006 \quad \text{Equação 10}$$

em que  $T_s$  representa a temperatura do ar corrigida no período seco e  $t_{es}$  a temperatura estimada pelo modelo no período seco.

d) Umidade relativa do ar – período seco

$$UR_s = 1,1959ur_{es} - 5,8796 \quad \text{Equação 11}$$

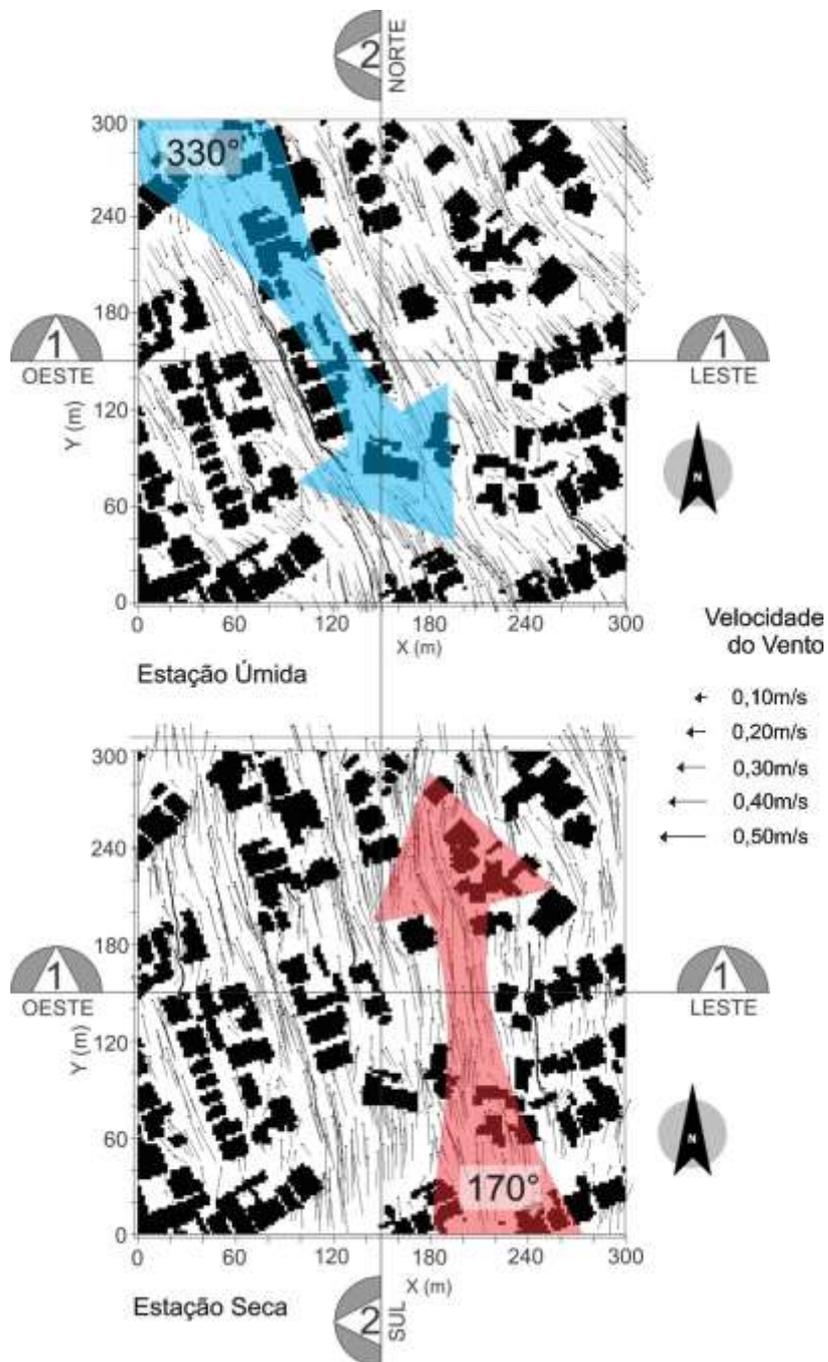
em que  $UR_s$  representa a umidade relativa do ar corrigida no período seco e  $UR_{es}$  a umidade relativa estimada pelo modelo no período seco.

Feitas as correções, tanto nos valores obtidos pelos receptores quanto nas escalas cromáticas dos mapas e cortes, estes últimos desenvolvidos no *software* Leonardo 3.75, foi possível a análise dos resultados apresentados pelo modelo.

### 4.3. EFEITOS DA VENTILAÇÃO NO MODELO

Os comportamento da ventilação, medida ao nível do pedestre (1,6m do chão), nos dois períodos do ano, pode ser observado na Figura 86. A variável é apresentada

através de um mapa de vetores desenvolvido no *software* Leonardo 3.75, no qual foi estabelecido um comprimento de vetor para cada velocidade, conforme especificado no mapa.



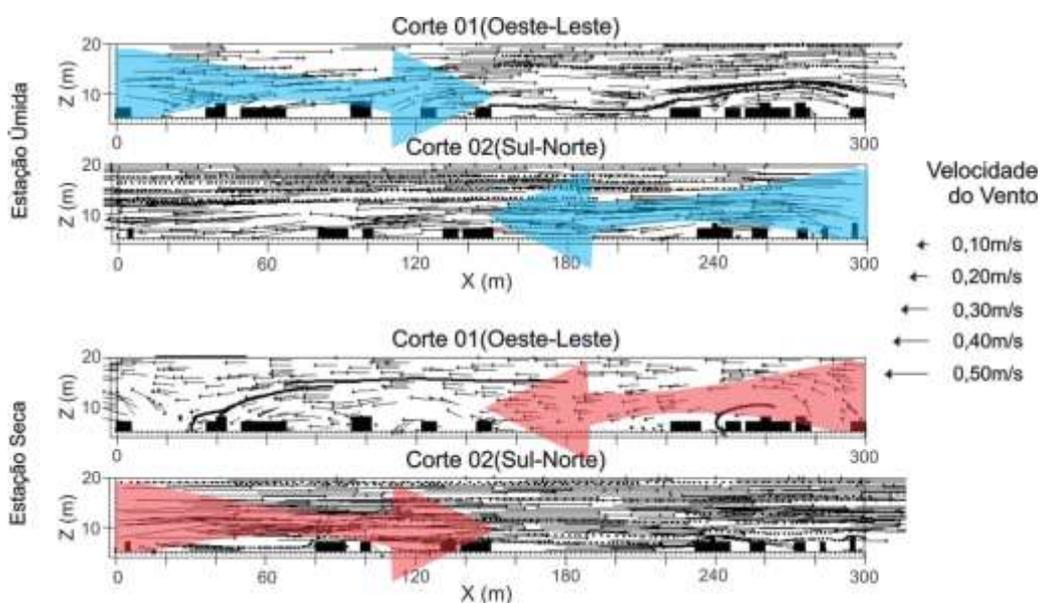
**Figura 86** - Comportamento da ventilação ao nível do pedestre nos dois períodos estudados

Conforme pode ser observado na Figura 86, para visualizar o comportamento vertical da ventilação foram elaborados dois cortes, oeste-leste (1) e sul-norte (2). Os

cortes interceptam a região de estudo na sua porção central, exatamente a 150m de distância da borda do cenário, nos dois sentidos.

Identifica-se no mapa, durante o período úmido, que a direção predominante do vento se dá a  $330^\circ$ , contados a partir do norte, no sentido horário, representada por uma seta azul. Esta direção predominante do vento intercepta o plano do Corte 1 através de um ângulo maior que no Corte 2, sendo de aproximadamente  $45^\circ$  no plano do Corte 1 e  $30^\circ$  no plano do Corte 2. É importante destacar que quanto menor o ângulo formado entre o vento predominante e o plano de corte, maior a influência da ventilação no comportamento das variáveis representadas neste corte (Figura 87).

Durante o período seco, a direção predominante do vento se dá a  $170^\circ$ , contados a partir do norte, no sentido horário, representada por uma seta vermelha. Esta direção predominante do vento intercepta o plano do Corte 1 através de um ângulo expressivamente maior que no Corte 2, sendo de aproximadamente  $85^\circ$  no plano do Corte 1 e  $5^\circ$  no plano do Corte 2. Neste caso a influência da ventilação é quase imperceptível no corte 1 enquanto no Corte 2 ela condiciona o comportamento de todas as variáveis (Figura 87).



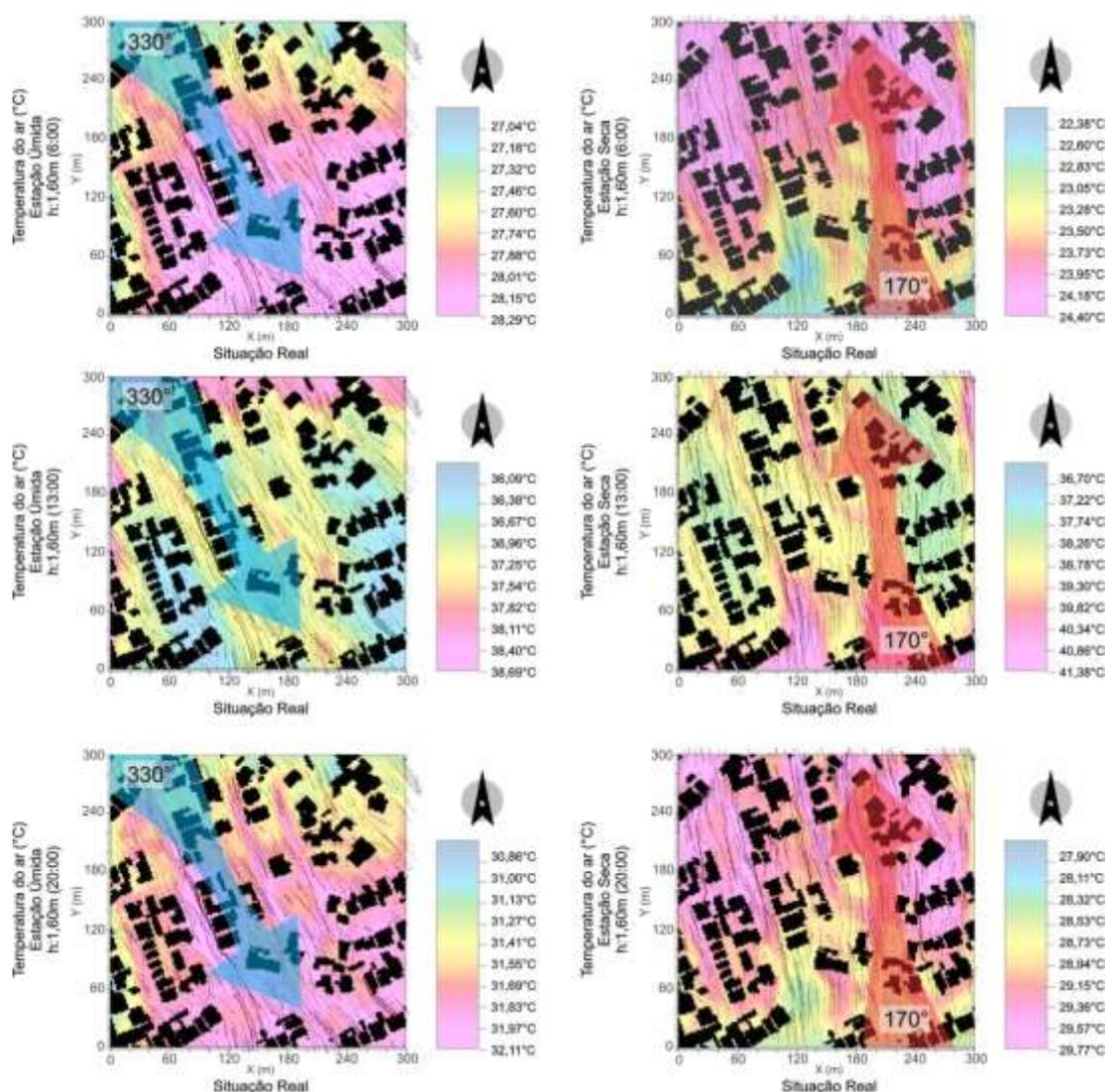
**Figura 87** - Comportamento da ventilação em corte, nos dois períodos estudados

#### 4.3.1. Temperatura do ar

Os efeitos da ventilação na temperatura do ar, medida ao nível do pedestre (1,6m do chão), nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 88. O

comportamento da variável, nos horários que caracterizam o fenômeno da ICU (6:00, 13:00 e 20:00), é apresentado através de mapas cromáticos desenvolvidos no *software* Leonardo 3.75, no qual foi estabelecido um valor de temperatura do ar para cada cor, conforme especificado no mapa.

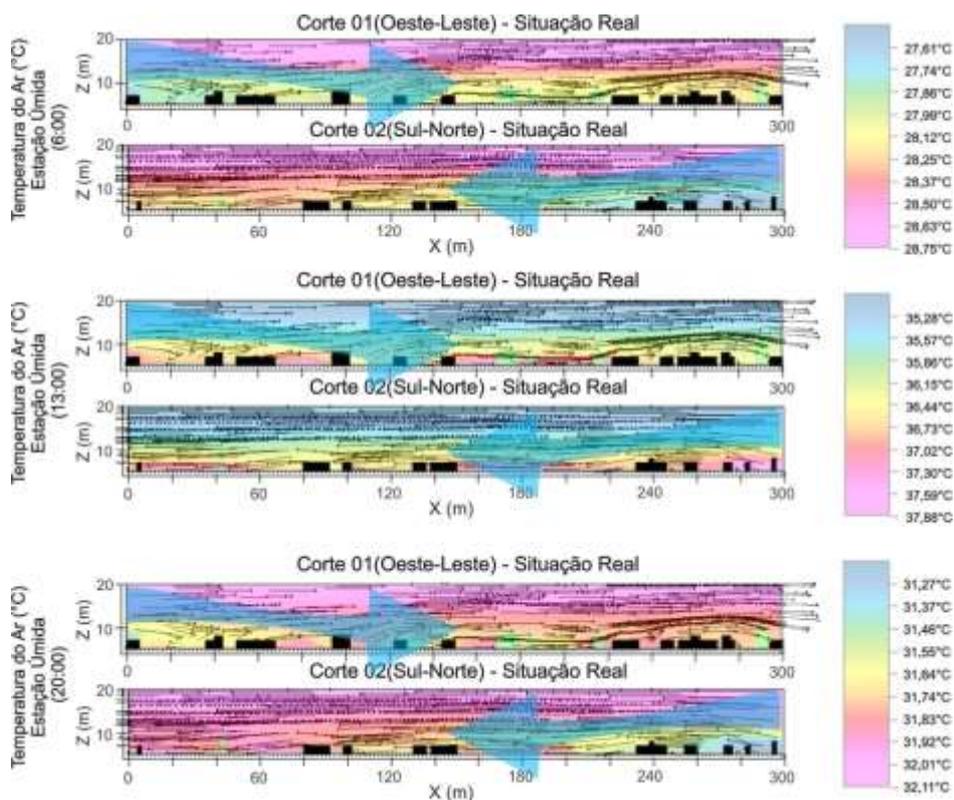
Nos períodos de menor temperatura do ar, às 6h e 20h, nos dois períodos do ano, a região de entrada da ventilação no modelo se apresenta com menores temperaturas do ar, enquanto que às 13h a situação se inverte e, considerando as elevadas temperaturas do ar carregado neste vento, a mesma região de entrada apresenta temperaturas mais elevadas que o restante do cenário.



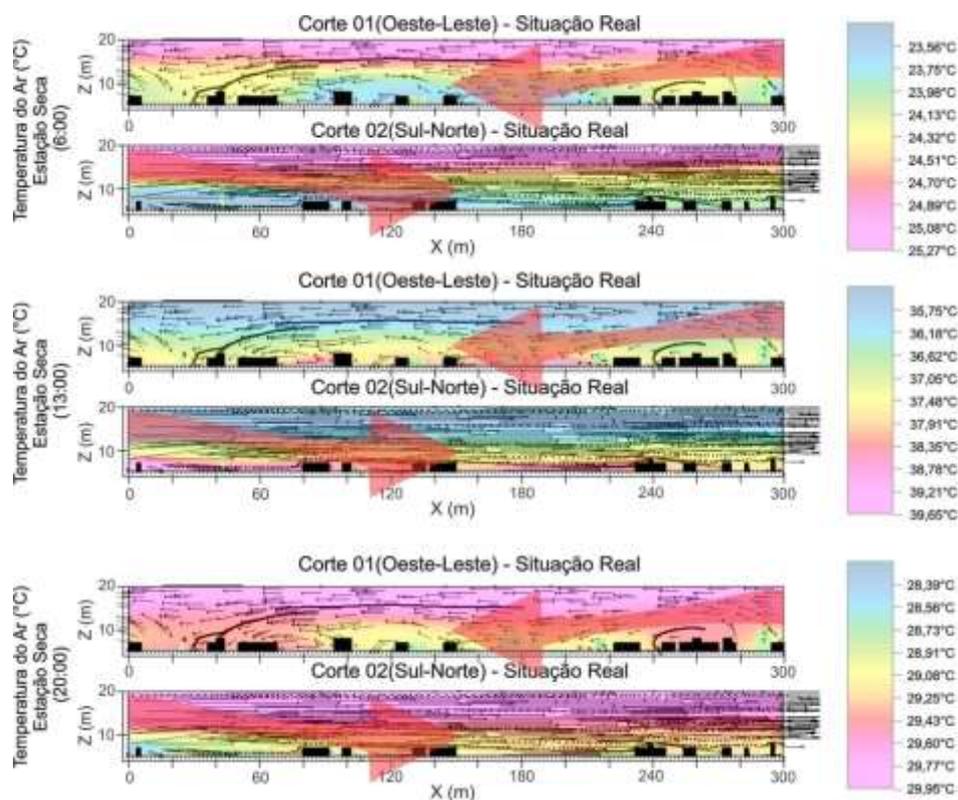
**Figura 88** - Efeitos da ventilação na temperatura do ar, nos dois períodos estudados

Identifica-se nos cortes, assim como nos mapas, a forte interferência da ventilação, tanto como mecanismo de resfriamento quanto de aquecimento do ar local.

No corte 01 estes efeitos são menos percebidos devido o elevado ângulo formado pela direção do vento predominante e o plano de intersecção vertical do corte. No corte 02, no entanto, os efeitos do fluxo do vento são visivelmente perceptíveis nos desenhos cromáticos da temperatura do ar (Figura 89 e Figura 90), evidenciado pelo comprimento mais elevado dos vetores representativos da direção do vento.



**Figura 89** - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período úmido

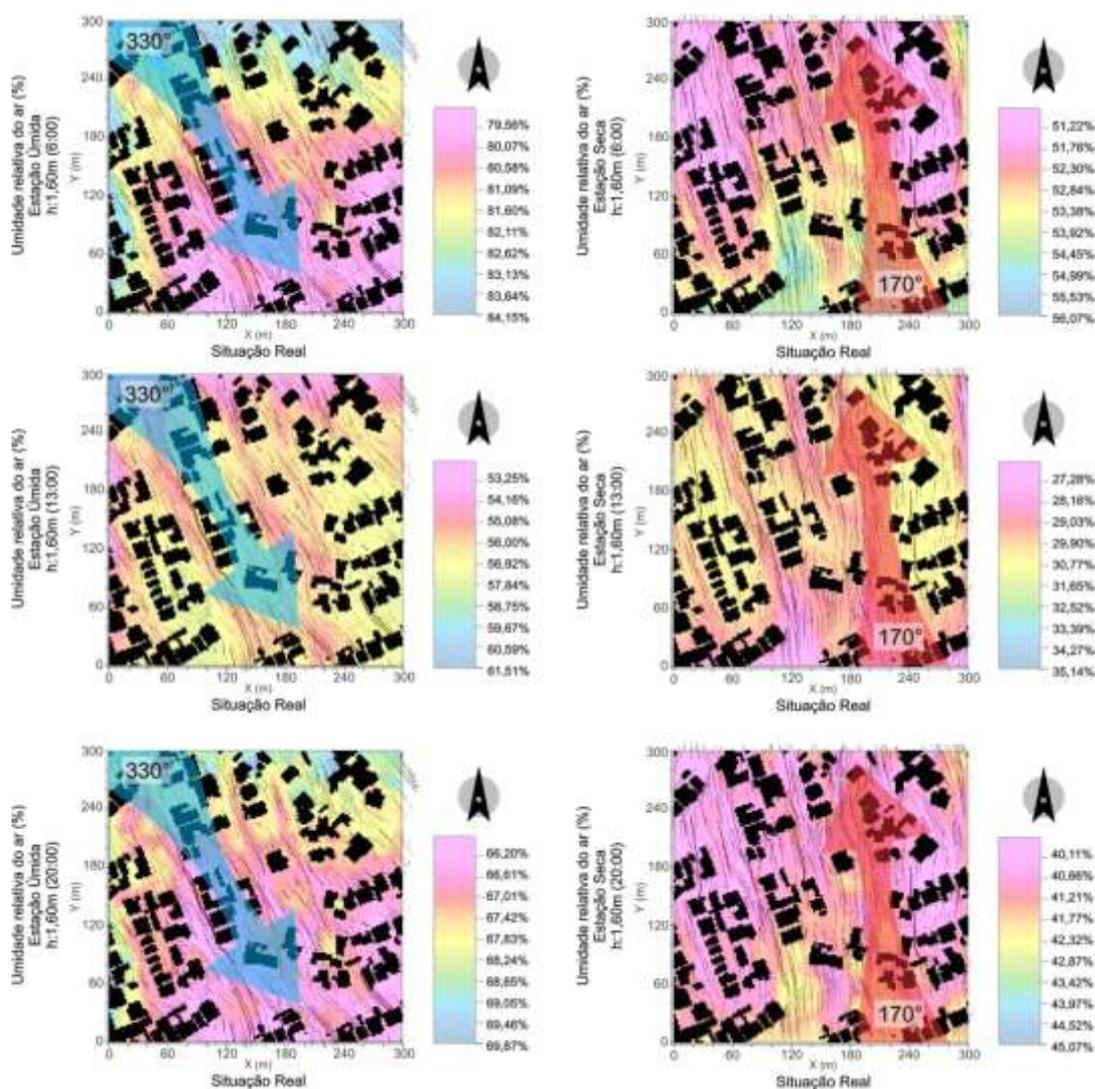


**Figura 90** - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período seco

Assim como nos mapas, os cortes referentes aos horários de menores temperaturas do ar, 6h e 20h, apresentam um efeito de resfriamento pela entrada do vento no cenário, enquanto às 13h, o efeito da entrada da ventilação provoca elevação na temperatura do ar da região.

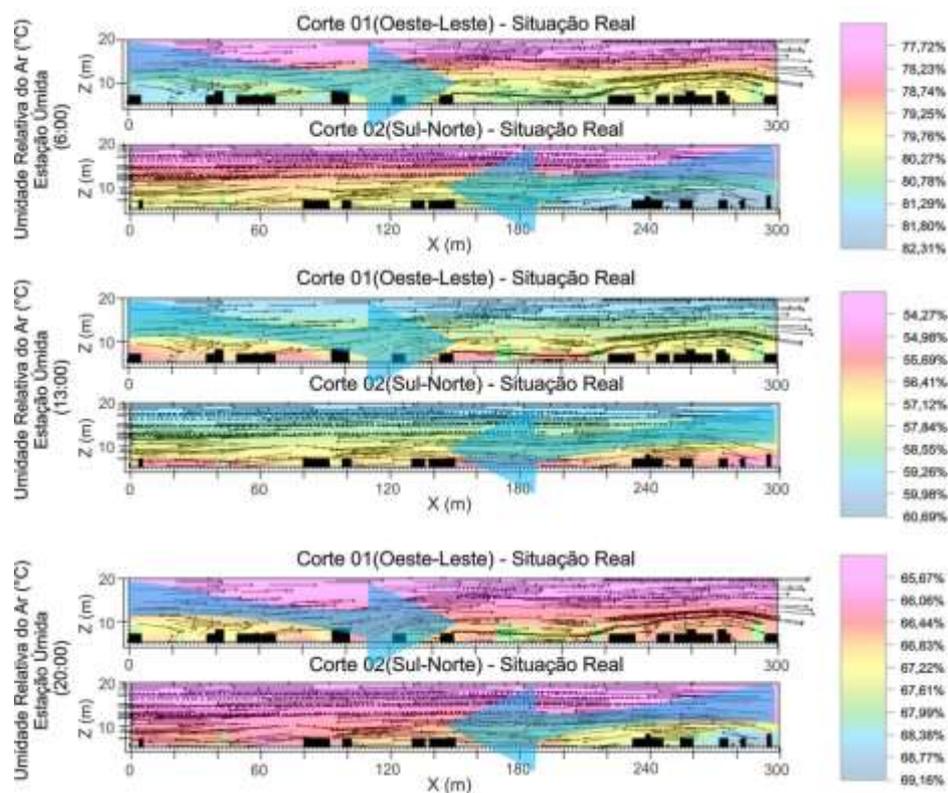
#### 4.3.2. Umidade relativa do ar

Assim como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar sofre a influência direta da ventilação (Figura 91), sendo observados maiores valores de umidade na região de entrada do vento no modelo às 6h e 20h, enquanto às 13h, esta mesma região apresenta os menores valores de umidade. Os motivos para este comportamento se deve a temperatura do ar nestes horários, caracterizando assim maior umidade relativa do ar para a atmosfera com menor temperatura.



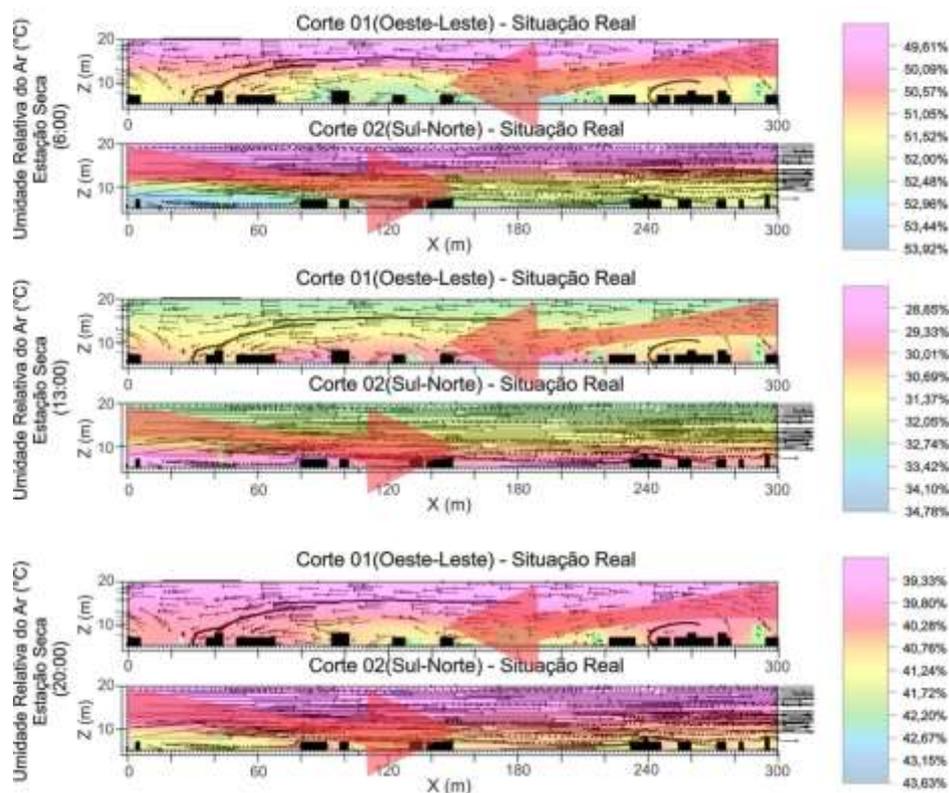
**Figura 91** - Efeitos da ventilação na umidade relativa do ar, nos dois períodos estudados

Observa-se nos cortes (Figura 92 e Figura 93) a forte interferência da ventilação, tanto como mecanismo de umidificação quanto de desumidificação do ar local. Os cortes referentes ao horário das 6h e 20h, apresentam um efeito de umidificação pela entrada do vento no cenário, enquanto às 13h, o efeito da entrada da ventilação provoca redução na umidade relativa do ar da região, nos dois períodos estudados.



**Figura 92** - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período úmido

Esta interferência da ventilação é confirmada por Peng e Jim (2013), segundo os autores a direção do vento influencia na distribuição horizontal dos efeitos de resfriamento e umidificação. As áreas localizadas na direção a favor do vento (norte-verão e sul-inverno) têm melhor refrigeração, devido ao fluxo de ar frio proveniente deste vento.



**Figura 93** - Efeitos verticais da ventilação na temperatura do ar, no período seco

Durante o período seco (Figura 93) o efeito da ventilação no Corte 2 é responsável pelo espalhamento da umidade presente no ar. Neste período modificações na umidade provocadas pela entrada da ventilação não são tão evidentes devido aos pequenos valores de umidade observados.

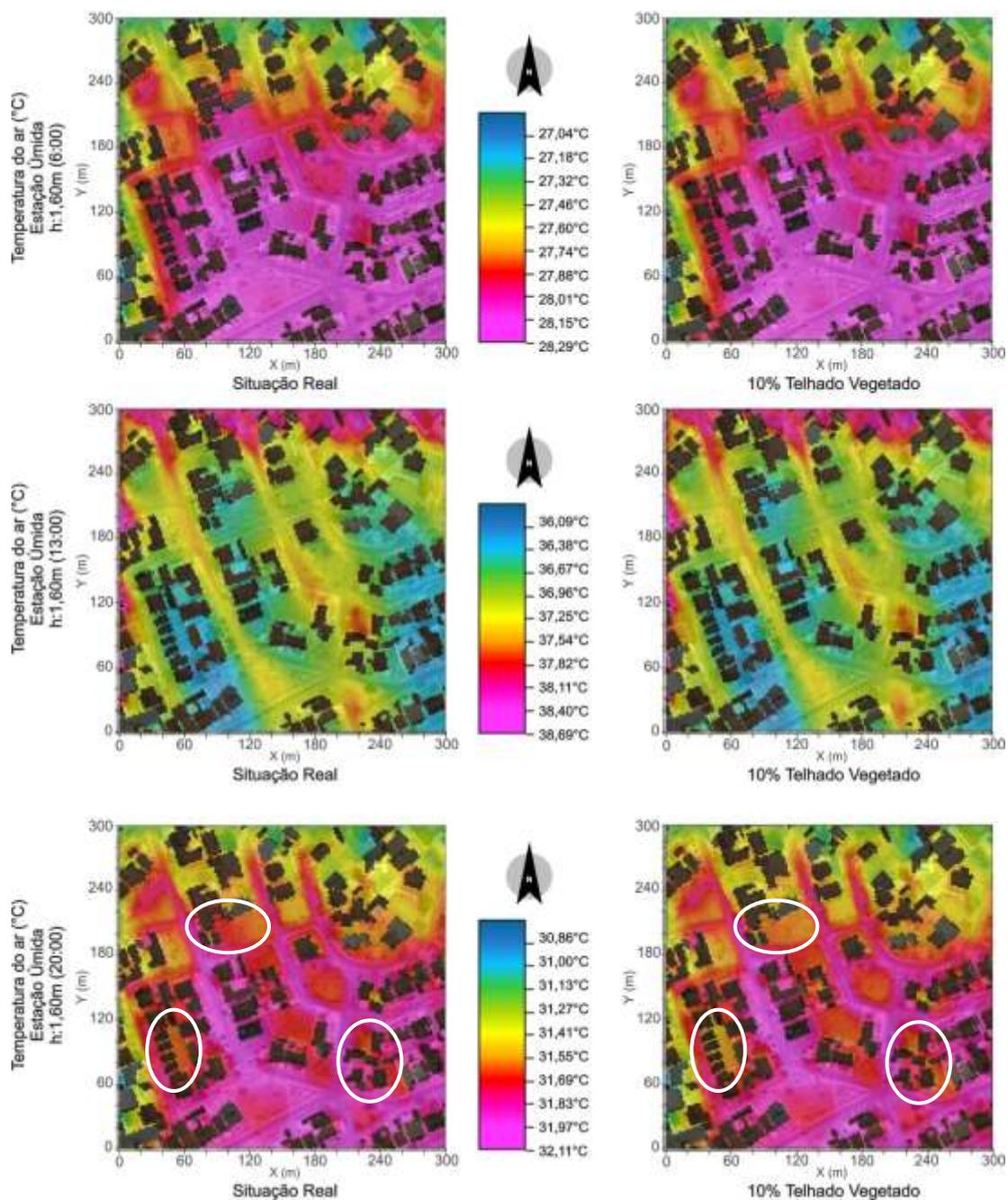
#### 4.4. EFEITOS DO TELHADO VEGETADO EM 10% DAS EDIFICAÇÕES

##### 4.4.1. Temperatura do ar

Os efeitos da incorporação da vegetação na temperatura do ar, medida ao nível do pedestre (1,6m do chão), nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 94 e 95. O comportamento da variável, nos horários que caracterizam o fenômeno da ICU (6:00, 13:00 e 20:00), é apresentado através de mapas cromáticos desenvolvidos no *software* Leonardo 3.75, no qual foi estabelecido um valor de temperatura do ar para cada cor, conforme especificado no mapa.

Para garantir a visualização mais detalhada dos efeitos do telhado vegetado no cenário em estudo, desenvolveu-se uma escala térmica diferenciada para cada horário do

dia, baseada nas temperaturas máximas e mínimas identificadas em cada horário, mantida constante para todos os cenários.



**Figura 94** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Os mapas não apresentam alterações expressivas na temperatura do ar nos horários das 6h e 13h, durante o período úmido. Isto não significa que a ocupação de 10% das edificações com o telhado vegetado não tenha provocado interferências na

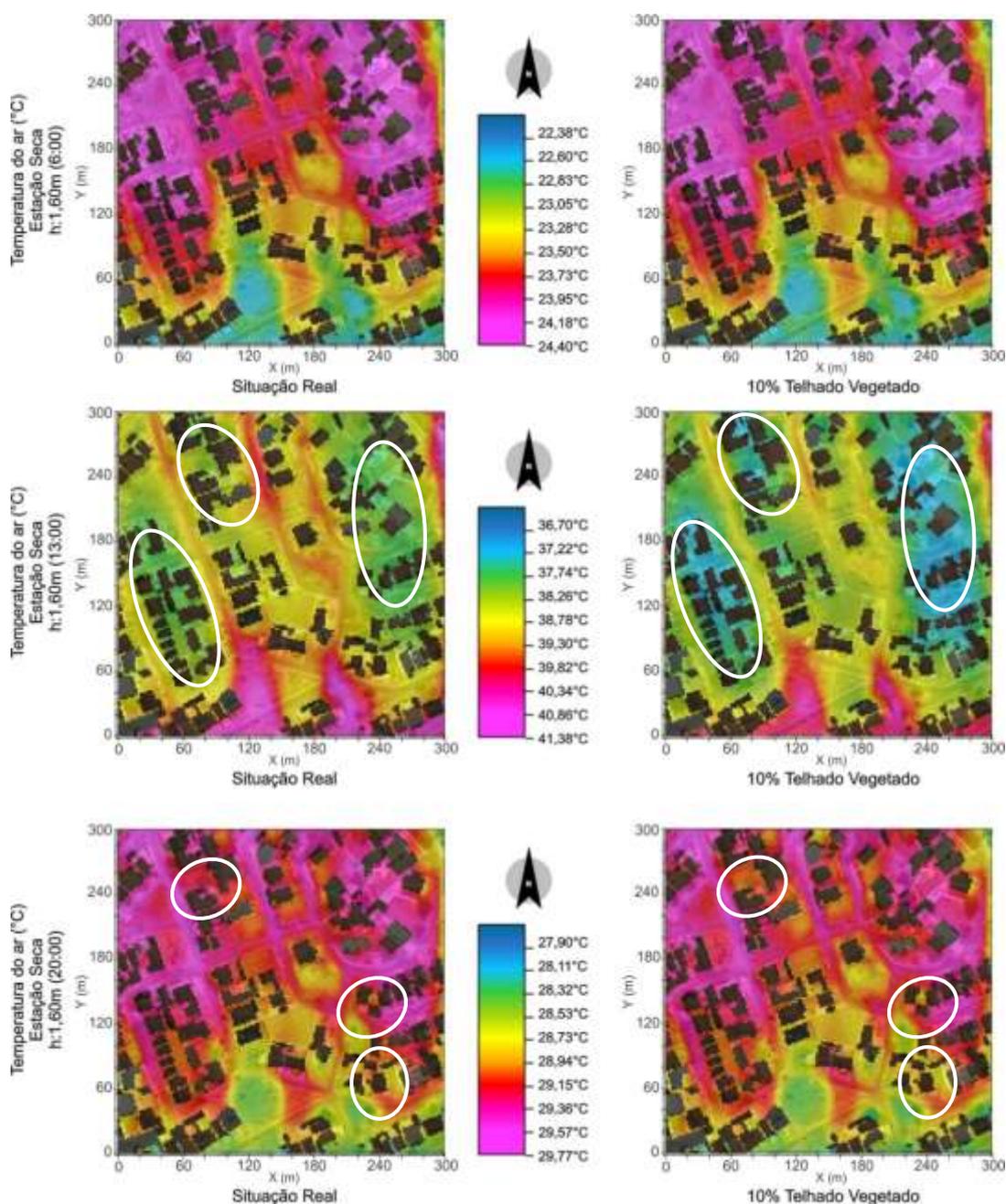
temperatura do ar, mas sim que, dentro da escala térmica utilizada nos mapas, à altura de 1,6m do nível do solo, estas alterações são pouco perceptíveis.

Às 20h observam-se, de forma um pouco mais expressiva, alterações cromáticas nas regiões indicadas no mapa, próximas aos edifícios que receberam a cobertura vegetada. Os locais que possuíam coloração avermelhada passam a ser representados por um tom mais alaranjado, enquanto as regiões antes alaranjadas passam para um tom mais amarelado, apresentando redução na temperatura do ar em torno de 0,14°C.

A abrangência da interferência da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações, no período úmido, ficou limitada aos quintais, localizados no entorno da cobertura vegetada, não chegando a provocar impactos expressivos no espaço das ruas e calçadas.

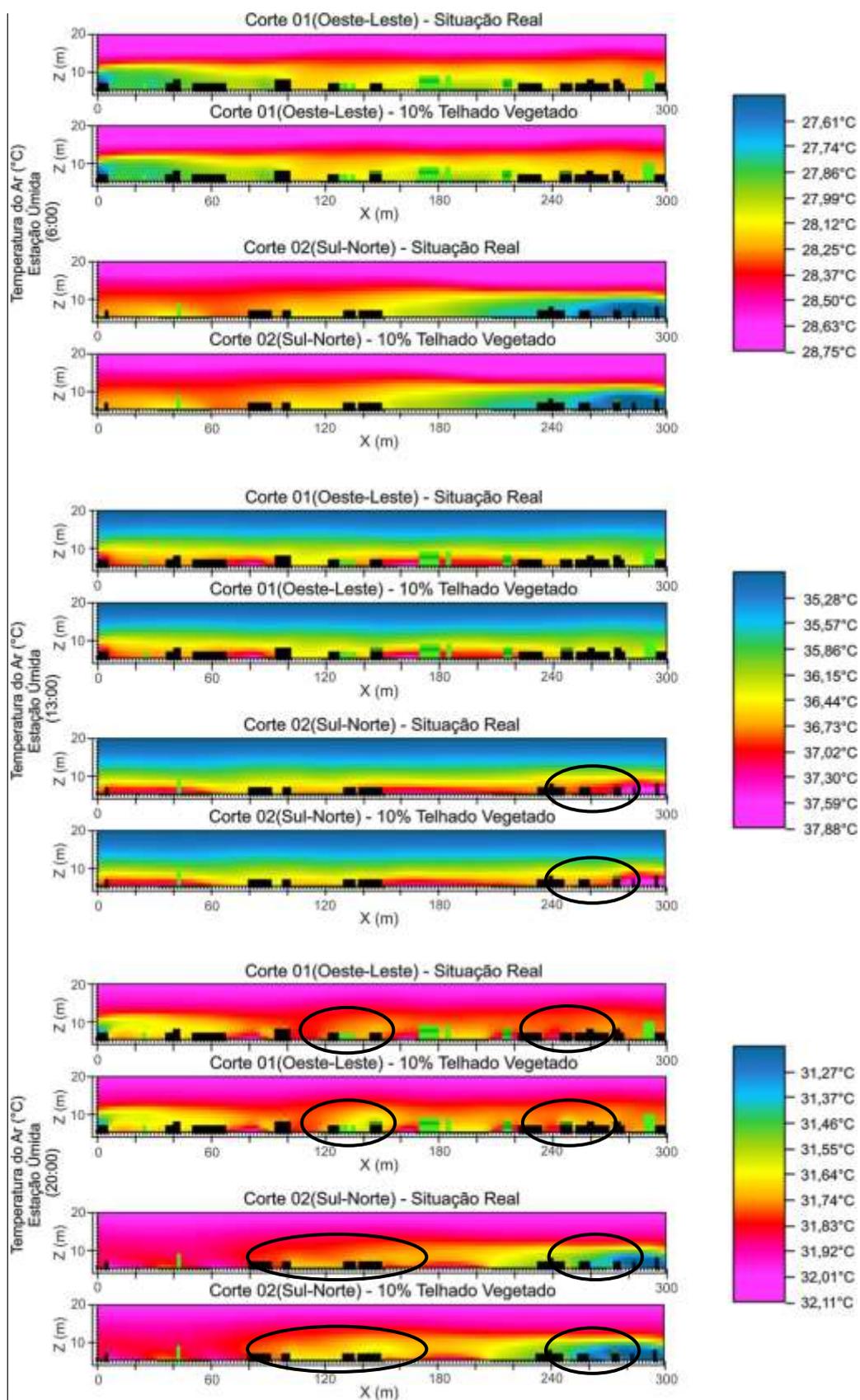
No período seco (Figura 95), às 6h, não verificam-se alterações expressivas na temperatura do ar. Às 13h, no entanto, identifica-se a alteração cromática de uma grande região localizada nas proximidades dos edifícios como um todo, caracterizando redução na temperatura do ar em torno de 0,72°C. É importante destacar que, apesar de a vegetação ocupar apenas 10% dos telhados, ela foi capaz de modificar o microclima de toda a área estudada, desde o interior dos lotes até a região central das ruas, neste período do ano.

Às 20h os efeitos do telhado são menos perceptíveis, estando localizados nas regiões mais próximas dos edifícios com a vegetação. Observam-se reduções na temperatura do ar em torno de 0,42°C neste horário.



**Figura 95** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O efeito vertical da incorporação da vegetação nos telhados foi observado através de dois cortes, transversal e longitudinal, nos dois períodos do ano (Figura 96 e 97). Os cortes interceptam a região de estudo na sua porção central, exatamente a 150m de distância da borda do cenário. Desenvolveu-se uma escala térmica diferenciada para cada horário do dia, baseada nas temperaturas máximas e mínimas identificadas em cada horário, mantida constante para todos os cenários.



**Figura 96** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

Os cortes não apresentam alterações expressivas na temperatura do ar às 6h, durante o período úmido. No entanto às 13h e 20h identificam-se alterações locais na distribuição cromática das figuras.

Às 13h, na região demarcada no corte 02, no entorno imediato da edificação com telhado vegetado, observa-se a redução da área representada pelo tom avermelhado, sendo substituída por tons alaranjados e amarelados, este último principalmente na região acima da cobertura, sendo caracterizada redução da temperatura do ar de até 0,43°C. Não foram identificadas interferências do telhado vegetado na temperatura do ar representada no corte 01 para este horário.

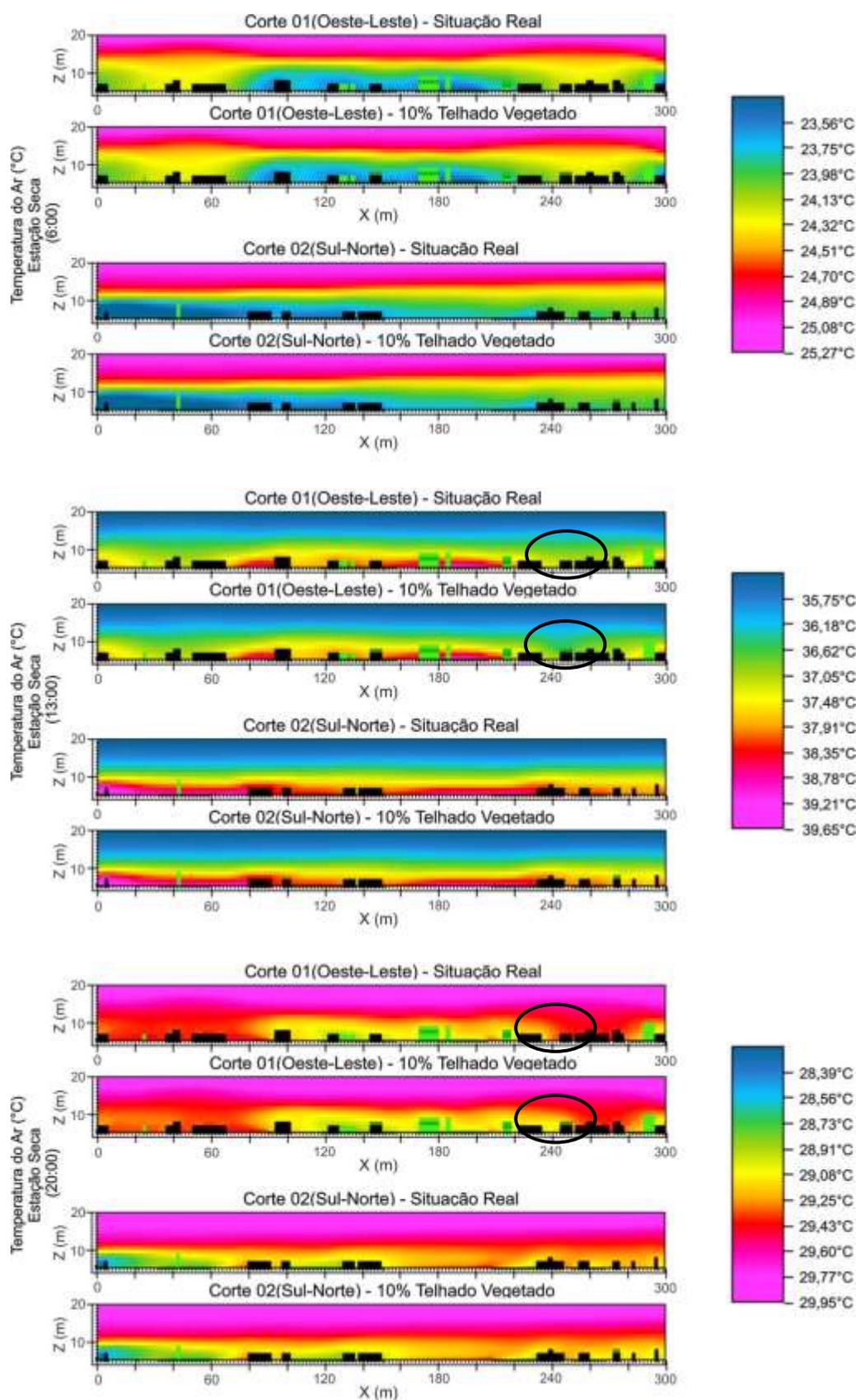
Às 20h, nos dois cortes, observam-se, de forma um pouco mais expressiva, alterações cromáticas nas regiões indicadas. No corte 01 é possível identificar duas regiões que sofreram interferência da cobertura vegetada. Observa-se, em todas elas, redução de até 0,38°C na porção imediatamente acima da cobertura e de até 0,28°C ao nível dos quintais. No corte 02 o alcance dos efeitos do telhado vegetado é intensificado devido à ventilação, possibilitando que regiões mais distantes da cobertura percebam seus efeitos. Neste corte identifica-se redução de até 0,19°C na temperatura do ar ao nível dos quintais, não sendo tão expressiva no nível acima dos telhados devido o efeito de mistura provocado pela ventilação.

Confirma-se que, de forma geral, no período úmido, a abrangência da interferência do telhado vegetado ficou limitada aos quintais localizados no entorno da cobertura vegetada e na própria superfície imediatamente acima da cobertura, não chegando a provocar impactos expressivos no espaço das ruas e calçadas.

No período seco também se observam alterações cromáticas nos cortes apenas às 13h e 20h. Diferentemente do seu comportamento em planta, as modificações na temperatura do ar só ocorrem nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, conforme indicado na Figura 97.

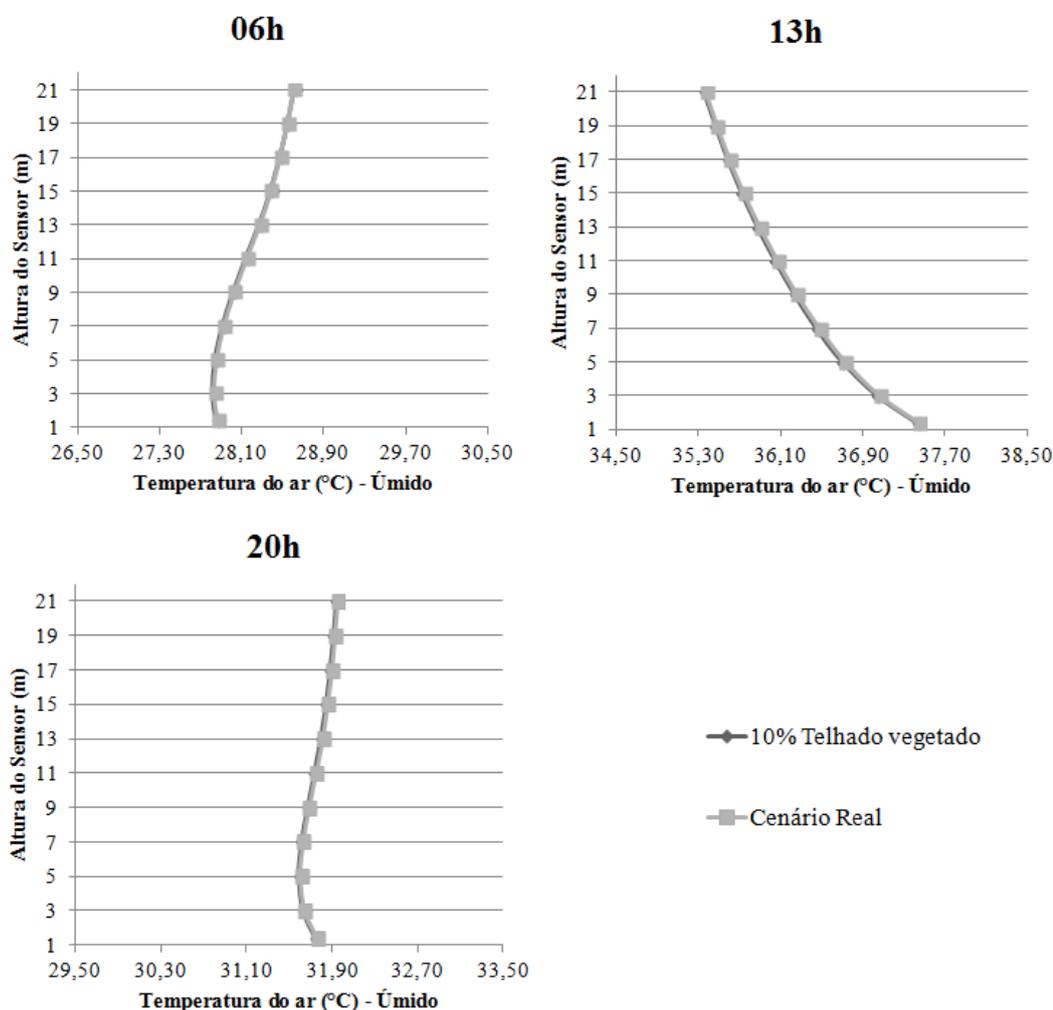
Observa-se ainda que os efeitos do telhado só podem ser identificados no corte 01, tanto às 13h quanto às 20h. Tal fato ocorre devido o forte espalhamento do ar provocado pela ventilação que, pela sua direção, é mais intensa no corte 02.

A incorporação do telhado vegetado em 10% dos edifícios provoca redução na temperatura do ar em torno de 1,07°C, às 13h, e 0,35°C, às 20h, durante o período seco, nas proximidades da cobertura e ao nível dos quintais, não sendo possível identificar impactos da vegetação em regiões mais afastadas.



**Figura 97** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

A partir dos resultados obtidos em cada receptor foi elaborado um perfil médio de temperatura, variando do nível do pedestre (1,6m) à 21m acima do nível do solo. As Figura 98 e 99 ilustram o alcance vertical os efeitos da incorporação da vegetação no telhado, tanto para a atmosfera abaixo, quanto acima da cobertura. As escalas térmicas utilizadas nos perfis, assim como nos mapas e cortes, foram definidas de forma específica para cada horário, permitindo a visualização mais detalhada do comportamento vertical da temperatura do ar nos dois cenários estudados (real e com 10% de telhado vegetado).

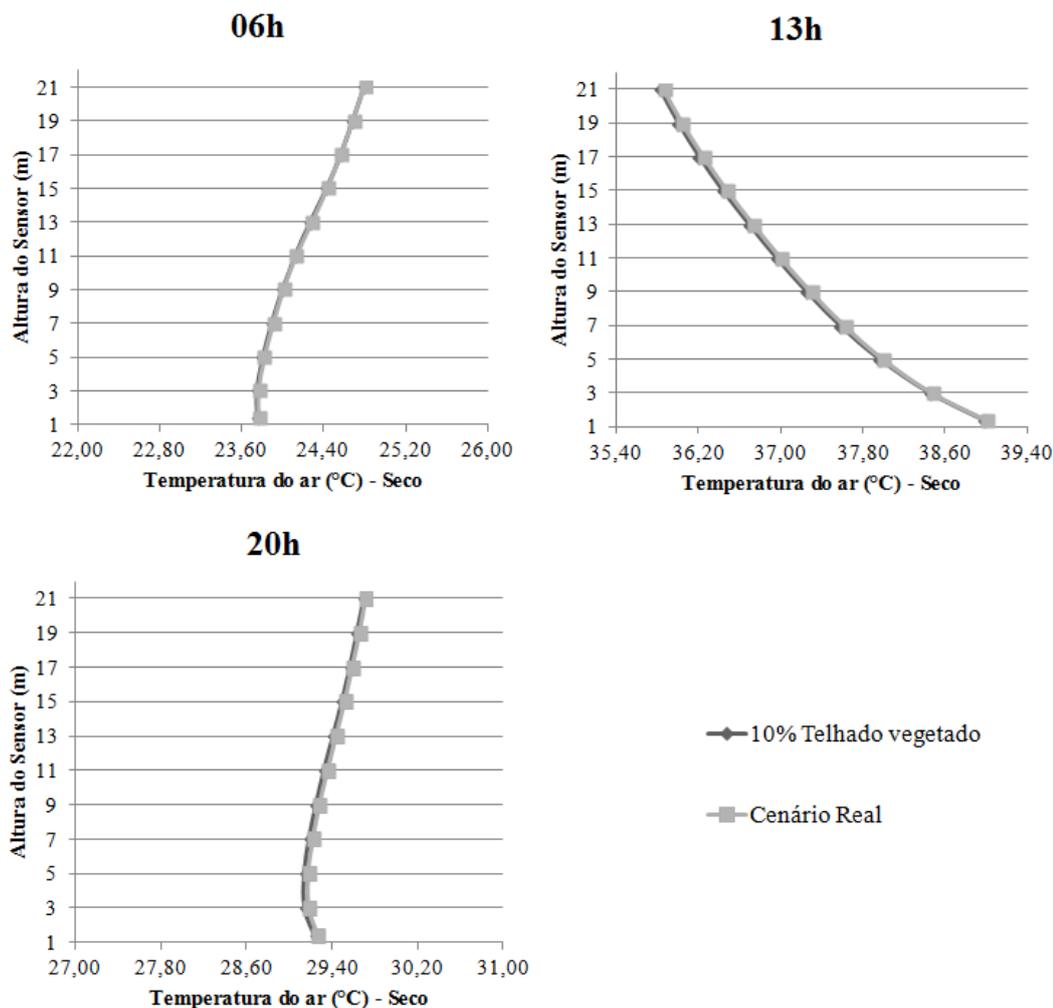


**Figura 98** - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período úmido, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real

Considerando que os receptores estão posicionados sobre os eixos carroçáveis das ruas, em uma porção intermediária entre o centro da via e a calçada, confirma-se,

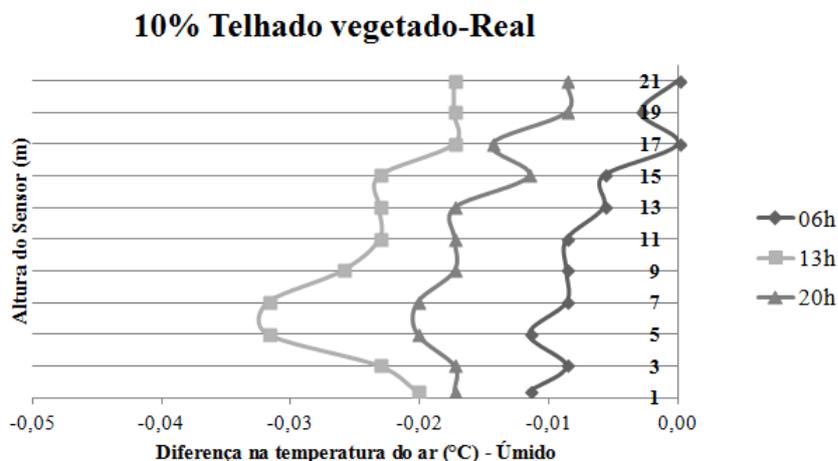
através dos perfis, a pequena influência do telhado vegetado sobre esta região, no período úmido.

Os resultados observados no período seco (Figura 99) evidenciam o mesmo padrão, não apresentando influência expressiva, da ocupação de 10% das coberturas das edificações por telhado vegetado, na região das ruas e calçadas, em nenhum período do dia.



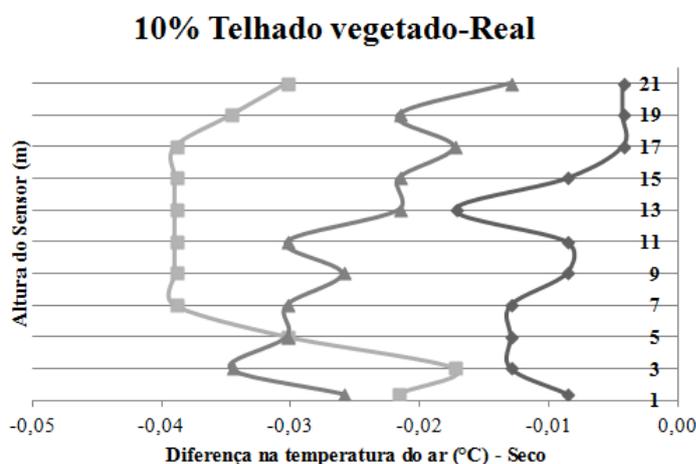
**Figura 99** - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período seco, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real

Quando analisa-se a diferença entre as temperatura observadas em cada cenário para cada horário de medição (Figura 100 e 101), identifica-se, no período úmido, maior redução na temperatura do ar ( $0,032^{\circ}\text{C}$ ) às 13h, na altitude entre 5m e 7m. Nesta mesma altitude observa-se as maiores diferenças de temperatura no período das 20h ( $0,02^{\circ}\text{C}$ ), sendo na altitude de 5m a maior diferença no período das 6h ( $0,012^{\circ}\text{C}$ ).



**Figura 100** - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido

No período seco, de forma geral, os efeitos do telhado vegetado na temperatura do ar são mais intensos. Observa-se maior redução na temperatura ( $0,04^{\circ}\text{C}$ ) às 13h, na altitude entre 7m e 17m. Aos 3m de altitude identifica-se as maiores diferenças de temperatura no período das 20h ( $0,035^{\circ}\text{C}$ ), sendo na altitude de 13m a maior diferença no período das 6h ( $0,017^{\circ}\text{C}$ ).

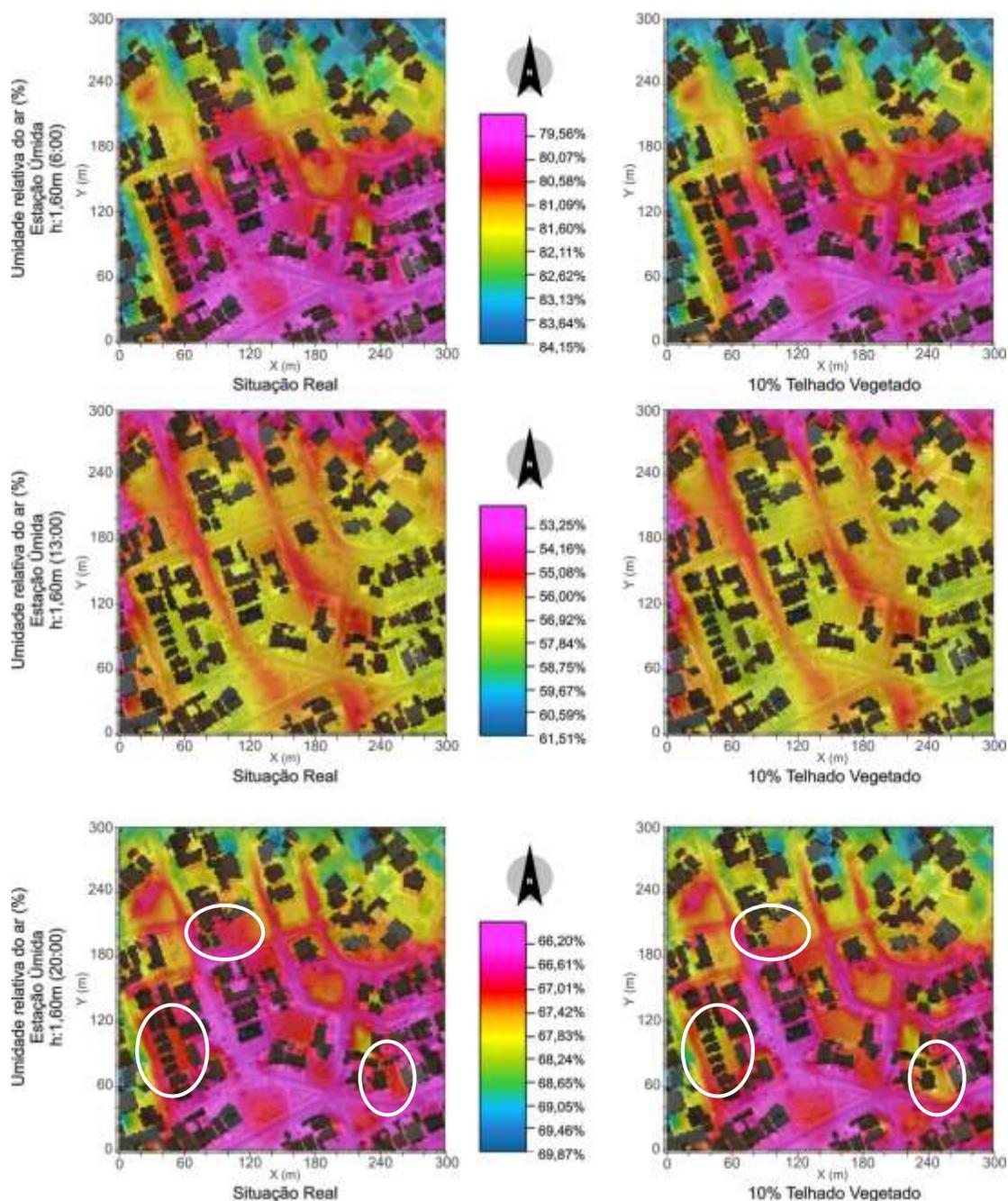


**Figura 101** - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco

O gráfico, apresentado na Figura 101, não apresenta um comportamento regular devido os efeitos de arredondamento das diferenças encontradas considerando ainda seus reduzidos valores. Além disso, em valores tão reduzidos, os efeitos de instabilidade numérica do modelo se sobressaem.

#### 4.4.2. Umidade relativa do ar

Os efeitos da incorporação da vegetação na umidade relativa do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 102 e 103. Desenvolveu-se uma escala de umidade diferenciada para cada horário do dia, baseada nos valores máximos e mínimos de umidade relativa do ar, identificados em cada horário, mantida constante para todos os cenários.



**Figura 102** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

A escala cromática utilizada para representar esta variável é invertida em relação à utilizada na variável de temperatura. Os maiores valores de umidade relativa do ar são representados pela cor azul, enquanto os menores pela cor magenta.

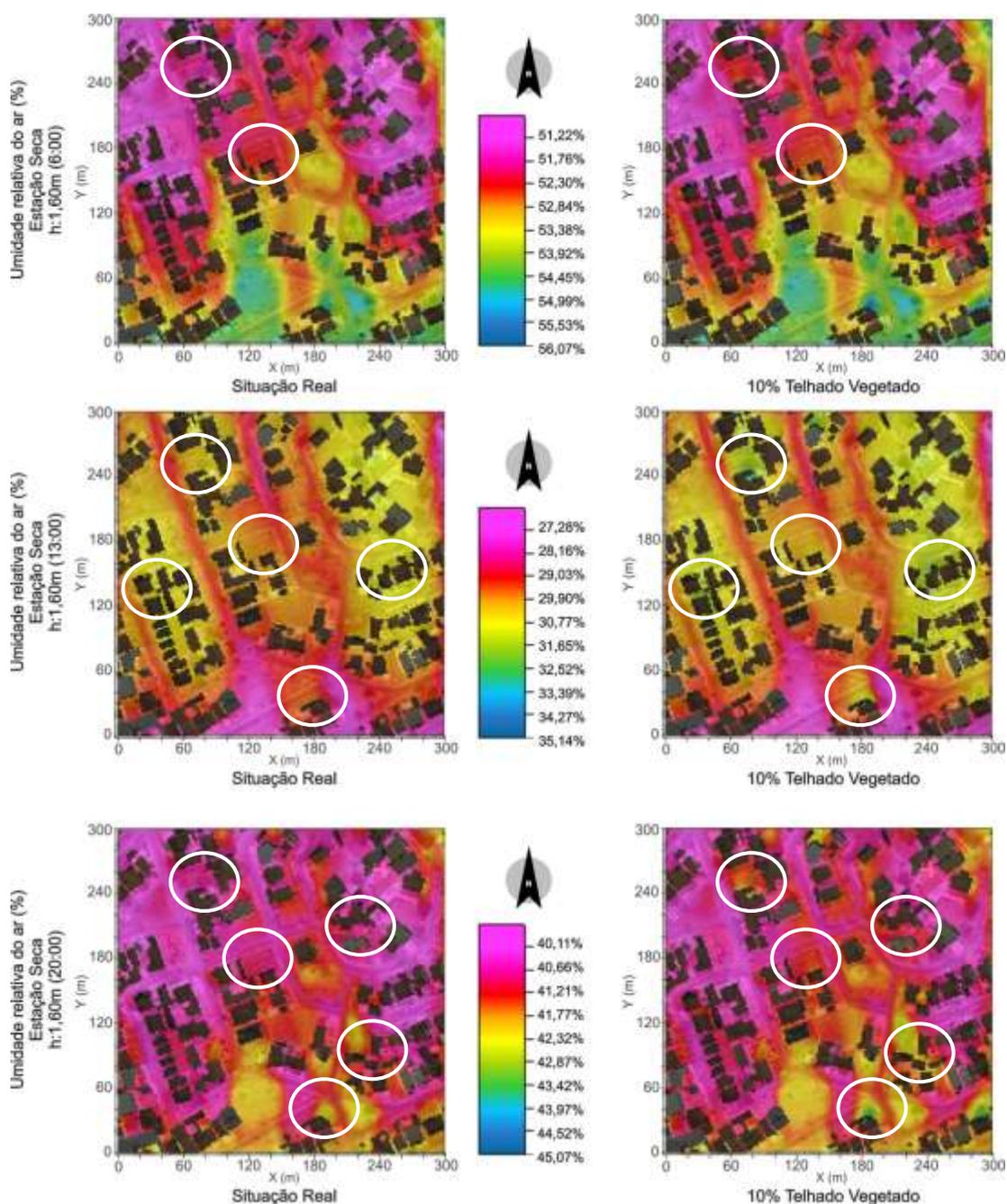
Os mapas não apresentam alterações expressivas na umidade relativa do ar nos horários das 6h e 13h, durante o período úmido. Às 20h observa-se, de forma mais expressiva, alterações cromáticas nas regiões indicadas no mapa, próximas aos edifícios que receberam a cobertura vegetada. Os locais que possuíam coloração avermelhada passam a ser representados por um tom mais amarelado, enquanto as regiões antes no tom magenta, passaram para o tom alaranjado, apresentando elevação na umidade relativa do ar de até 1,22%.

No período úmido, a abrangência da interferência da colocação do telhado vegetado em 10% das edificações, ficou limitada aos quintais localizados no entorno da cobertura vegetada, não chegando a provocar impactos expressivos no espaço das ruas e calçadas.

No período seco identificam-se alterações cromáticas nos mapas em todos os horários do dia. As modificações na umidade relativa do ar só ocorrem nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, conforme indicado na Figura 103.

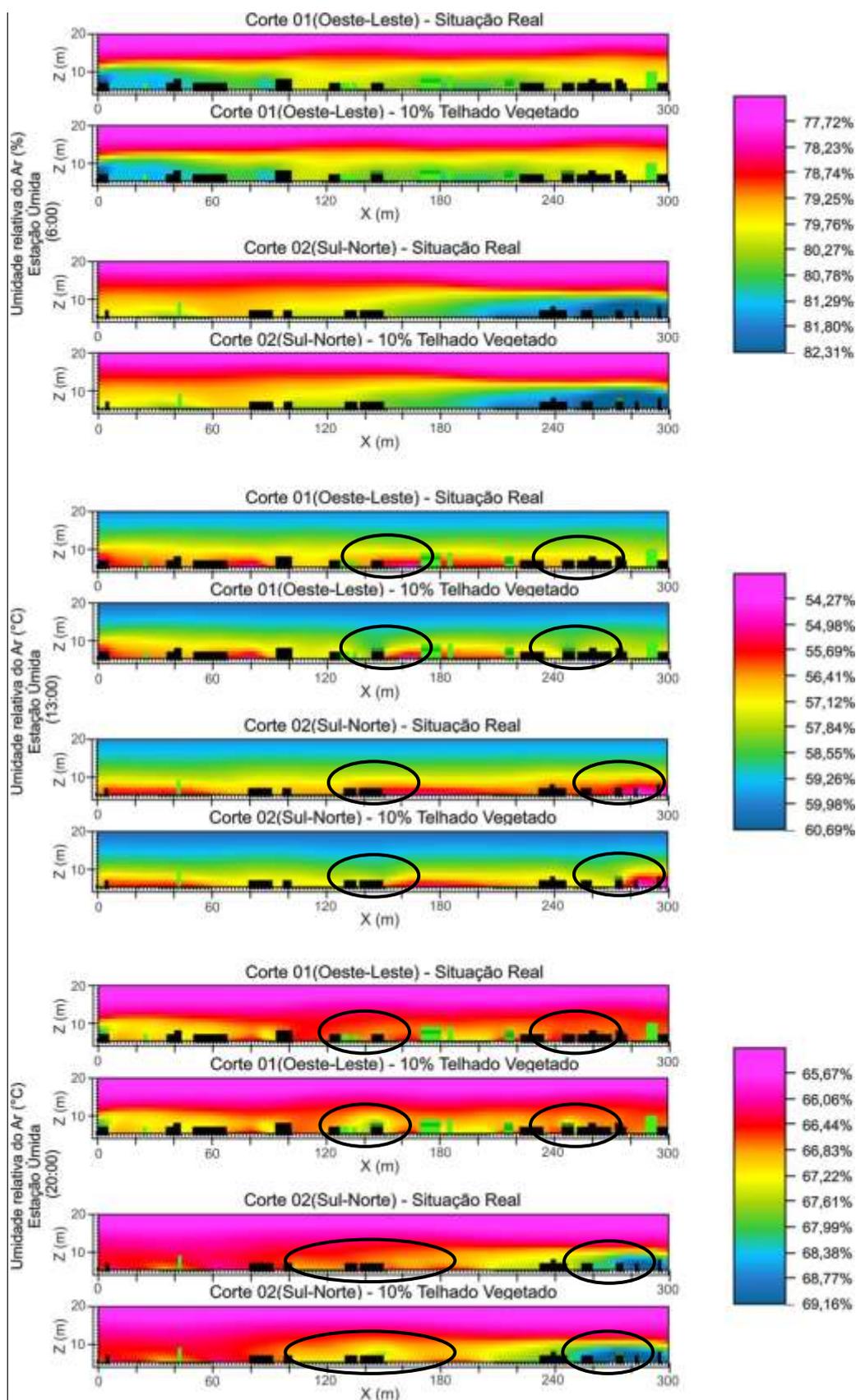
Às 6h observam-se poucos pontos com interferência do telhado vegetado, enquanto às 13h e 20h, identifica-se quantidade maior de regiões afetadas pelo telhado.

A incorporação do telhado vegetado em 10% dos edifícios provoca elevação na umidade relativa do ar em torno de 0,81%, às 6h, 1,75%, às 13h, e 1,66%, às 20h, durante o período seco, nas proximidades das edificações com cobertura vegetada.



**Figura 103** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O efeito vertical da incorporação da vegetação nos telhados foi observado pela Figura 104 e 105. Assim como nos mapas, para garantir a visualização mais detalhada dos efeitos do telhado vegetado no cenário em estudo, desenvolveu-se uma escala de umidade diferenciada para cada horário do dia, baseada nos valores máximos e mínimos de umidade identificados em cada horário, mantida constante para todos os cenários.



**Figura 104** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

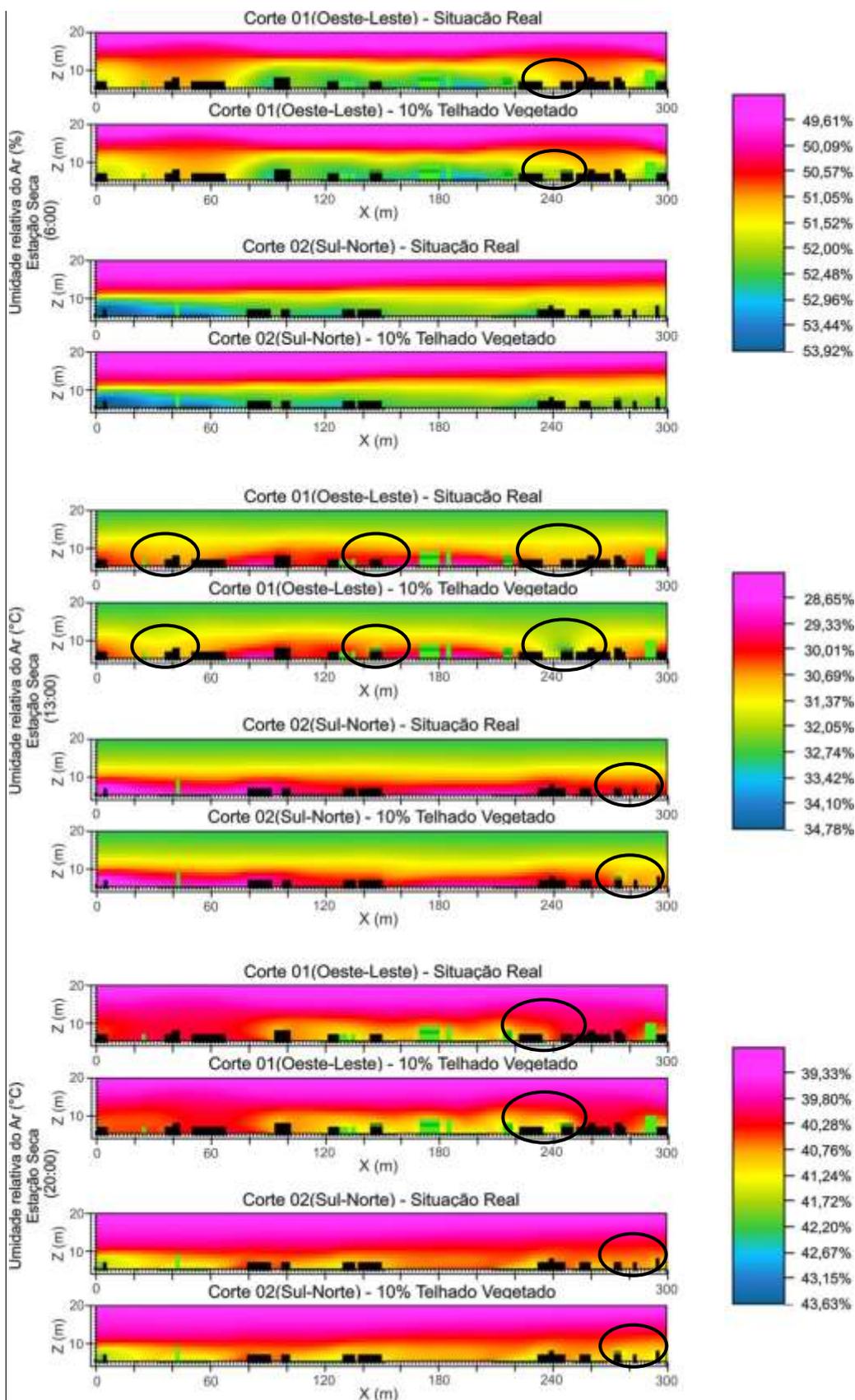
Os cortes não apresentam alterações expressivas na umidade relativa do ar, no horário das 6h, durante o período úmido. No entanto às 13h e 20h observam-se alterações locais na distribuição cromática dos cortes.

Às 13h, nas duas regiões demarcadas no corte 01, no entorno imediato à edificação com telhado vegetado, observa-se a área representada pelo tom alaranjado e amarelado, sendo substituída por tons esverdeados, este último principalmente na região acima da cobertura. Nestes pontos caracteriza-se aumento da umidade relativa do ar de até 2,50% no topo da cobertura e de 1,78% ao nível do pedestre. Neste mesmo horário, no corte 02, identificam-se efeitos um pouco mais espalhados devido à ação do vento predominante. No entanto, mesmo com o efeito de espalhamento, observa-se elevação na umidade relativa do ar de até 2,15% no topo das coberturas e de 1,43% ao nível do pedestre, no entorno imediato à edificação com telhado vegetado.

Às 20h, nos dois cortes, observa-se, de forma mais expressiva, alterações cromáticas nas regiões indicadas, no entanto a intensidade da alteração não é tão elevada quanto às identificadas no horário das 13h. No corte 01 é possível identificar duas regiões que sofreram interferência da cobertura vegetada. Observa-se, em todas elas, elevação de até 1,17% na umidade relativa do ar na porção imediatamente acima da cobertura e de até 1,00% ao nível dos quintais. No corte 02 o alcance dos efeitos do telhado vegetado é intensificado devido à ventilação, possibilitando que regiões mais distantes da cobertura percebam seus efeitos. Neste corte identifica-se elevação de até 0,78% na umidade relativa do ar, no topo das coberturas, e de 1,17% ao nível dos quintais, não sendo tão expressiva no nível acima dos telhados devido o efeito de mistura provocada pela ventilação.

Confirma-se que, de forma geral, no período úmido, a abrangência da interferência do telhado vegetado ficou limitada aos quintais localizados no entorno da cobertura vegetada e na própria superfície imediatamente acima da cobertura, não chegando a provocar impactos expressivos no espaço das ruas e calçadas.

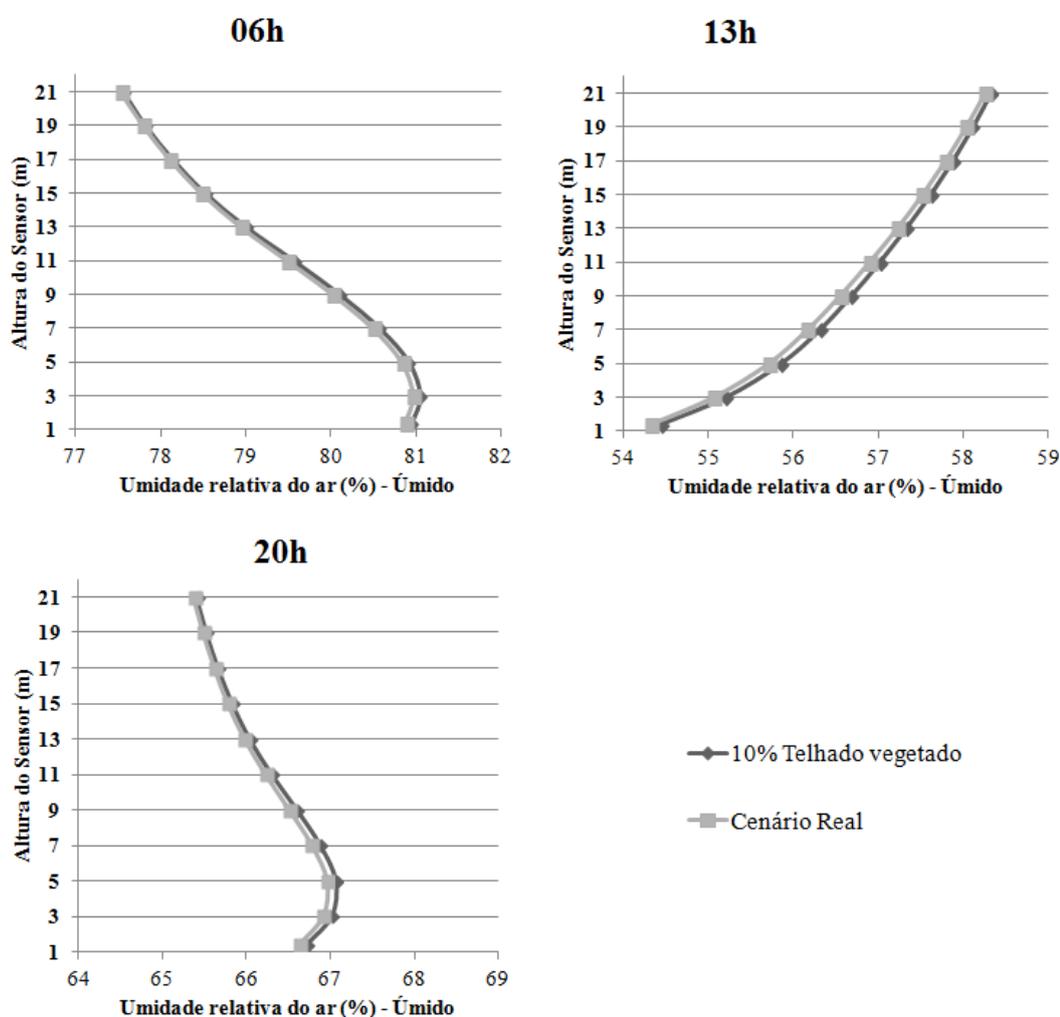
No período seco, em todos os horários do dia, identificam-se alterações, provocadas pela vegetação, na umidade relativa do ar, estando o alcance destas alterações limitado ao espaço de entorno imediato as coberturas vegetadas.



**Figura 105** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

No corte 01, observam-se elevações na umidade relativa do ar em torno de 0,95%, às 6h, 2,05%, às 13h e 1,20%, às 20h. No corte 02 os efeitos são minimizados pelo espalhamento provocado pela ventilação, no entanto ainda é possível identificar elevações na umidade em torno de 1,36%, às 13h e de 0,72%, às 20h. Considera-se que estas alterações são limitadas ao entorno imediato à edificação com telhado vegetado, tanto ao nível da cobertura quanto ao nível dos quintais.

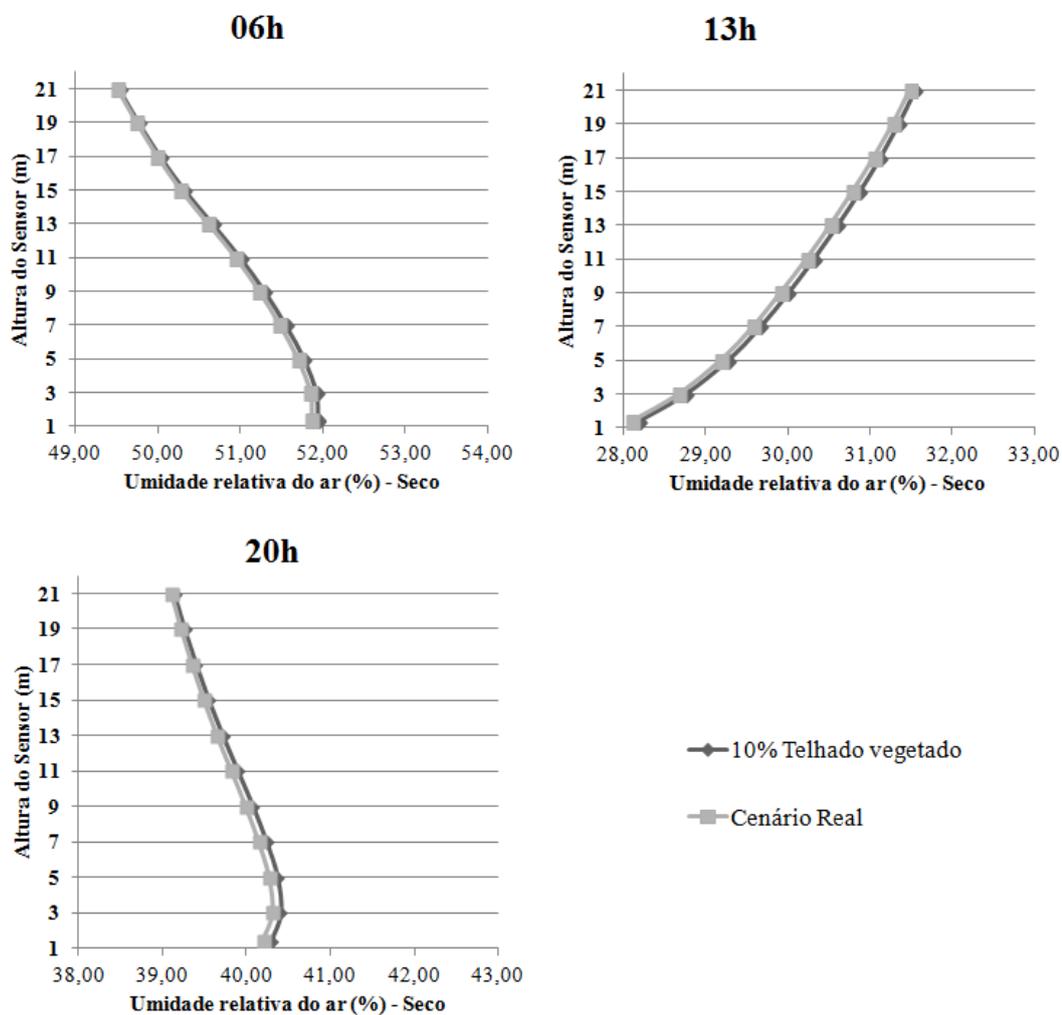
A partir dos resultados obtidos em cada receptor foi elaborado um perfil médio de umidade relativa do ar, variando do nível do pedestre à 21m acima do nível do solo. A Figura 106 e 107 ilustram o alcance vertical dos efeitos da incorporação da vegetação no telhado, tanto para a atmosfera abaixo, quanto acima da cobertura.



**Figura 106** - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período úmido, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real

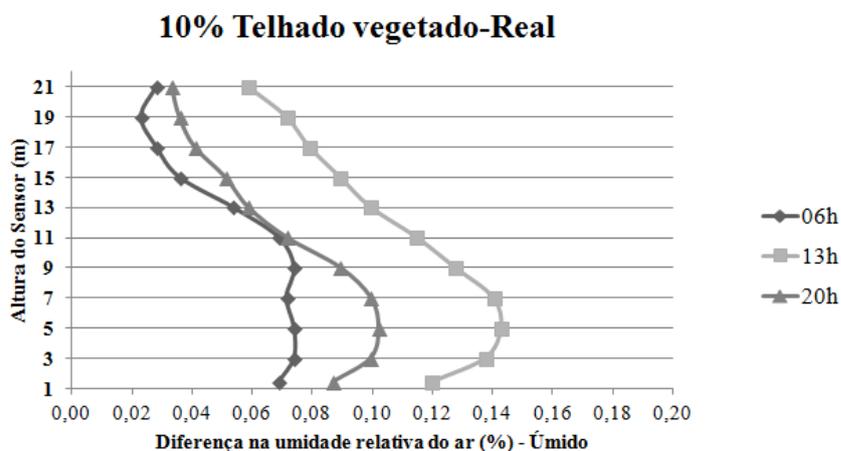
Nos dois períodos do ano, considerando que os receptores estão posicionados sobre os eixos carroçáveis das ruas, confirma-se, através dos perfis, a pequena influência

do telhado vegetado sobre esta região, considerando sua implantação em 10% das edificações.



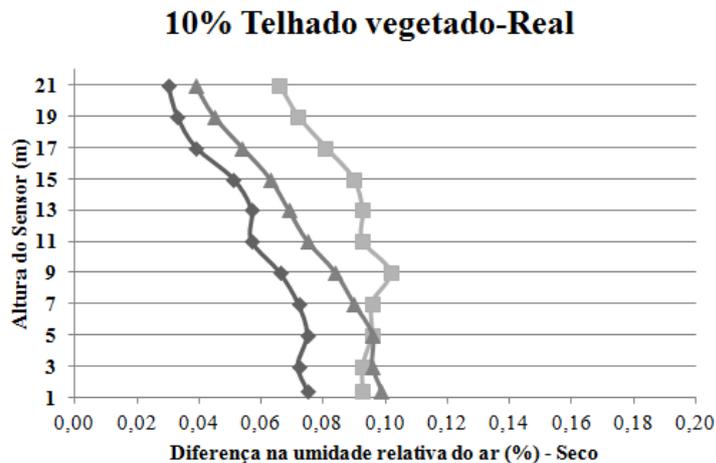
**Figura 107** - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período seco, cenário com 10% de telhado vegetado e cenário real

Quando analisa-se a diferença entre as umidades relativas observadas em cada cenário para cada horário de medição (Figura 108 e 109), observa-se, no período úmido, a maior elevação na umidade relativa do ar (0,145%) às 13h, na altitude de 5m. Nesta mesma altitude, identifica-se a maior diferença de umidade relativa às 20h (0,105%), no entanto, às 6h (0,075%), o efeito máximo de elevação da umidade se prolonga até os 9m de altitude.



**Figura 108** - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido

No período seco, a maior elevação na umidade relativa do ar (0,105%), ocorre às 13h, na altitude de 9m. Às 20h, observa-se a maior diferença de umidade relativa (0,10%) na altitude de 1,6m, e às 6h identifica-se aos 1,6m e 5m a maior diferença (0,075%).



**Figura 109** - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco

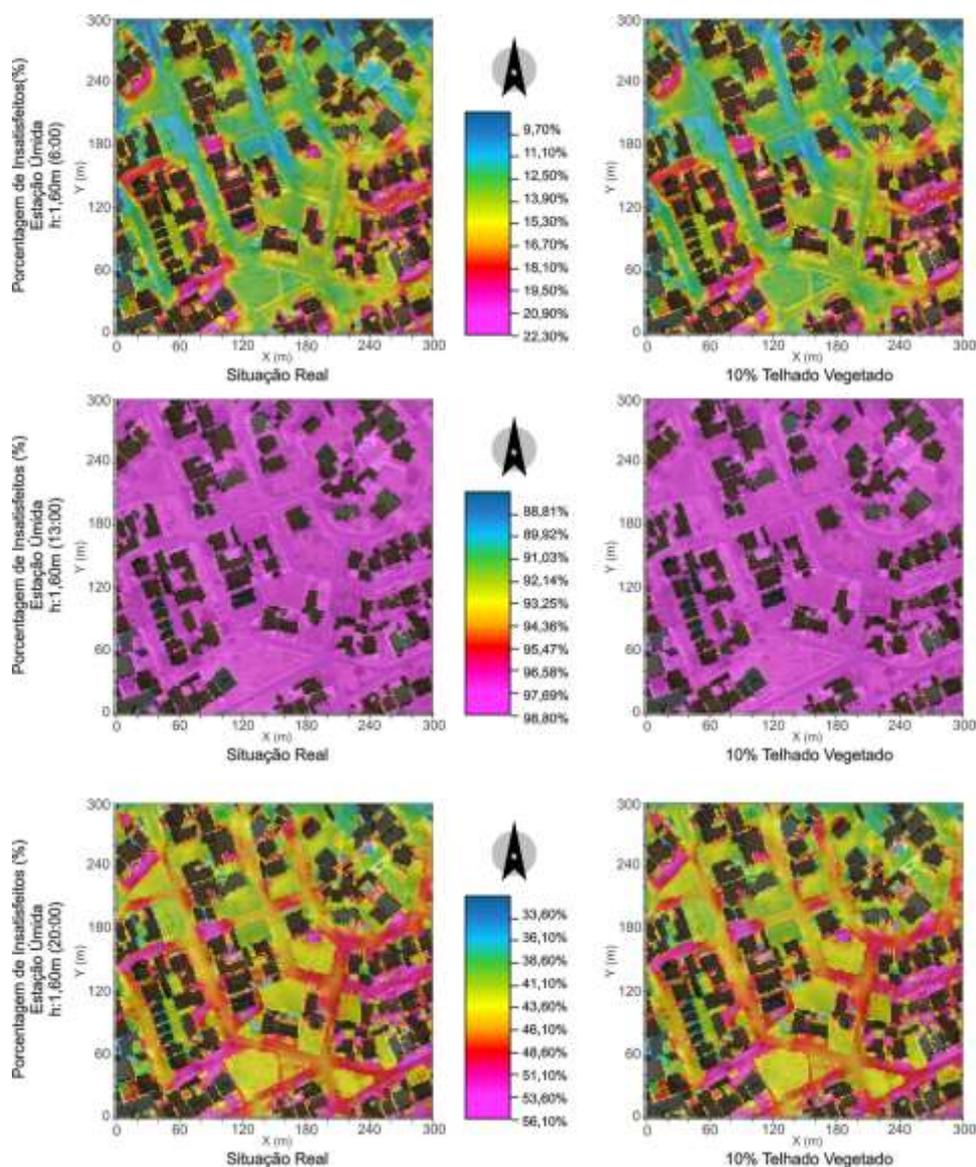
Identifica-se nos dois períodos um comportamento semelhante entre as diferenças na umidade relativa do ar nos horários das 6h e 20h, no entanto, às 13h, principalmente nas proximidades da superfície, foi no período úmido que observaram-se as maiores interferências do telhado vegetado na umidade.

Os cortes e perfis verticais evidenciam que o alcance dos efeitos do telhado vegetado não se dá somente de forma horizontal. Peng e Jim (2013) confirmam que estes

efeitos podem se estender até o chão, ou ainda a alguns metros acima do telhado, com a ajuda da advecção vertical.

#### 4.4.3. Conforto Térmico do pedestre

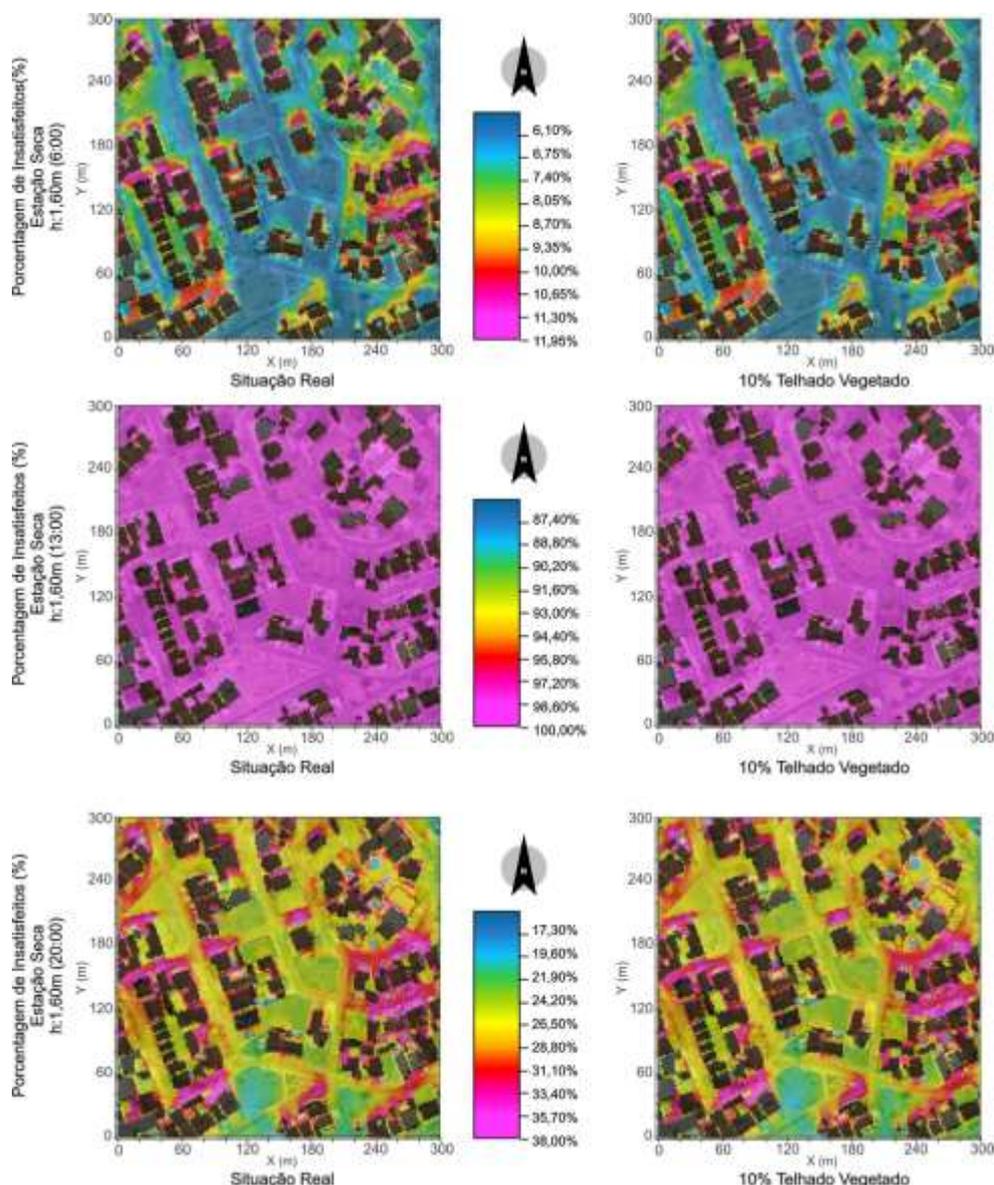
Os efeitos da incorporação da vegetação no conforto dos usuários, medido ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 110 e 111.



**Figura 110** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações no PPD durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Assim como a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, o PPI sofre a influência direta da ventilação, sendo identificadas menores proporções de pessoas insatisfeitas na região de entrada do vento no modelo, às 6h e 20h. Às 13h esta influência

não é tão expressiva devido às elevadas temperaturas do modelo como um todo, que, segundo a calibração do ENVI-Met, condiciona o desconforto a quase 100% dos pedestres.



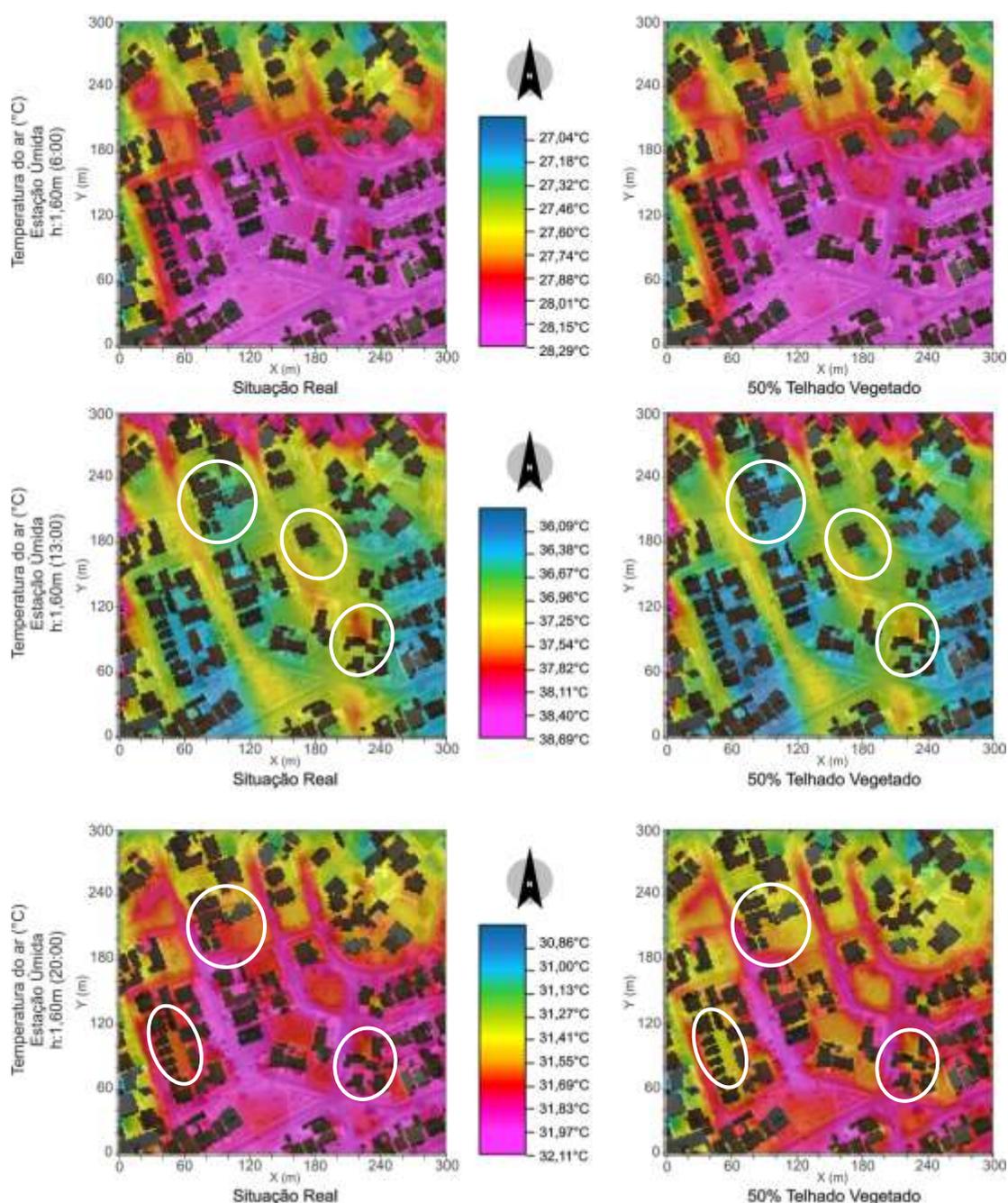
**Figura 111** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações no PPD durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Nos dois períodos do ano os mapas cromáticos não apresentam alterações expressivas no PPI, em nenhum horário do dia. Isto não significa que a ocupação de 10% das edificações com o telhado vegetado não tenha provocado interferências no índice de conforto dos pedestres, mas sim que, dentro da escala utilizada nos mapas, à altura de 1,6m do nível do solo, estas alterações são pouco perceptíveis.

## 4.5. EFEITOS DO TELHADO VEGETADO EM 50% DAS EDIFICAÇÕES

### 4.5.1. Temperatura do ar

Os efeitos da incorporação da vegetação na temperatura do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 112 e 113. A escala térmica utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições do cenário anterior, com 10% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 112** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Às 6h os mapas térmicos não apresentam alterações expressivas na temperatura do ar, enquanto às 13h e 20h identificam-se vários pontos de alteração cromática, sendo, alguns deles, sinalizados na figura.

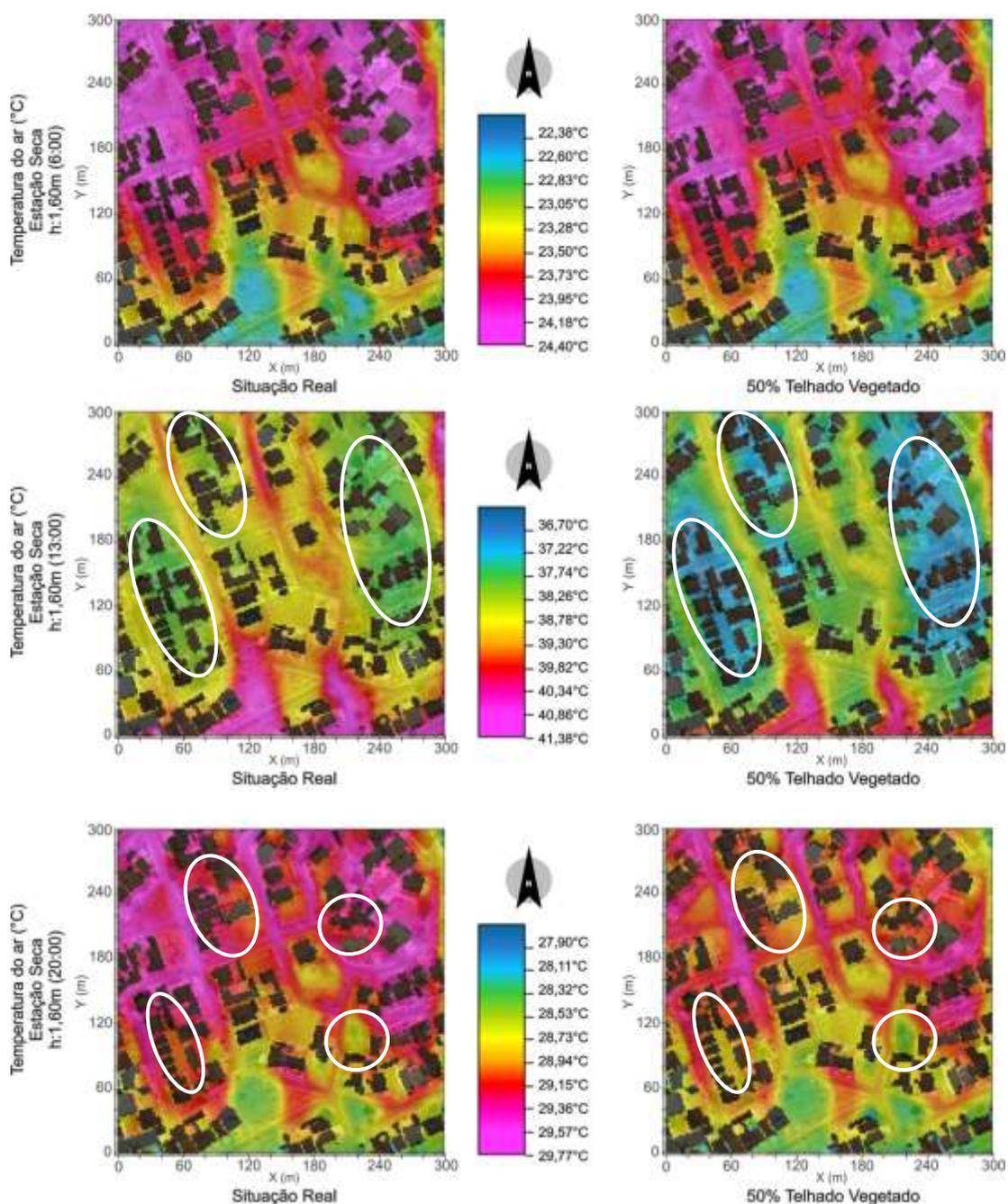
Às 13h observa-se, nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, alterações sutis na tonalidade, caracterizando um tom mais azulado para regiões que antes eram levemente esverdeadas e um tom mais alaranjado para regiões levemente avermelhadas. Estas modificações evidenciam redução na temperatura do ar em torno de  $0,45^{\circ}\text{C}$ .

Às 20h observa-se que regiões, antes com tonalidade avermelhada, passaram a ser representadas por um tom mais alaranjado, e regiões alaranjadas estão, depois da incorporação da vegetação no telhado, com tom amarelado. Estas modificações evidenciam redução na temperatura do ar em torno de  $0,28^{\circ}\text{C}$ .

No período úmido, na maior parte do dia, a abrangência da interferência do telhado vegetado ficou limitada aos quintais localizados no entorno da cobertura, não chegando a provocar impactos expressivos no espaço das ruas e calçadas. Às 20h, no entanto, identifica-se interferências diretas sobre a região das ruas, facilmente identificadas pelo afunilamento da mancha cromática da cor magenta, que antes ocupava todo o espaço externo aos lotes, e algumas regiões internas. Esta coloração passou a representar somente a região central da via, enquanto as calçadas passaram a ser representadas pela cor vermelha e, em alguns pontos, alaranjada. Tal modificação cromática caracterizou uma redução na temperatura do ar desta região de até  $0,21^{\circ}\text{C}$ .

No período seco (Figura 113), às 6h, não verificam-se alterações expressivas na temperatura do ar. Às 13h, no entanto, observa-se a alteração cromática de uma grande região localizada nas proximidades dos edifícios como um todo, caracterizando redução na temperatura do ar em torno de  $1,56^{\circ}\text{C}$ . É importante destacar que, apesar de a vegetação ocupar apenas 50% dos telhados, ela foi capaz de modificar o microclima de toda a área estudada, desde o interior dos lotes até a região central das ruas, esta última apresentando redução de até  $1,30^{\circ}\text{C}$ .

Às 20h os efeitos do telhado são menos perceptíveis, estando localizados nas regiões mais próximas dos edifícios com a vegetação. Identificam-se reduções na temperatura do ar em torno de  $0,42^{\circ}\text{C}$ , na região dos quintais, e de  $0,30$  na região das ruas e calçadas.



**Figura 113** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O efeito vertical da incorporação da vegetação nos telhados pode ser observado na Figura 114 e 115. A escala térmica utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições do cenário anterior, com 10% das edificações com telhados vegetados.

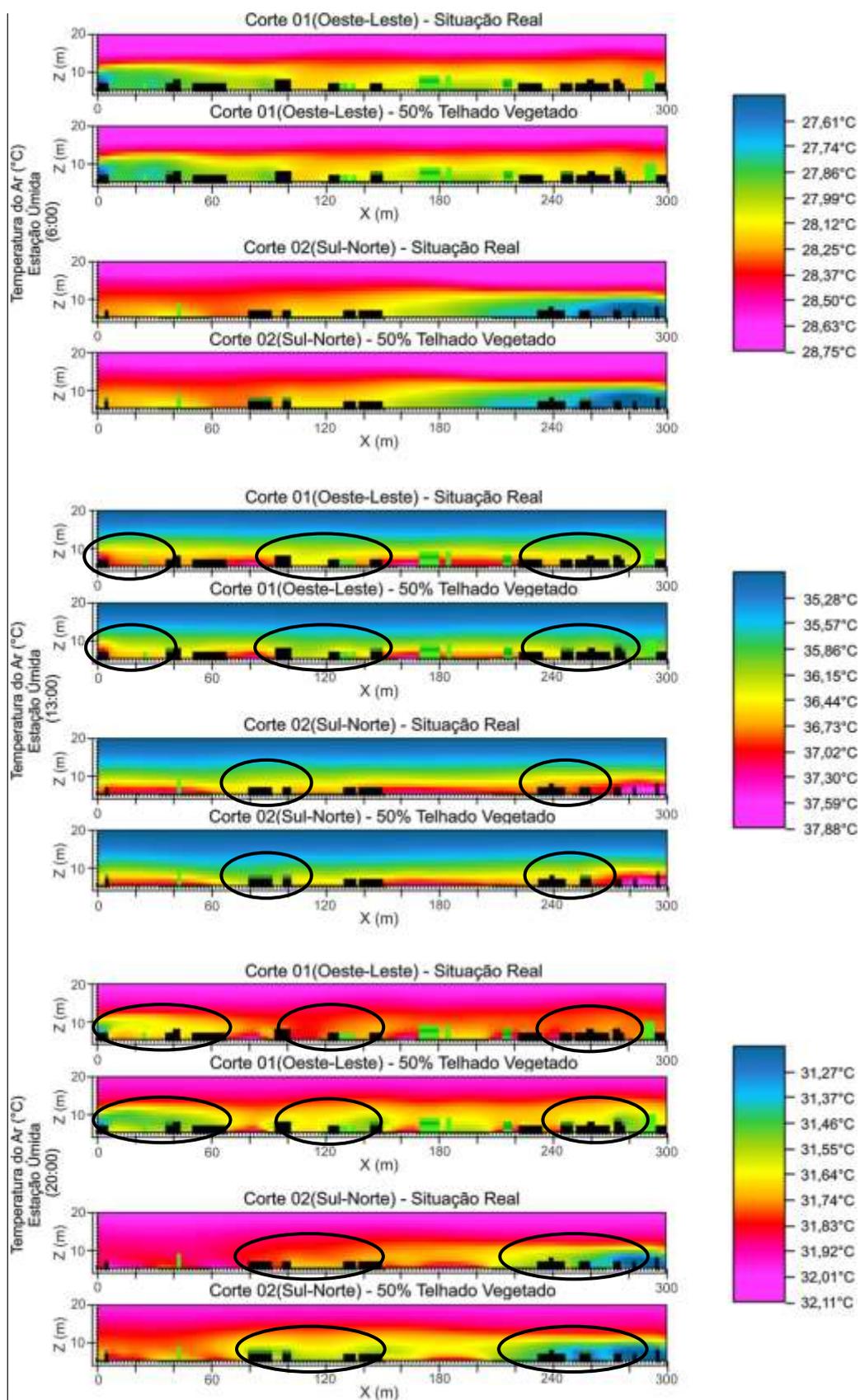


Figura 114 - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

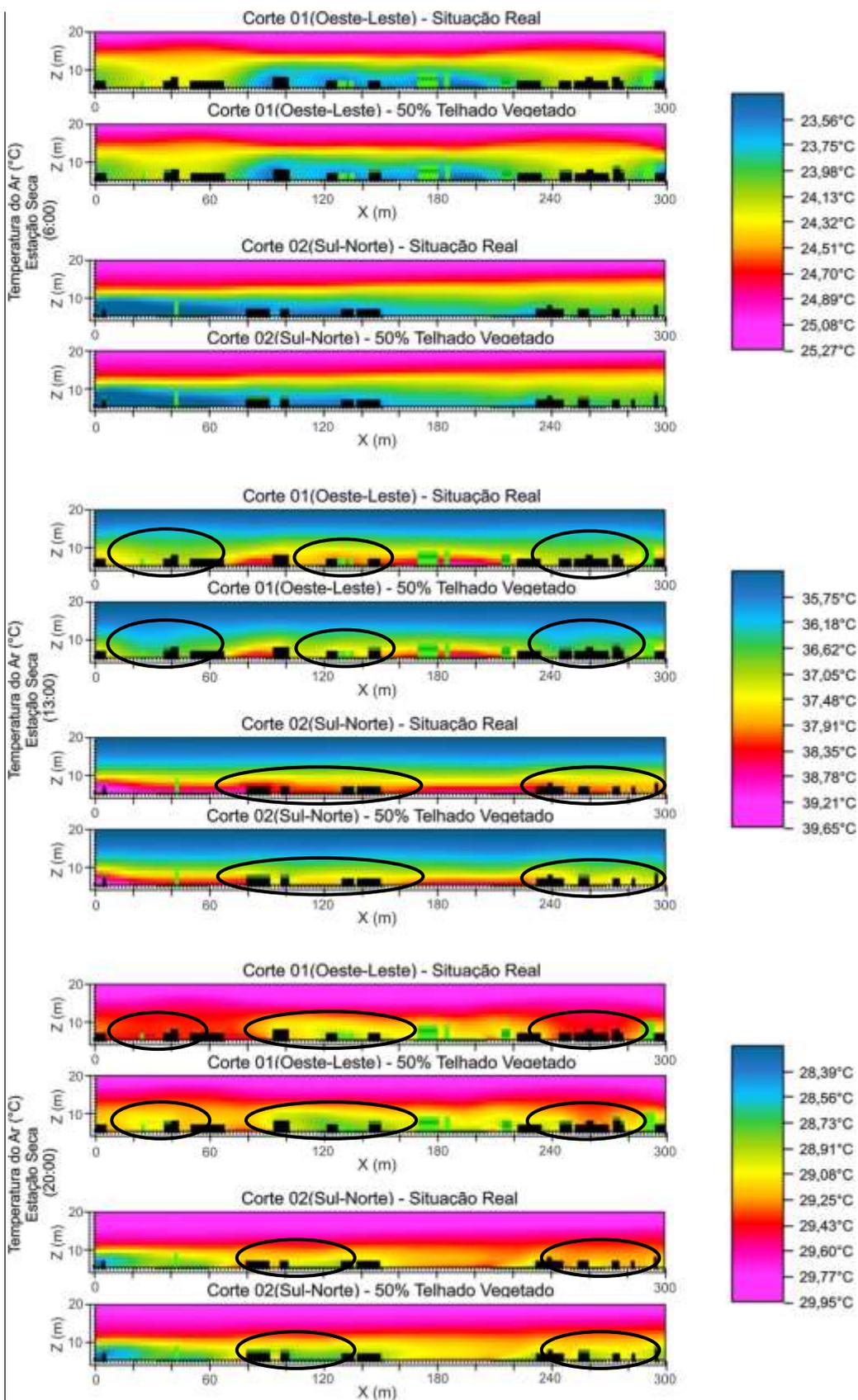
No período úmido, às 6h, os cortes não apresentam alterações expressivas na temperatura do ar, enquanto às 13h e 20h identificam-se vários pontos de alteração cromática, sendo, alguns deles, sinalizados na figura.

Às 13h, no corte 01, observa-se, na atmosfera como um todo, a diminuição da altitude da porção de ar caracterizada pelo tom amarelado, o que representa a diminuição geral na temperatura acima dos telhados em torno de  $0,29^{\circ}\text{C}$ . Nas proximidades dos edifícios, tanto ao nível da cobertura como ao nível do pedestre, identificam-se alterações cromáticas mais expressivas, caracterizando um tom mais amarelado para regiões que antes eram levemente avermelhadas. Estas modificações evidenciam redução na temperatura do ar em torno de  $0,44^{\circ}\text{C}$ . No corte 02 observa-se a mesma redução da altitude referente à camada de ar representada pela cor amarela. O efeito da ventilação é mais expressivo neste corte, que evidencia maior espalhamento dos efeitos do telhado vegetado. Observam-se reduções na temperatura do ar em torno de  $0,58^{\circ}\text{C}$ , tanto ao nível da cobertura quanto ao nível do pedestre, nas proximidades dos edifícios com cobertura vegetada.

Às 20h identifica-se, nos dois cortes, que o alcance dos efeitos do telhado é mais expressivo. Grandes massas de ar que envolvem os edifícios sofrem alteração cromática devido a presença da vegetação no telhado. Nos dois cortes observam-se reduções na temperatura do ar em torno de  $0,24^{\circ}\text{C}$ , tanto ao nível dos telhados quanto dos pedestres. Apesar de a intensidade do impacto provocado pela incorporação da cobertura vegetada, neste horário, ser inferior ao observado às 13h, os efeitos são percebidos em maior extensão territorial, tanto horizontal quanto vertical.

Confirma-se que, de forma geral, na maior parte do dia, a abrangência da interferência do telhado vegetado ficou limitada aos quintais localizados no entorno da cobertura vegetada e na própria superfície imediatamente acima da cobertura. No entanto, às 20h identifica-se impactos expressivos do telhado no espaço das ruas e calçadas durante o período úmido.

No período seco também se observam alterações cromáticas nos cortes apenas às 13h e 20h, sendo estas modificações na temperatura do ar identificadas apenas nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, conforme indicado na Figura 115.



**Figura 115** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

Os efeitos do telhado podem ser observados nos dois cortes, tanto às 13h quanto às 20h. No entanto, devido o forte espalhamento do ar provocado pela ventilação que, pela sua direção, é mais intensa no corte 02, este efeito se mostra suavizado neste corte.

A incorporação do telhado vegetado em 50% dos edifícios provoca redução na temperatura do ar em torno de 1,08°C, às 13h, e 0,35°C, às 20h, durante o período seco, no corte 01 e em torno de 0,87°C, às 13h, e 0,35°C, às 20h, no corte 02, nas proximidades da cobertura e ao nível dos quintais. Não é possível identificar impactos da vegetação presente no telhado em regiões mais afastadas dos edifícios.

A partir dos resultados obtidos em cada receptor, localizado sobre a rua, foi elaborado um perfil médio de temperatura, variando do nível do pedestre à 21m acima do nível do solo. A Figura 116 e 117 ilustram o alcance vertical os efeitos da incorporação da vegetação no telhado.

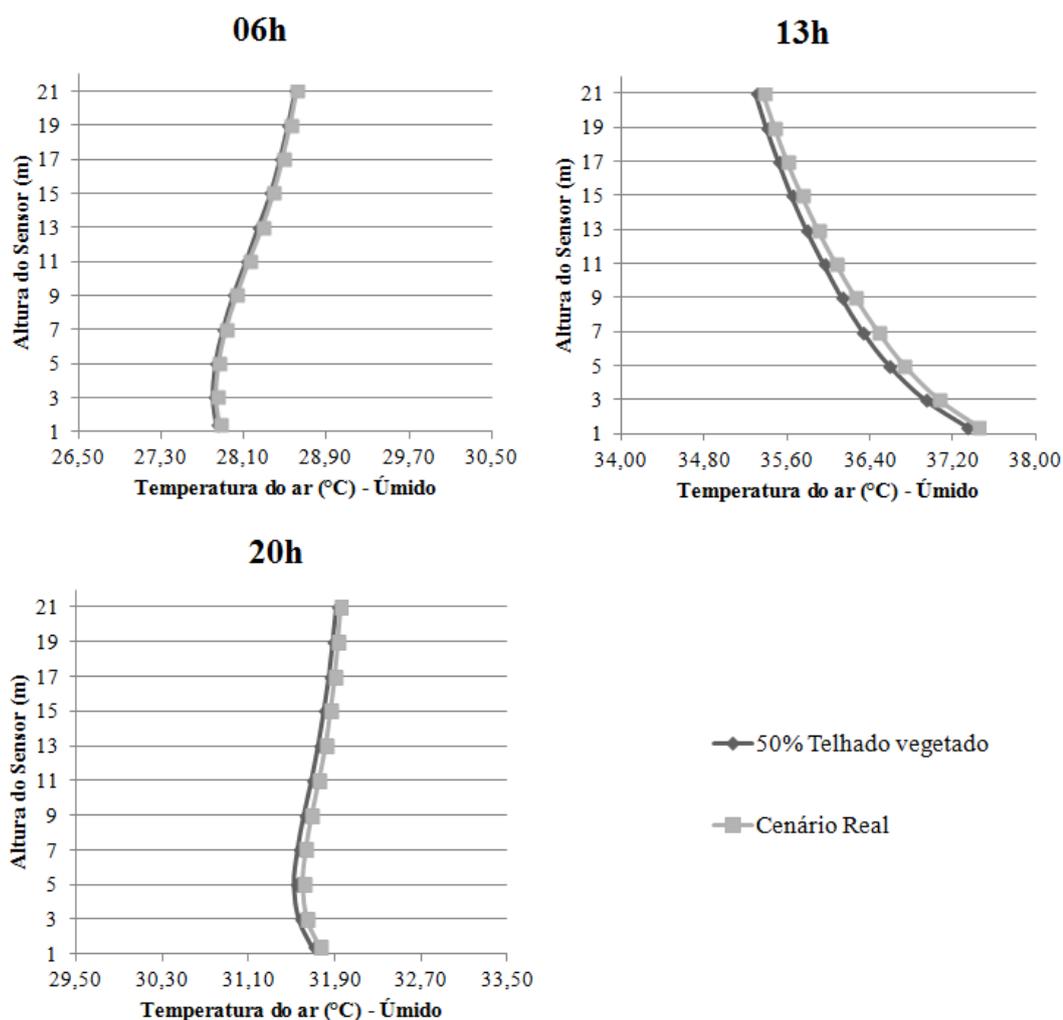
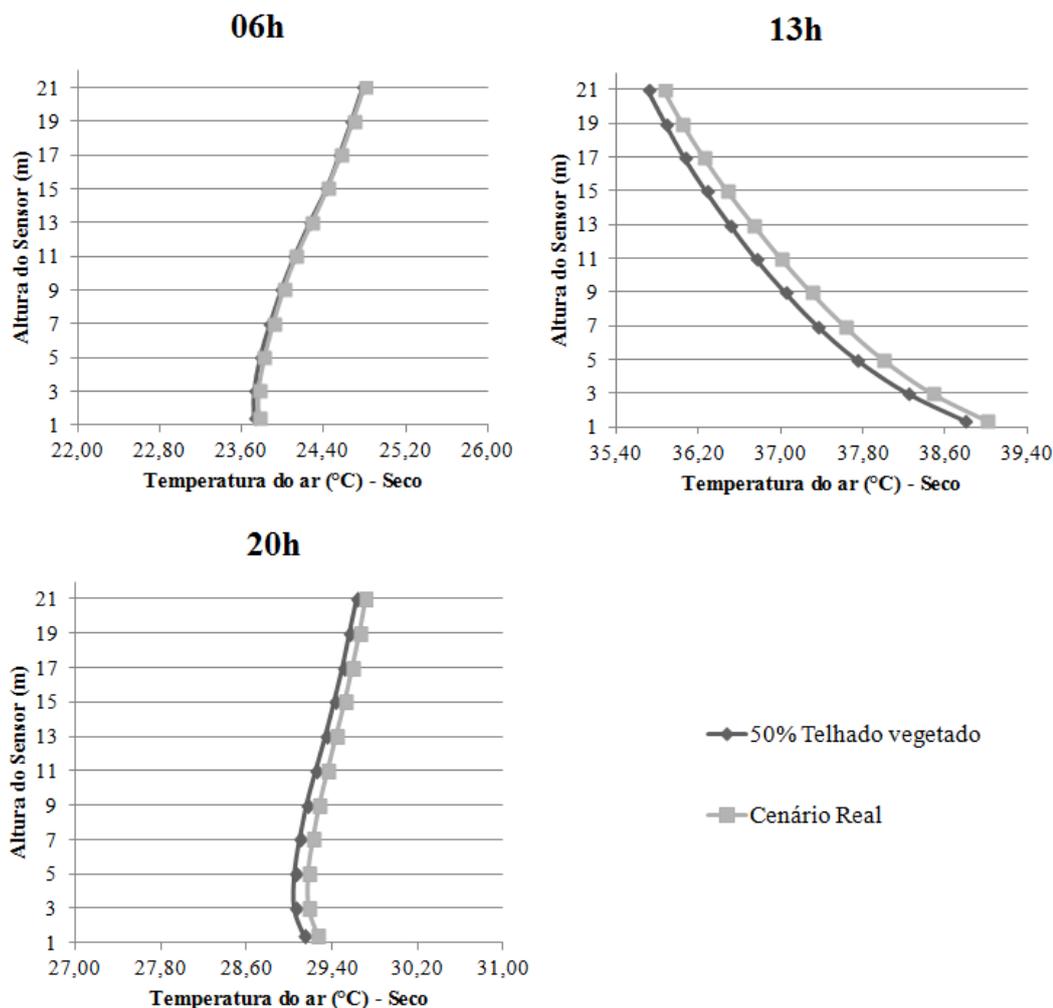


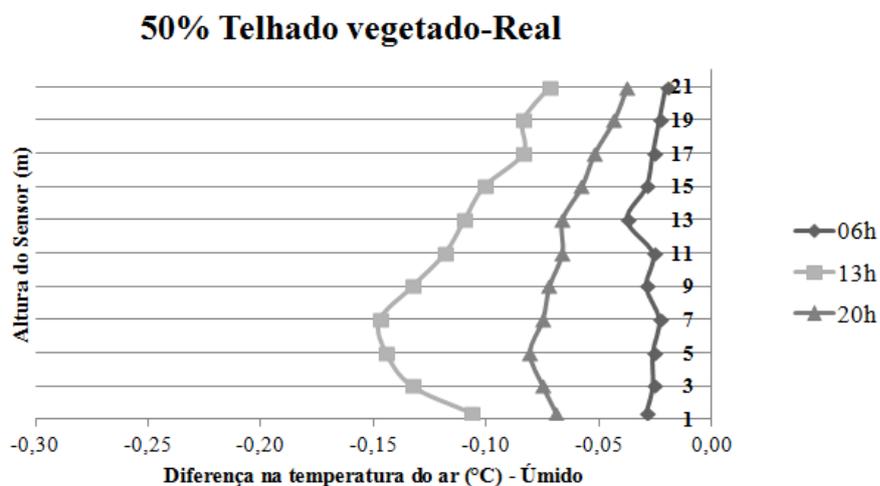
Figura 116 - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período úmido

Confirma-se, através dos perfis, a pequena influência do telhado vegetado sobre esta região, no horário das 6h, durante o período úmido, enquanto expressivas alterações são identificadas às 13h, acima de 3m de altitude, e às 20h, nos dois períodos do ano.



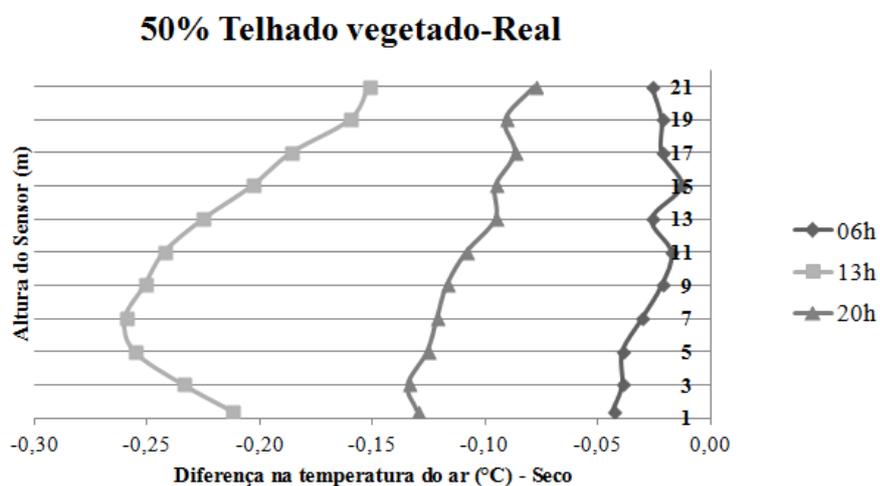
**Figura 117** - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período seco

Quando analisa-se a diferença entre as temperatura observadas em cada cenário para cada horário de medição (Figura 118 e 119), identifica-se, no período úmido, maior redução na temperatura do ar ( $0,15^{\circ}\text{C}$ ) às 13h, na altitude de 7m. Às 20h a maior diferença na temperatura ( $0,08^{\circ}\text{C}$ ) foi observada na altitude de 5m, e às 6h ( $0,04^{\circ}\text{C}$ ) aos 13m.



**Figura 118** - Perfil vertical da diferença da temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido

No período seco, de forma geral, os efeitos do telhado vegetado na temperatura do ar são mais intensos. Observa-se maior redução na temperatura ( $0,26^{\circ}\text{C}$ ) às 13h, na altitude de 7m. Aos 3m de altitude identifica-se as maiores diferenças de temperatura no período das 20h ( $0,13^{\circ}\text{C}$ ), sendo na altitude de 1,6m a maior diferença no período das 6h ( $0,04^{\circ}\text{C}$ ).

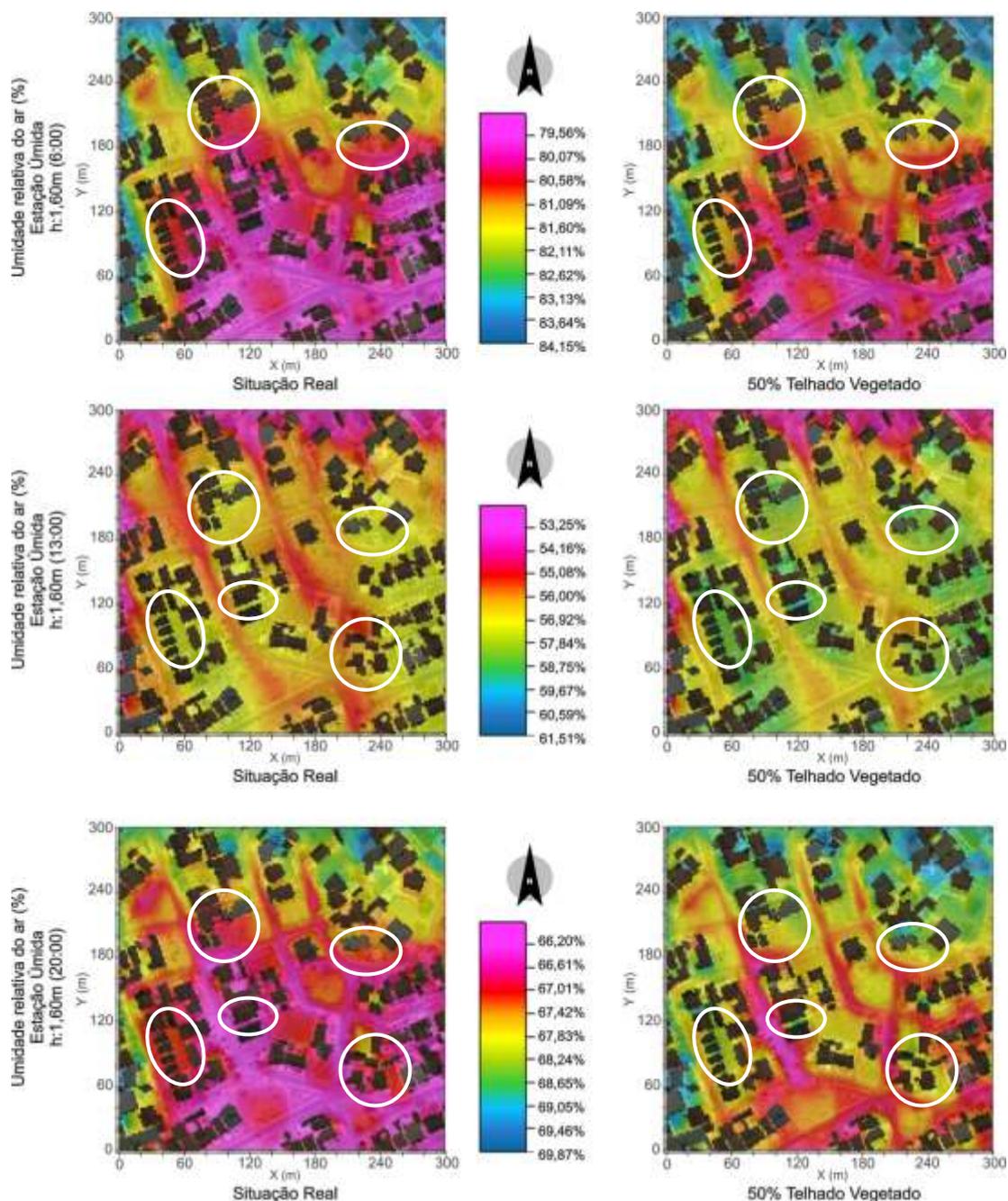


**Figura 119** - Perfil vertical da diferença da temperatura do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco

#### 4.5.2. Umidade relativa do ar

Os efeitos da incorporação da vegetação na umidade relativa do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 120 e 121.

A escala cromática utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições do cenário anterior, com 10% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 120** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Os mapas apresentam alterações expressivas na umidade relativa do ar em todos os horários do dia, durante o período úmido.

Às 6h identificam-se algumas regiões, nas proximidades das edificações com telhado vegetado, com modificações cromáticas. Em geral regiões que inicialmente possuíam um tom avermelhado ou magenta passaram a ser representadas por tons amarelados e alaranjados. Este efeito representa elevação na umidade relativa do ar em torno de 1,28%.

Às 13h e 20h as alterações são mais perceptíveis no mapa, caracterizando alteração cromática em porções maiores do território. Os efeitos são maiores na região próxima aos edifícios, caracterizada pelos quintais, no entanto ainda podem ser verificadas, de forma mais sutil, modificações cromáticas no espaço ocupado pelas ruas e calçadas. Este efeito representa, às 13h, elevação na umidade relativa do ar em torno de 2,29%, chegando, em alguns pontos específicos, em regiões estreitas entre dois edifícios, a 2,75%. Às 20h observam-se elevações na umidade relativa do ar em torno de 1,23%, chegando a 2,50% em regiões estreitas, formada por edificações.

Neste cenário, durante o período úmido, identifica-se, principalmente às 13h e 20h interferências provocadas pelo telhado vegetado tanto no espaço dos quintais, localizados no entorno da cobertura, quanto no espaço formado pelas ruas e calçadas, representando neste ultimo elevações de até 1,38%, às 13h, e de 0,61% às 20h.

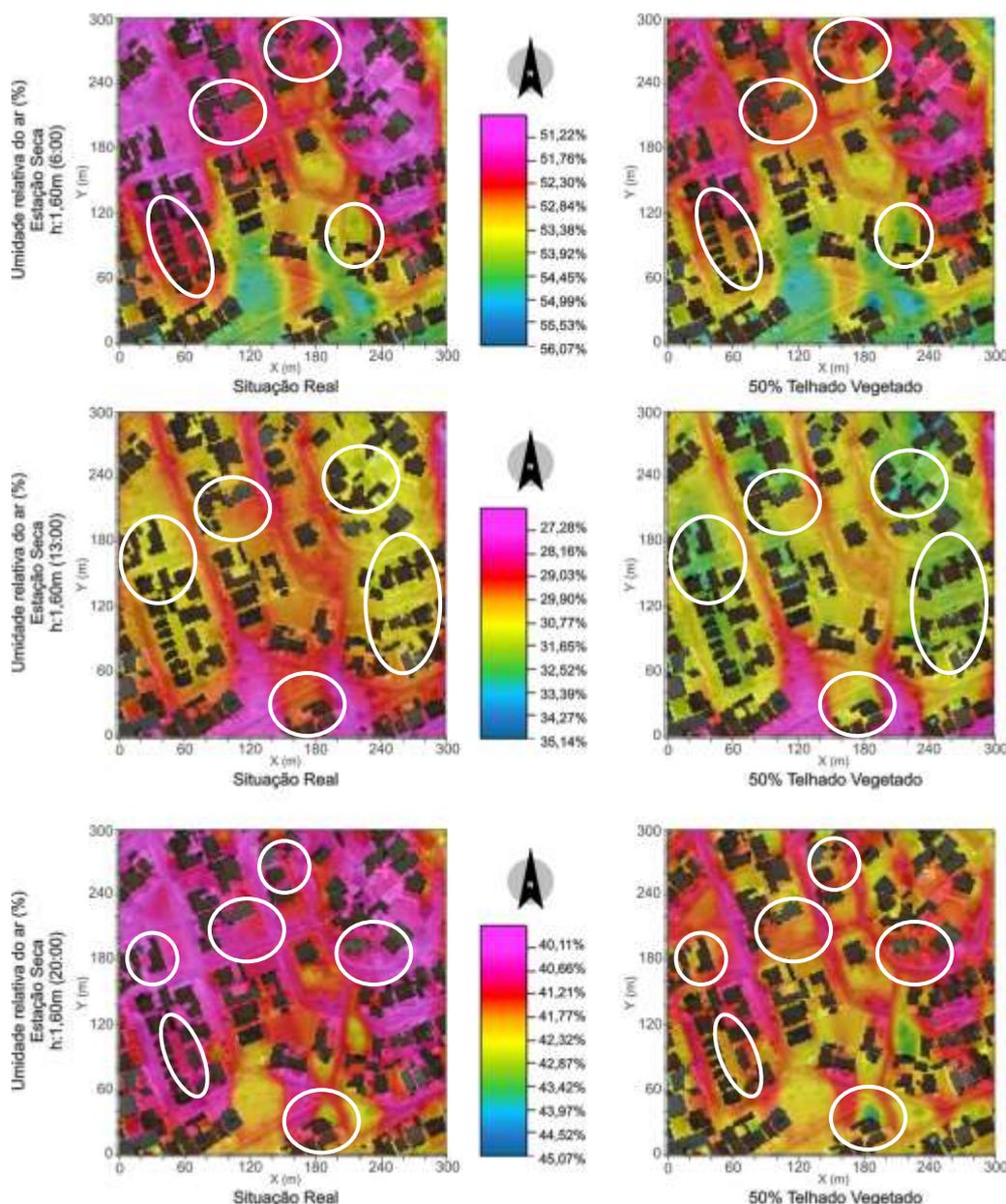
No período seco observam-se alterações cromáticas nos cortes em todos os horários do dia. As modificações na umidade relativa do ar só ocorrem nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, conforme indicado na Figura 121.

A intensidade dos efeitos da vegetação é mais expressiva nos espaços estreitos entre os edifícios, sendo seguido pelo espaço formado pelos quintais, nas proximidades da vegetação, sendo mais sutil no espaço definido pelas ruas e calçadas, principalmente no horário das 6h.

A incorporação do telhado vegetado em 50% dos edifícios provoca elevação na umidade relativa do ar em torno de 1,35%, às 6h, chegando a atingir 1,61% em espaços estreitos formados entre os edifícios. Às 13h a elevação na umidade chega a 2,62% no espaço dos quintais e 3,76% nos espaços estreitos entre edifícios. Às 20h a elevação se apresenta em torno de 2,21%, chegando a 2,76% nos espaços estreitos entre os edifícios.

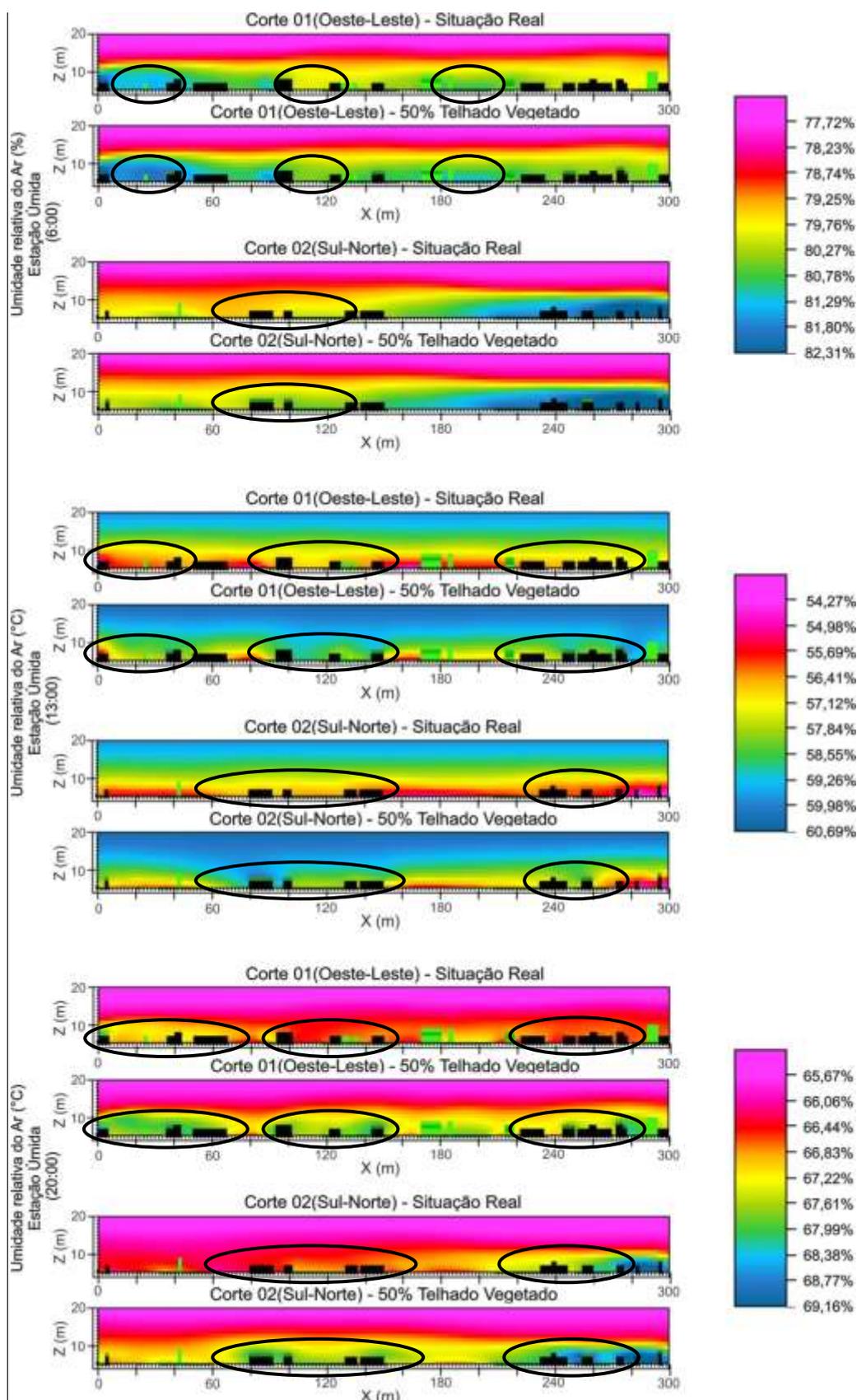
Peng e Jim (2013) verificam que a intensidade do resfriamento e da umidificação de uma determinada região é dependente do número de telhados verdes e da distância entre as edificações. Em geral regiões estreitas entre edifícios térreos apresentam alterações mais expressivas tanto na temperatura quanto na umidade relativa do ar.

Neste cenário é possível identificar impactos da vegetação nos espaços definidos pelas ruas e calçadas, em todos os horários do dia, durante o período seco. Às 6h identificam-se elevações na umidade relativa dos passeios em torno de 1,08%, às 13h, 1,30% e, às 20h, 0,77%.



**Figura 121** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O efeito vertical da incorporação da vegetação nos telhados foi observado através dos cortes, localizados na parte central do cenário, nos dois períodos do ano (Figura 122 e 123). A escala cromática utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições do cenário anterior, com 10% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 122** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

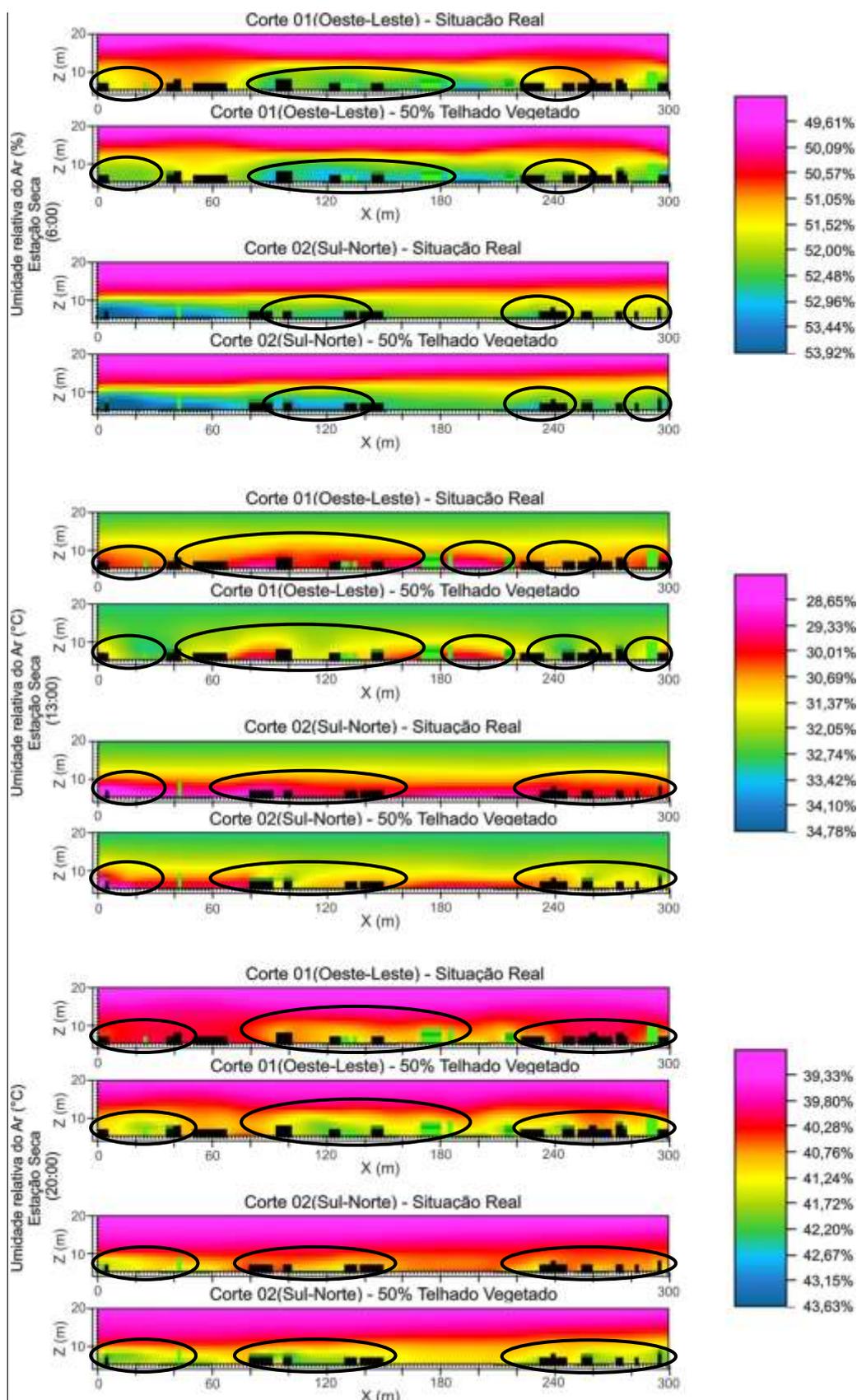
Os cortes apresentam alterações na umidade relativa do ar em todos os horários do dia, durante o período úmido. No entanto às 13h e 20h as alterações cromáticas são mais expressivas.

Às 6h, no corte 01, identifica-se, na atmosfera como um todo, o achatamento da camada de ar caracterizada pelo tom amarelado, e conseqüente aumento do volume da camada esverdeada, caracterizando elevação geral na umidade relativa do ar acima dos telhados em torno de 0,51%. Nas proximidades dos edifícios, tanto ao nível da cobertura como ao nível do pedestre, observam-se alterações cromáticas mais expressivas, apresentando elevações na umidade relativa do ar em torno de 1,02%. No corte 02 a interferência da ventilação é mais expressiva evidenciando maior espalhamento dos efeitos do telhado vegetado. Observam-se elevações na umidade relativa do ar em torno de 0,76%, tanto ao nível da cobertura quanto ao nível do pedestre, nas proximidades dos edifícios com cobertura vegetada.

Às 13h, nos dois cortes, identifica-se um achatamento mais expressivo da camada de ar caracterizada pelo tom amarelado, passando ela a ocupar somente as regiões mais baixas do corte. Tal comportamento caracterizou a elevação geral na umidade relativa do ar acima dos telhados em torno de 1,43%. Nas proximidades dos edifícios, tanto ao nível da cobertura como ao nível do pedestre, observam-se alterações cromáticas mais expressivas, apresentando elevações na umidade relativa do ar em torno de 2,14%, chegando, em alguns pontos, a 2,86%.

Às 20h identifica-se, nos dois cortes, que o alcance dos efeitos do telhado é mais expressivo. Grandes massas de ar que envolvem os edifícios sofrem alteração cromática devido a presença da vegetação no telhado. Nos dois cortes observa-se elevação na umidade relativa do ar em torno de 1,55%, tanto ao nível dos telhados quanto dos pedestres. Apesar de a intensidade do impacto provocado pela incorporação da cobertura vegetada neste horário ser inferior ao identificado às 13h, os efeitos são percebidos em maior extensão territorial, tanto horizontal quanto vertical.

Confirma-se, de forma geral, neste cenário, durante o período úmido, principalmente às 13h e 20h, interferências provocadas pelo telhado vegetado tanto no espaço dos quintais, localizados no entorno da cobertura, quanto no espaço formado pelas ruas e calçadas e mesmo na atmosfera alguns metros acima da edificação.



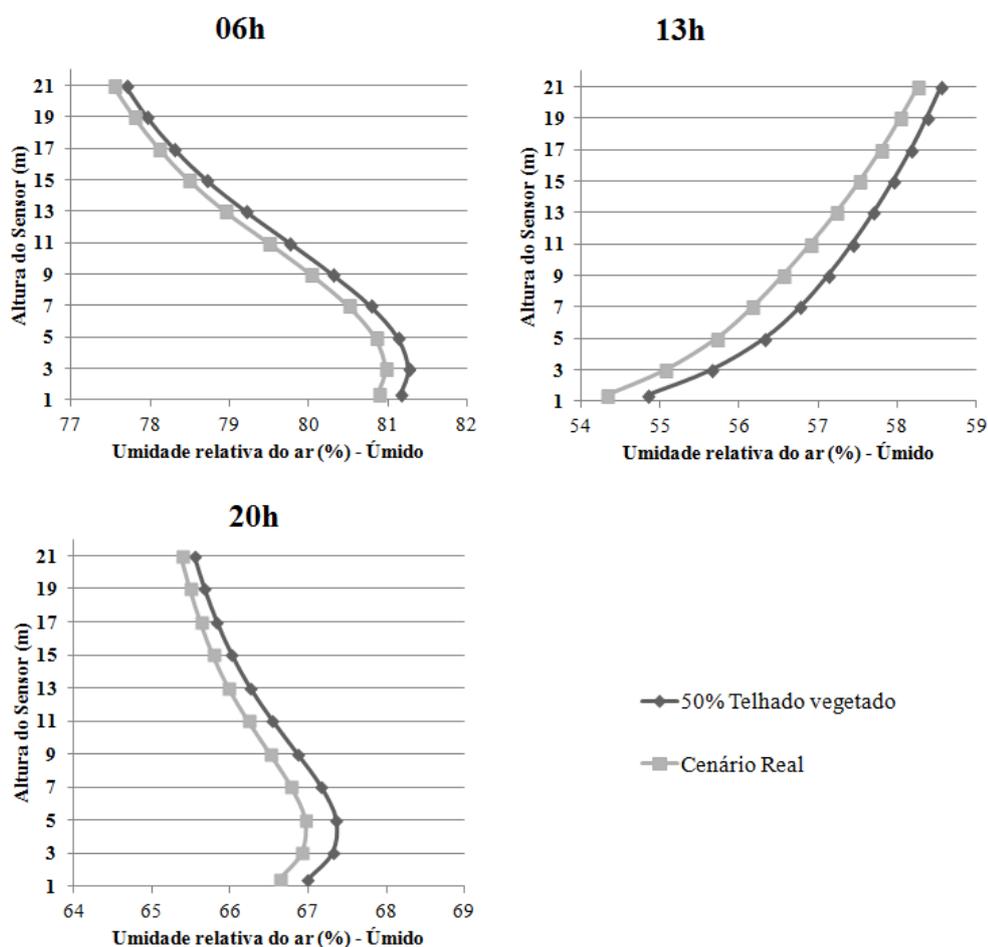
**Figura 123** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

No período seco, em todos os horários do dia, observam-se alterações, provocadas pela vegetação, na umidade relativa do ar, estando o alcance destas alterações expandido até mesmo aos espaços afastados da edificação.

Nos dois cortes identificam-se alterações em grandes porções de ar localizadas acima e no entorno das coberturas, principalmente às 13h e 20h, caracterizando elevações gerais na umidade relativa do ar em torno de 1,36%, às 13h e 0,72%, às 20h.

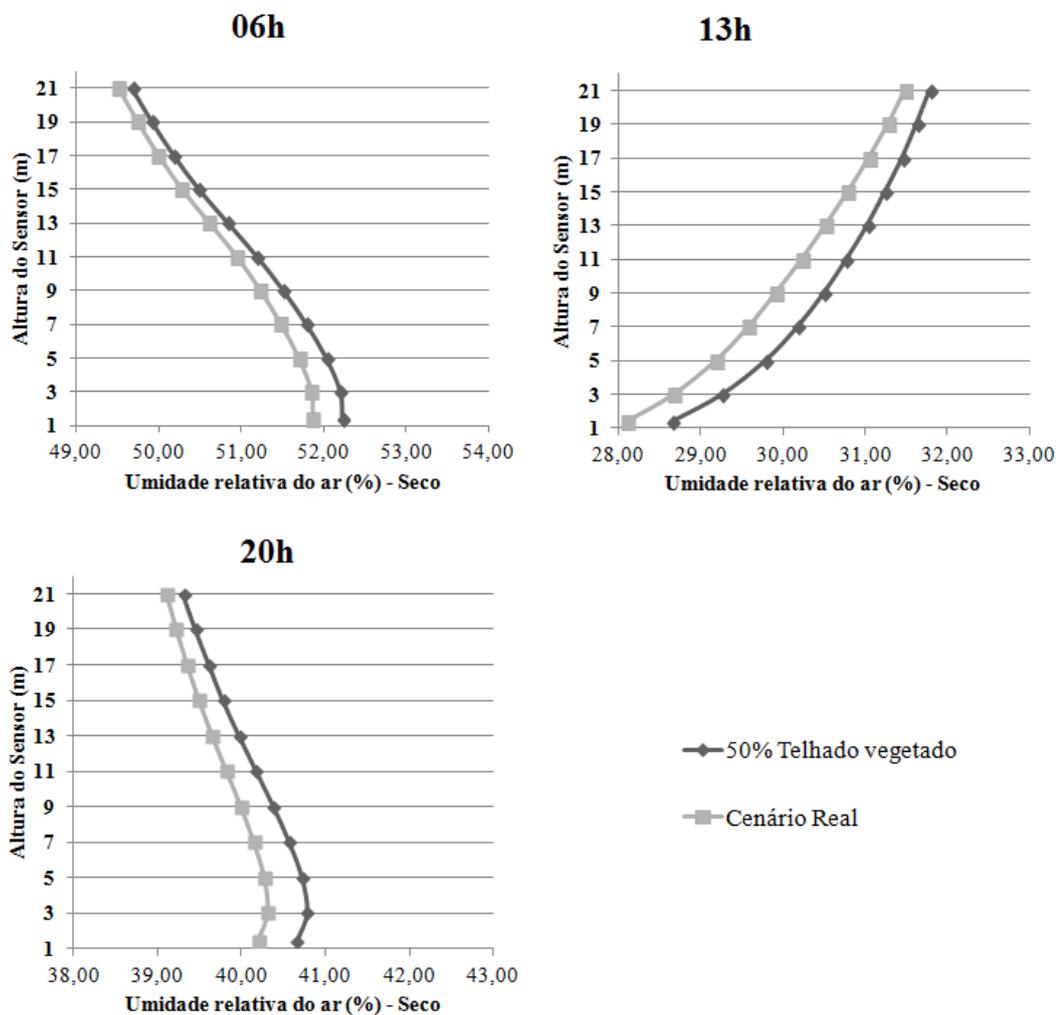
Nos espaços mais próximos à vegetação observam-se elevações na umidade relativa do ar em torno de 0,96%, às 6h, 2,73%, às 13h e 1,92%, às 20h, nos dois cortes. No corte 02 os efeitos são mais expandidos devido o espalhamento provocado pela ventilação, no entanto ainda é possível identificar as mesmas elevações na umidade observadas no corte 01.

A Figura 124 e 125 ilustram o alcance vertical os efeitos da incorporação da vegetação no telhado, tanto para a atmosfera abaixo, quanto acima da cobertura, no espaço ocupado pelas ruas e calçadas.



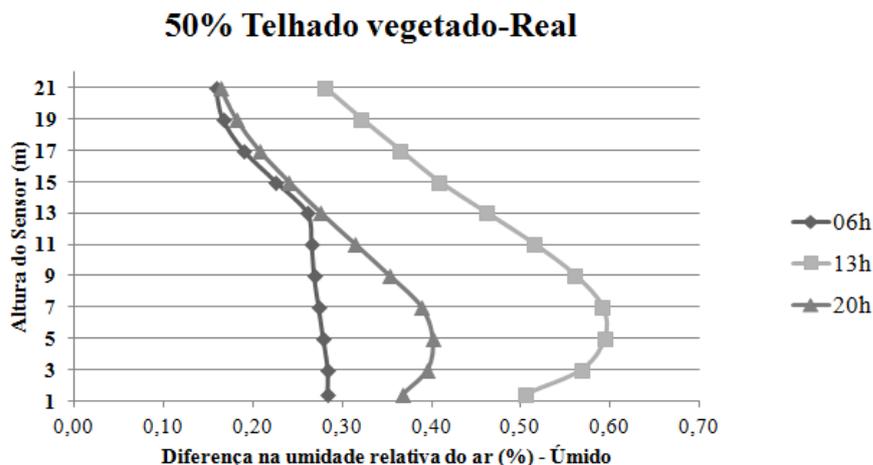
**Figura 124** - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período úmido

Confirma-se, através dos perfis, a influência do telhado vegetado sobre esta região em todos os horários do dia, sendo mais expressivas às 13h e às 20h, tanto no período úmido como no período seco.



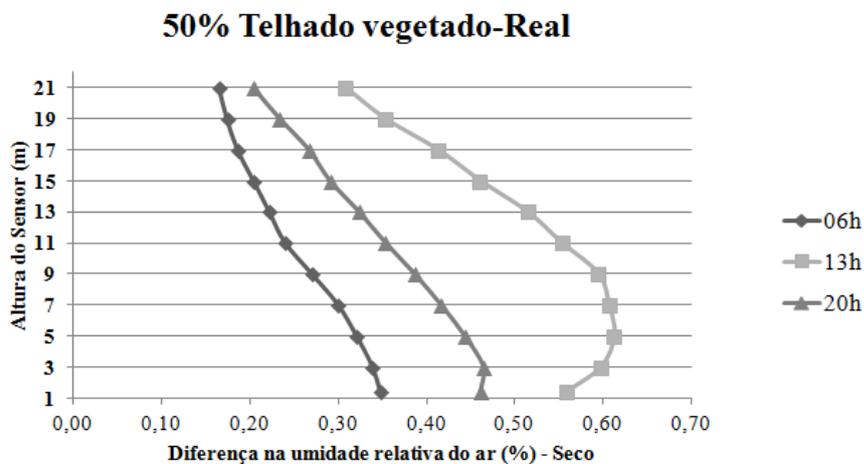
**Figura 125** - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período seco

Quando analisa-se a diferença entre as umidades observadas em cada cenário, para cada horário de medição (Figura 126 e 127), identifica-se, no período úmido, maior elevação na umidade relativa do ar (0,60%) às 13h, na altitude entre 5m e 7m. Às 20h a maior diferença na umidade (0,40%) foi observada na altitude de 5m, e às 6h (0,28%) se mantém praticamente constante até os 13m.



**Figura 126** - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido

No período seco, a maior elevação na umidade relativa do ar (0,62%), ocorre às 13h, na altitude de 5m. Às 20h, identifica-se a maior diferença de umidade relativa (0,46%) na altitude de 3m, e às 6h é aos 1,6m que observa-se a maior diferença (0,35%) .



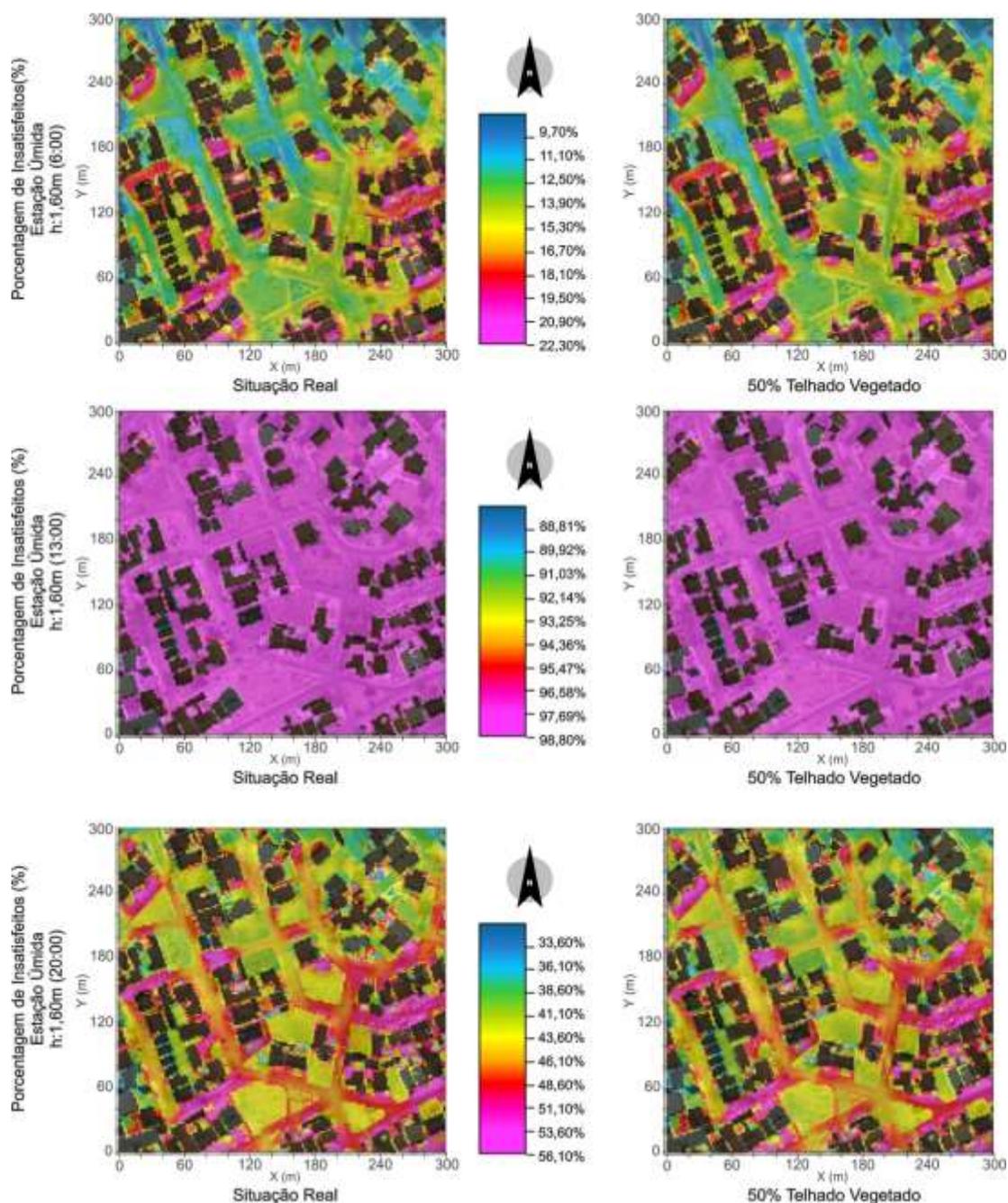
**Figura 127** - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 10% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco

Identifica-se nos dois períodos um comportamento semelhante entre as diferenças na umidade relativa do ar nos horários das 13h e 20h, no entanto, às 6h, o comportamento da variação vertical desta diferença é modificado, sendo mais uniforme esta variação no período seco.

De forma geral, as diferenças de umidade nos dois períodos, para este cenário, são semelhantes, sendo um pouco mais elevadas no período seco.

### 4.5.3. Conforto Térmico do pedestre

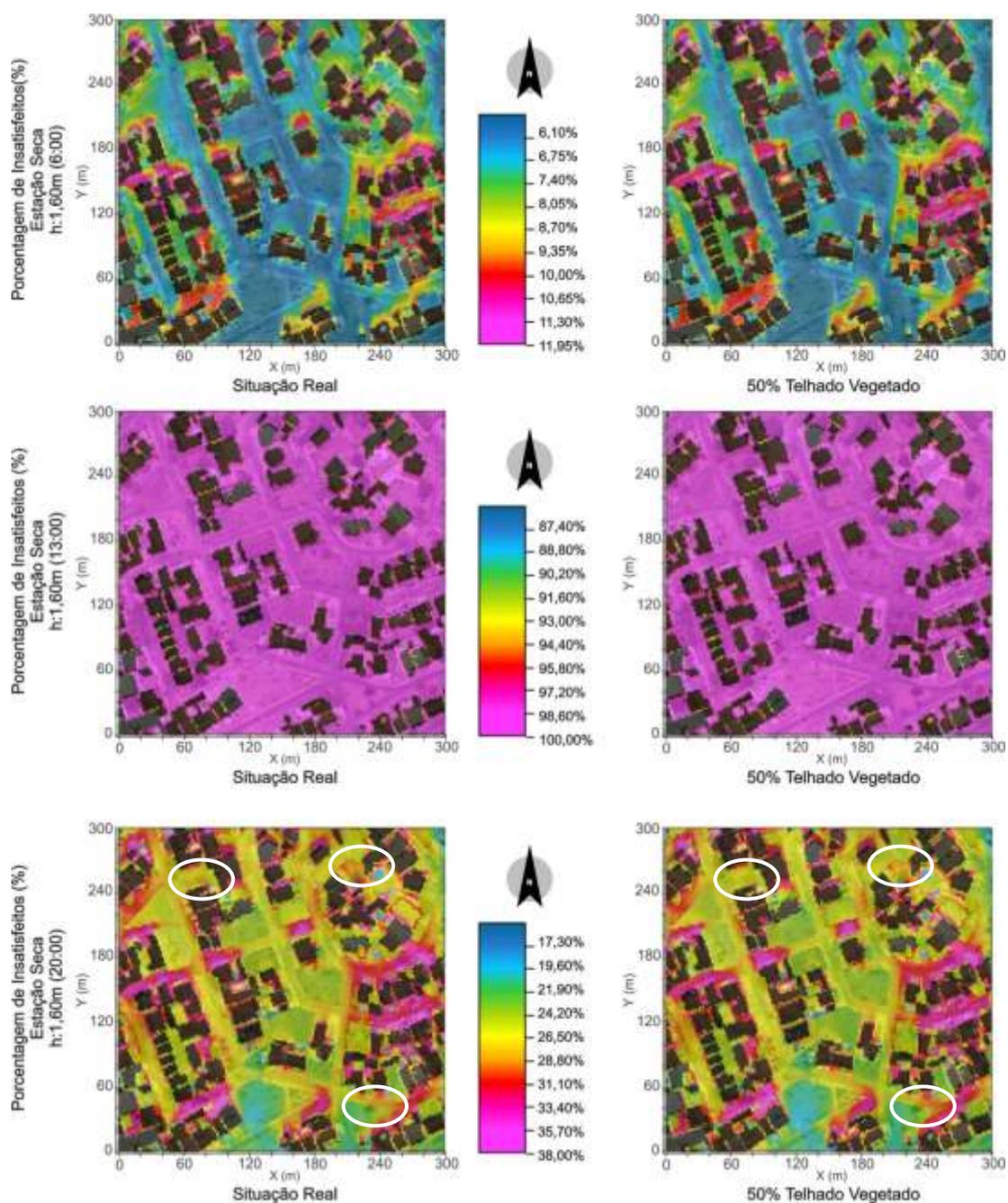
Os efeitos da incorporação da vegetação no conforto dos usuários, medido ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 128 e 129. A escala cromática utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições do cenário anterior, com 10% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 128** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações no PPD durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O PPI sofre a influência direta da ventilação, sendo identificadas menores proporções de pessoas insatisfeitas na região de entrada do vento no modelo, dependendo da temperatura do ar.

Os mapas cromáticos não apresentam alterações expressivas no PPI, em nenhum horário do dia, no período úmido. Confirmando que, dentro da escala utilizada nos mapas, à altura de 1,6m do nível do solo, estas alterações são pouco perceptíveis.



**Figura 129** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações no PPD durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

No período seco observa-se redução na porcentagem de insatisfeitos, no horário das 20h, conforme identificado na Figura 129. As alterações são posicionadas nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado e representam redução em torno de 2,3% na porcentagem de insatisfeitos.

## **4.6. EFEITOS DO TELHADO VEGETADO EM 100% DAS EDIFICAÇÕES**

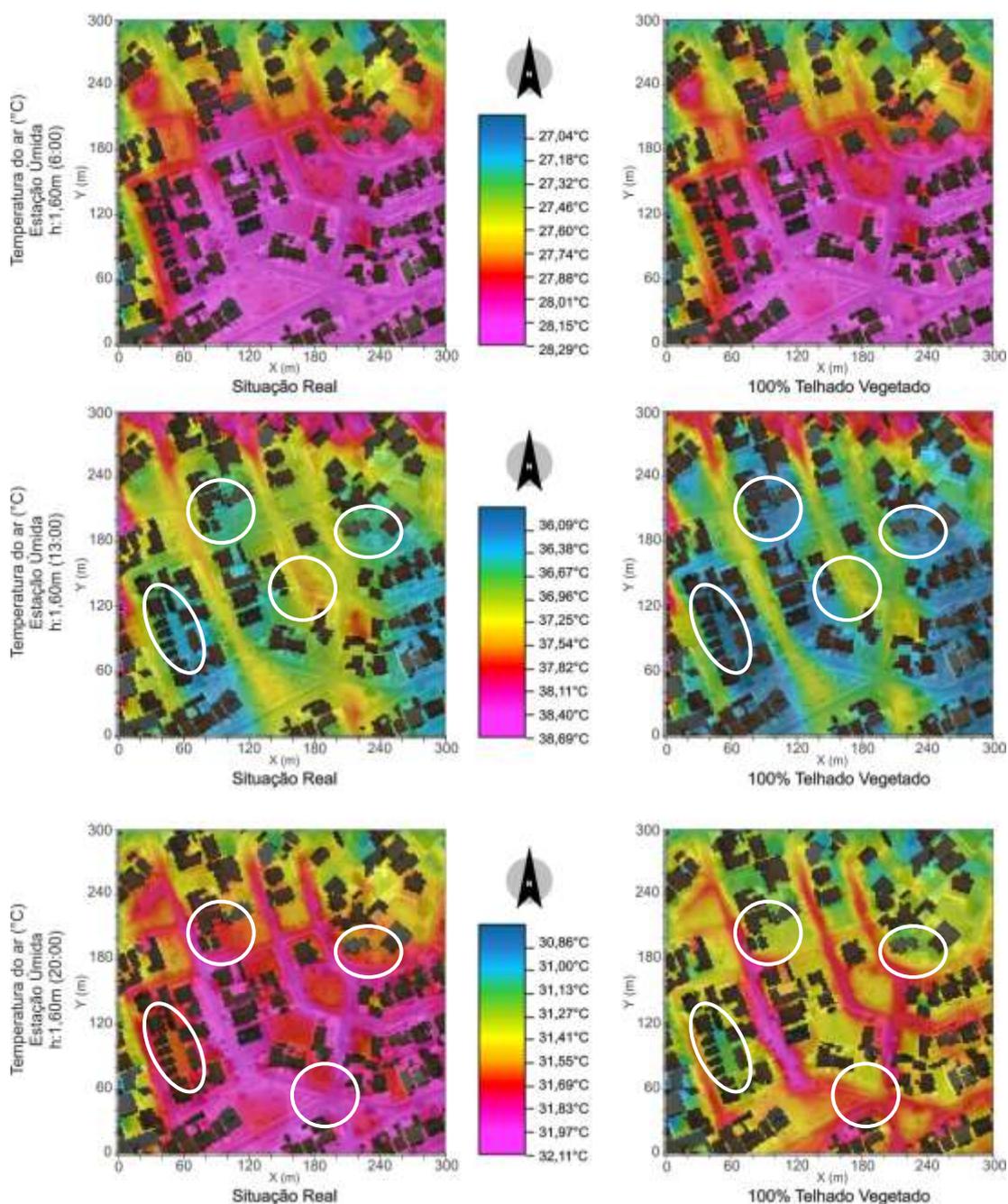
### **4.6.1. Temperatura do ar**

Os efeitos da incorporação da vegetação na temperatura do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 130 e 131. A escala térmica utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições dos cenários anteriores, com 10% e 50% das edificações com telhados vegetados.

Às 6h os mapas térmicos não apresentam alterações expressivas na temperatura do ar, enquanto às 13h e 20h identificam-se vários pontos de alteração cromática, sendo, alguns deles, sinalizados na figura.

Às 13h observam-se alterações mais expressivas nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, caracterizando um tom azul escuro para regiões que antes eram levemente esverdeadas. Estas modificações evidenciam redução na temperatura do ar em torno de 0,72°C.

Às 20h observa-se, nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, que regiões, antes com tonalidade avermelhada, passaram a ser representadas por um tom mais amarelado, e regiões alaranjadas estão, depois da incorporação da vegetação no telhado, com tom esverdeado. Estas modificações evidenciam redução na temperatura do ar em torno de 0,55°C.

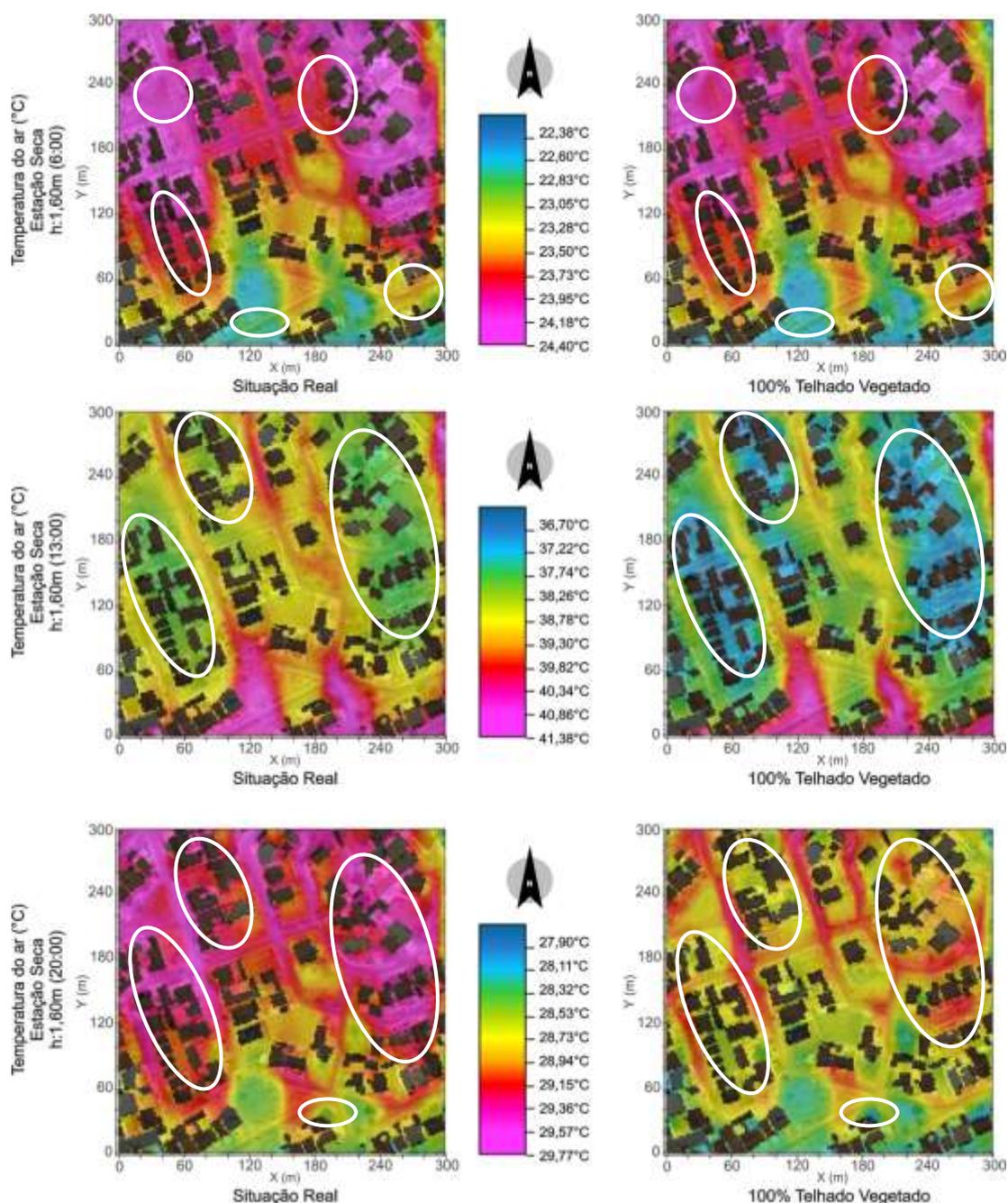


**Figura 130** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

No período úmido, às 6h, a abrangência da interferência do telhado vegetado ficou limitada aos quintais, localizados no entorno da cobertura, não chegando a provocar impactos expressivos no espaço das ruas e calçadas. Às 13h e 20h, no entanto, identificam-se interferências diretas sobre a região das ruas, facilmente identificada pelo afunilamento da mancha cromática da cor amarela (13h) ou magenta (20h), que antes ocupava todo o espaço externo aos lotes, e algumas regiões internas. Esta coloração

passou a representar somente a região central da via, enquanto as calçadas passaram a ser representadas pela cor verde (13h) ou vermelha (20h). Tal modificação cromática caracterizou redução na temperatura do ar desta região de até  $0,72^{\circ}\text{C}$ , às 13h e de  $0,49^{\circ}\text{C}$ , às 20h.

No período seco (Figura 131), verificam-se alterações expressivas na temperatura do ar em todos os horários do dia.



**Figura 131** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Às 6h são identificadas regiões específicas, nas proximidades dos edifícios, com alterações cromáticas sutis, caracterizando redução na temperatura do ar em torno de  $0,35^{\circ}\text{C}$ .

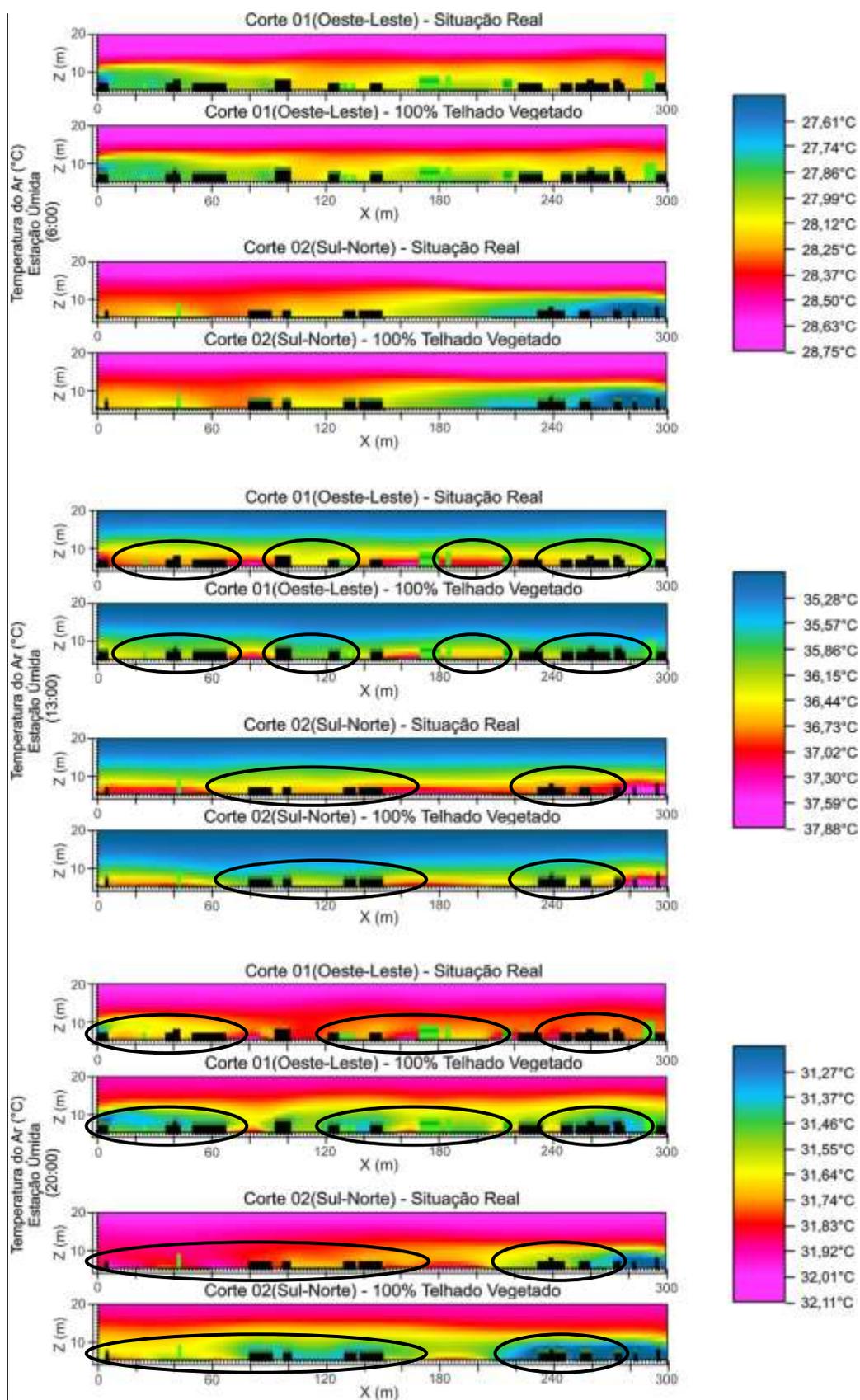
Às 13h e às 20h, no entanto, observa-se a alteração cromática de grandes regiões localizada nas proximidades dos edifícios como um todo, caracterizando redução na temperatura do ar em torno de  $1,56^{\circ}\text{C}$ , às 13h, e de  $0,84^{\circ}\text{C}$ , às 20h. É importante destacar que a incorporação da vegetação no telhado foi capaz de modificar o microclima de toda a área estudada, desde o interior dos lotes até a região central das ruas, neste período.

Na região definida pelas ruas e calçadas identificam-se reduções na temperatura em torno de  $1,30^{\circ}\text{C}$ , às 13h, e de  $0,62^{\circ}\text{C}$ , às 20h, durante o período seco.

O efeito vertical da incorporação da vegetação nos telhados pode ser observado na Figura 132 e 133. A escala térmica utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições dos cenários anteriores, com 10% e 50% das edificações com telhados vegetados.

No período úmido, às 6h, os cortes não apresentam alterações expressivas na temperatura do ar, enquanto às 13h e 20h identificam-se vários pontos de alteração cromática, sendo, alguns deles, sinalizados na figura.

Às 13h, no corte 01, observa-se, na atmosfera como um todo, a diminuição da altitude da porção de ar caracterizada pelo tom amarelado, o que provoca a diminuição geral na temperatura acima dos telhados em torno de  $0,75^{\circ}\text{C}$ . Nas proximidades dos edifícios, tanto ao nível da cobertura como ao nível do pedestre, identificam-se alterações cromáticas mais expressivas, apresentando redução na temperatura do ar de até  $1,16^{\circ}\text{C}$ . No corte 02 observa-se a mesma redução da altitude referente à camada de ar representada pela cor amarela. O efeito da ventilação é mais expressivo neste corte, que evidencia maior espalhamento dos efeitos do telhado vegetado. Assim como no corte 01, identificam-se reduções na temperatura do ar em torno de  $1,16^{\circ}\text{C}$ , tanto ao nível da cobertura quanto ao nível do pedestre, nas proximidades dos edifícios.



**Figura 132** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

Às 20h observa-se, nos dois cortes, que o alcance dos efeitos do telhado é mais expressivo. Grandes massas de ar, que envolvem os edifícios, sofrem alteração cromática devido à presença da vegetação no telhado. Nos dois cortes identificam-se reduções na temperatura do ar em torno de  $0,46^{\circ}\text{C}$ , tanto ao nível dos telhados quanto dos pedestres.

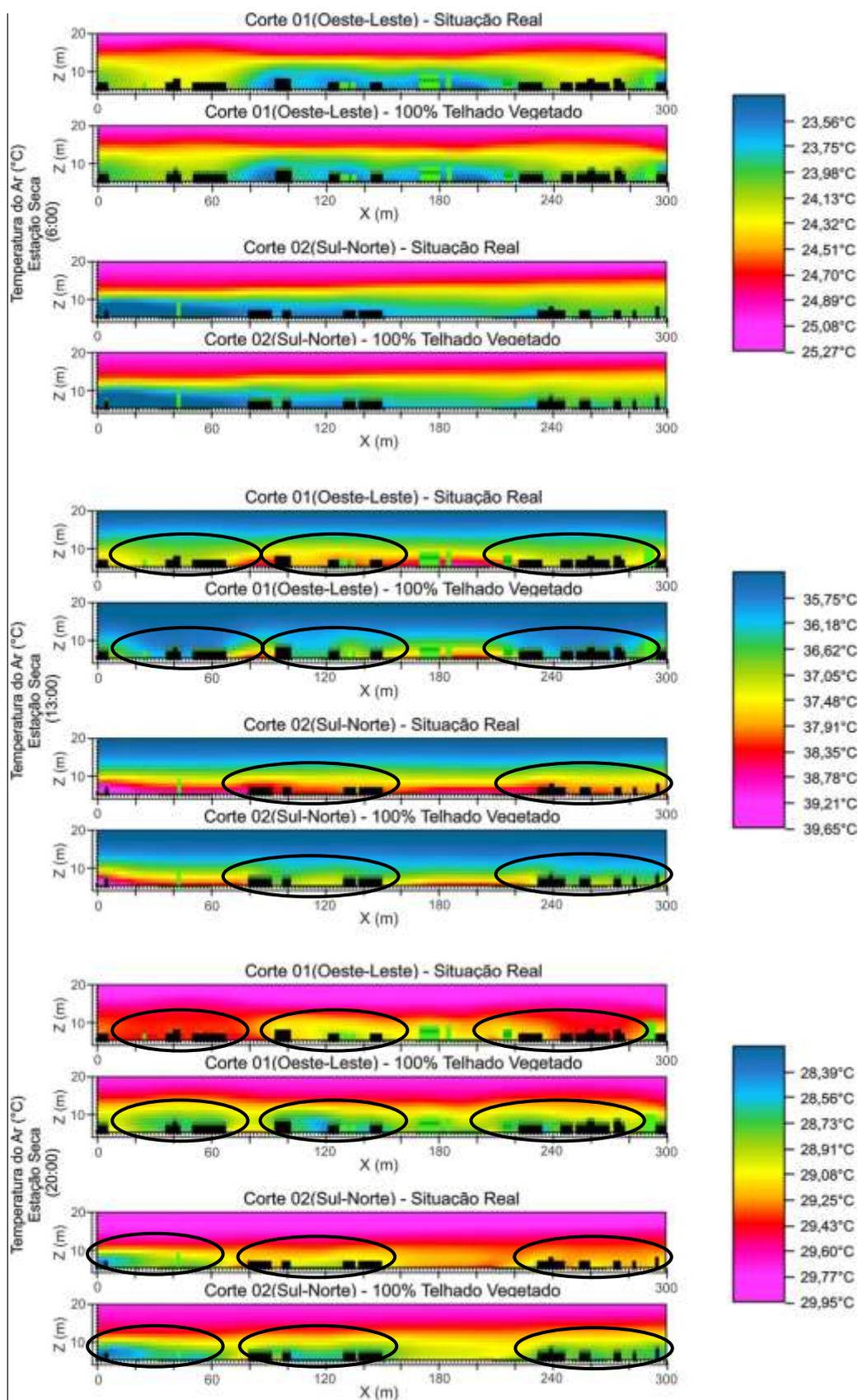
No período úmido, às 6h, a abrangência da interferência do telhado vegetado ficou limitada aos quintais localizados no entorno da cobertura. Às 13h e 20h, no entanto, observam-se interferências diretas sobre a região das ruas.

No período seco também se identificam alterações cromáticas nos cortes apenas às 13h e 20h, sendo estas modificações, na temperatura do ar localizadas tanto nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado, verificadas tanto nas proximidades do edifício quanto em espaços mais afastados, conforme indicado na Figura 133.

Os efeitos do telhado podem ser observados nos dois cortes, tanto às 13h quanto às 20h. No entanto, devido o forte espalhamento do ar provocado pela ventilação que, pela sua direção, é mais intensa no corte 02, este efeito se mostra suavizado neste corte.

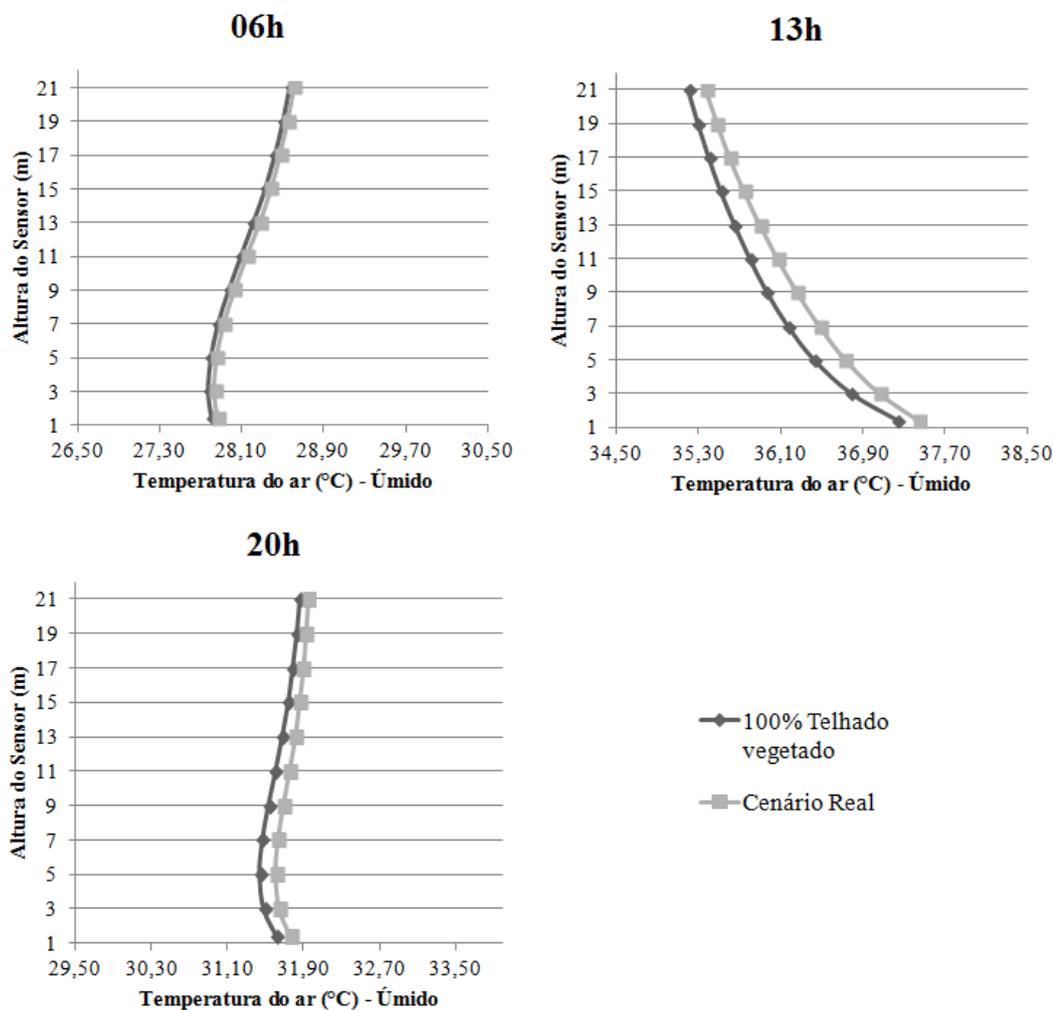
Nos dois cortes identificam-se alterações em grandes porções de ar localizadas acima e no entorno das coberturas, principalmente às 13h e 20h, caracterizando redução geral na temperatura do ar em torno de  $1,30^{\circ}\text{C}$ , às 13h e  $0,52^{\circ}\text{C}$ , às 20h.

Nos espaços mais próximos à vegetação observam-se reduções na temperatura do ar em torno de  $1,73^{\circ}\text{C}$ , às 13h, e  $0,70^{\circ}\text{C}$ , às 20h, nos dois cortes. No corte 02 os efeitos são mais expandidos devido o espalhamento provocado pela ventilação, no entanto ainda é possível identificar as mesmas reduções na temperatura observadas no corte 01.



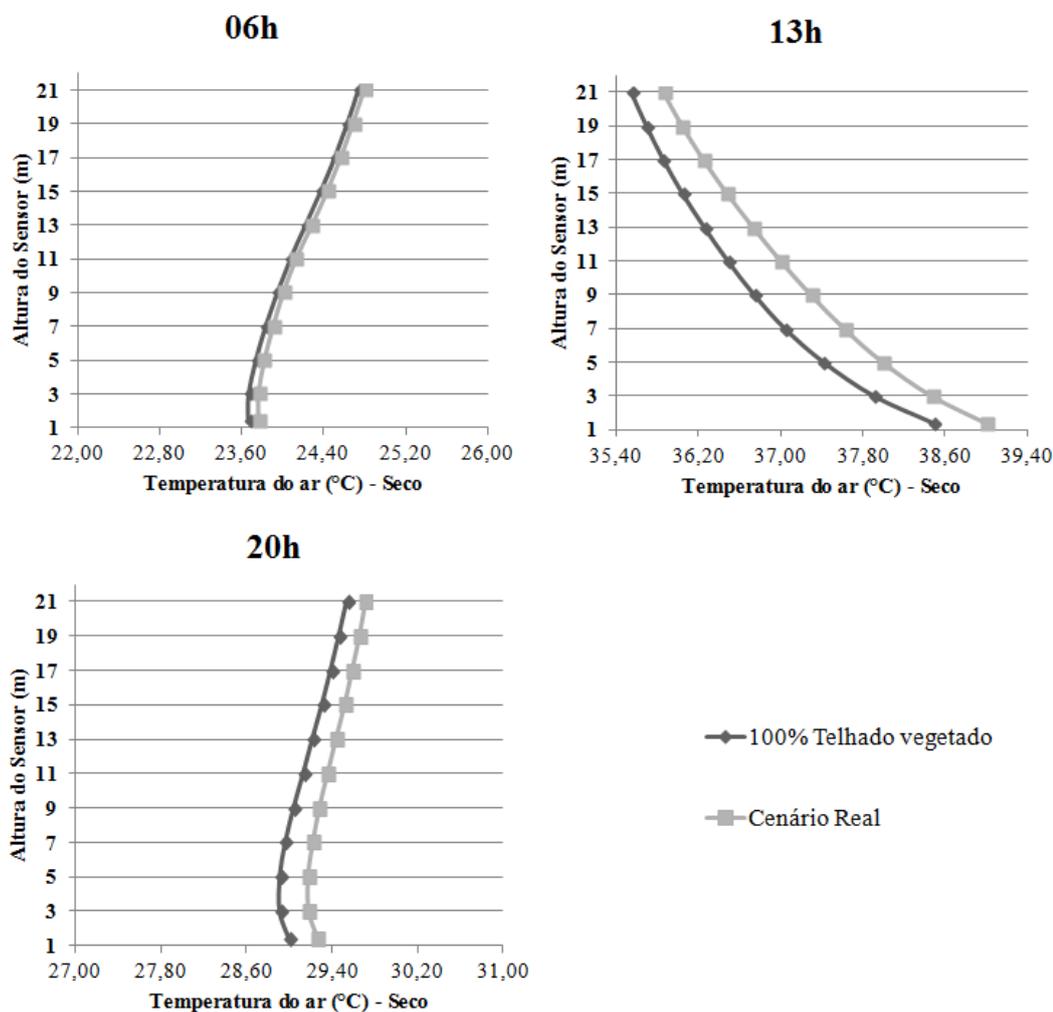
**Figura 133** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na temperatura do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

As Figura 134 e 135 ilustram o alcance vertical os efeitos da incorporação da vegetação no telhado, tanto para a atmosfera abaixo, quanto acima da cobertura, no espaço ocupado pelas ruas e calçadas.



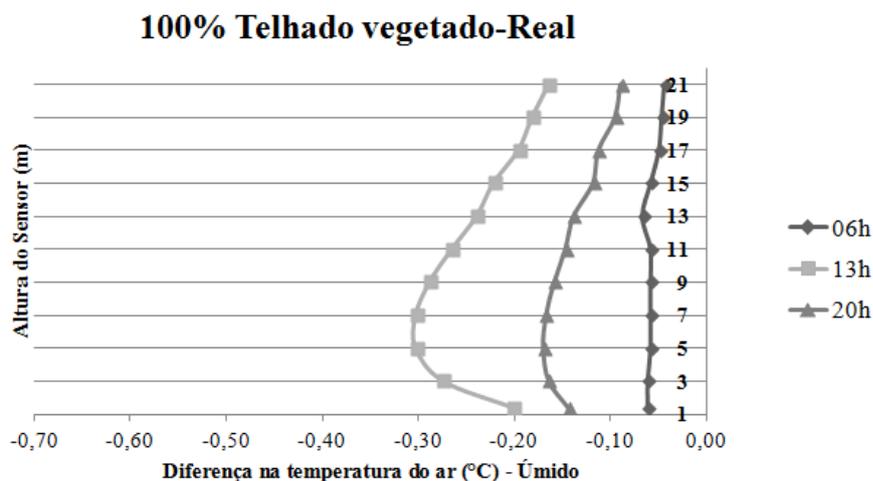
**Figura 134** - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período úmido

Confirma-se, através dos perfis, a pequena influência do telhado vegetado sobre esta região no horário das 6h, enquanto expressivas alterações são identificadas às 13h e 20h, tanto no período úmido quanto no período seco (Figura 135).



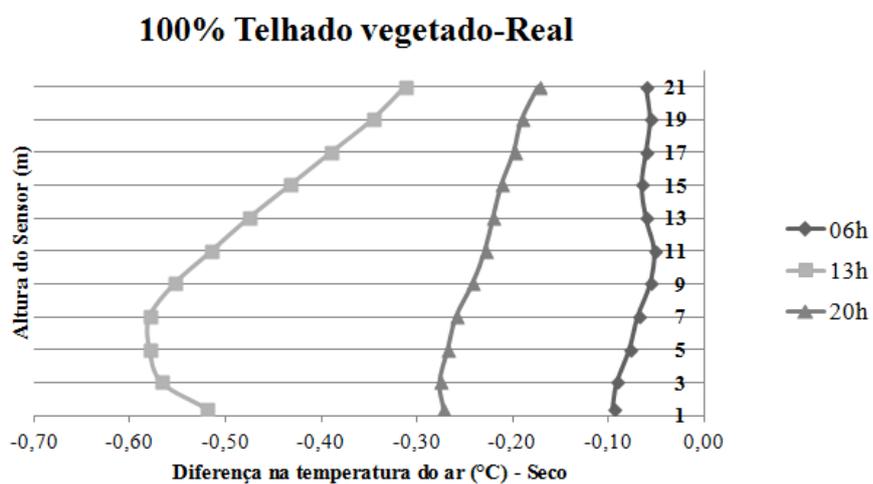
**Figura 135** - Perfil vertical da temperatura do ar nos receptores durante o período seco

Quando analisa-se a diferença entre as temperaturas observadas em cada cenário, para cada horário de medição (Figura 136 e 137), identifica-se, no período úmido, maior redução na temperatura do ar ( $0,30^{\circ}\text{C}$ ) às 13h, na altitude entre 5m e 7m. Às 20h a maior diferença na temperatura ( $0,16^{\circ}\text{C}$ ) foi observada na altitude de 5m, e às 6h ( $0,05^{\circ}\text{C}$ ) aos 13m.



**Figura 136** - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido

No período seco, de uma forma geral, os efeitos do telhado vegetado na temperatura do ar são mais intensos. Observa-se maior redução na temperatura ( $0,58^{\circ}\text{C}$ ) às 13h, na altitude entre 5m e 7m. Aos 3m de altitude identificam-se as maiores diferenças de temperatura no período das 20h ( $0,27^{\circ}\text{C}$ ), sendo na altitude de 1,6m a maior diferença no período das 6h ( $0,10^{\circ}\text{C}$ ).

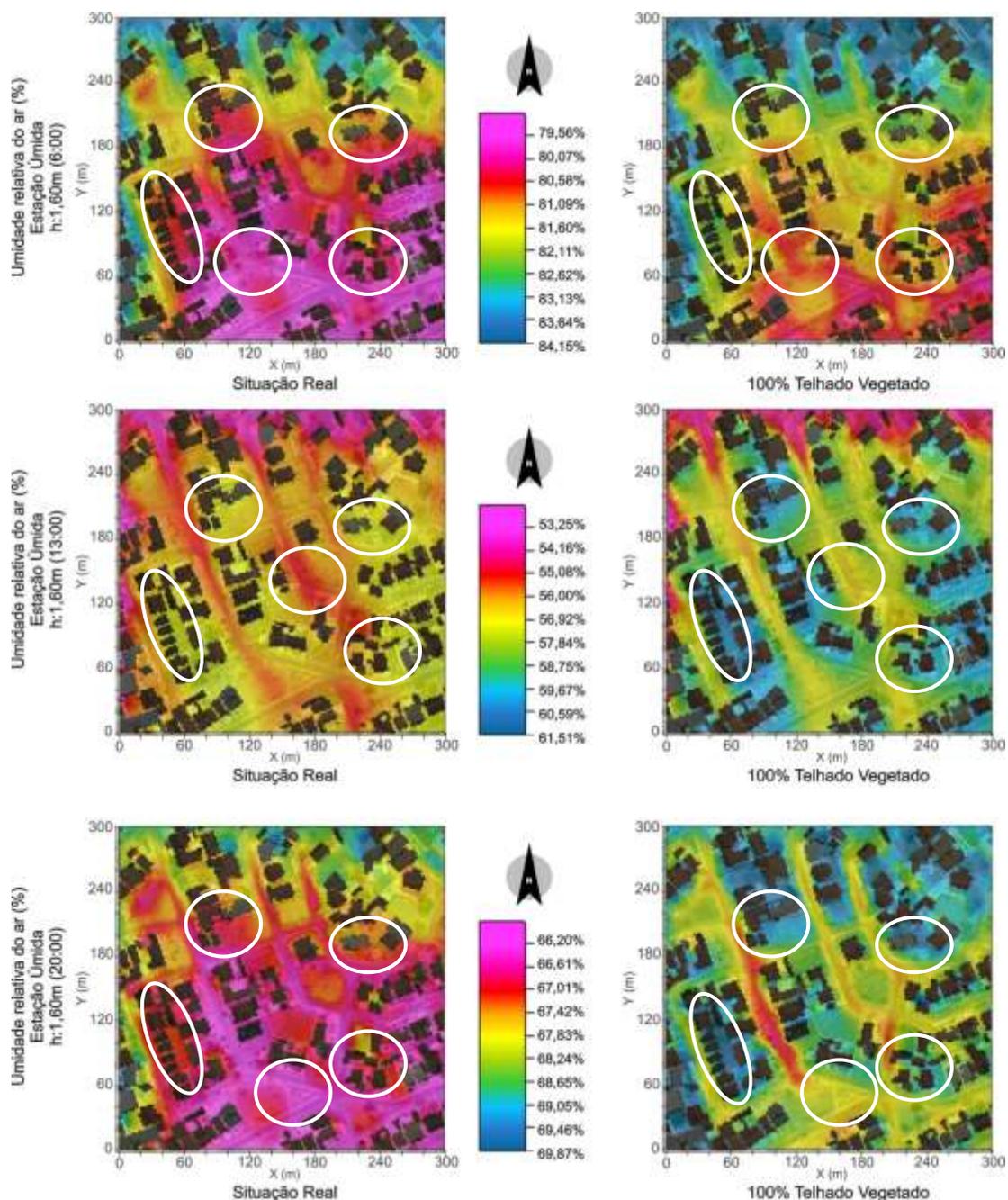


**Figura 137** - Perfil vertical da diferença de temperatura do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco

#### 4.6.2. Umidade relativa do ar

Os efeitos da incorporação da vegetação na umidade relativa do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 138 e 139.

A escala cromática utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições dos cenários anteriores, com 10% e 50% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 138** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

Os mapas apresentam alterações expressivas na umidade relativa do ar em todos os horários do dia, durante o período úmido.

Às 6h observam-se algumas regiões, tanto nas proximidades das edificações com telhado vegetado como nas ruas e calçadas, com modificações cromáticas. Em geral regiões, que inicialmente possuíam um tom avermelhado ou magenta, passaram a ser representadas por tons amarelados e esverdeados. Este efeito representa elevação na umidade relativa do ar em torno de 2,04%.

Às 13h e 20h as alterações são mais perceptíveis no mapa, caracterizando alteração cromática em porções maiores do território. Os efeitos são maiores na região próxima aos edifícios, caracterizada pelos quintais, representando, às 13h, elevação na umidade relativa do ar em torno de 4,59% e às 20h em torno de 3,06%.

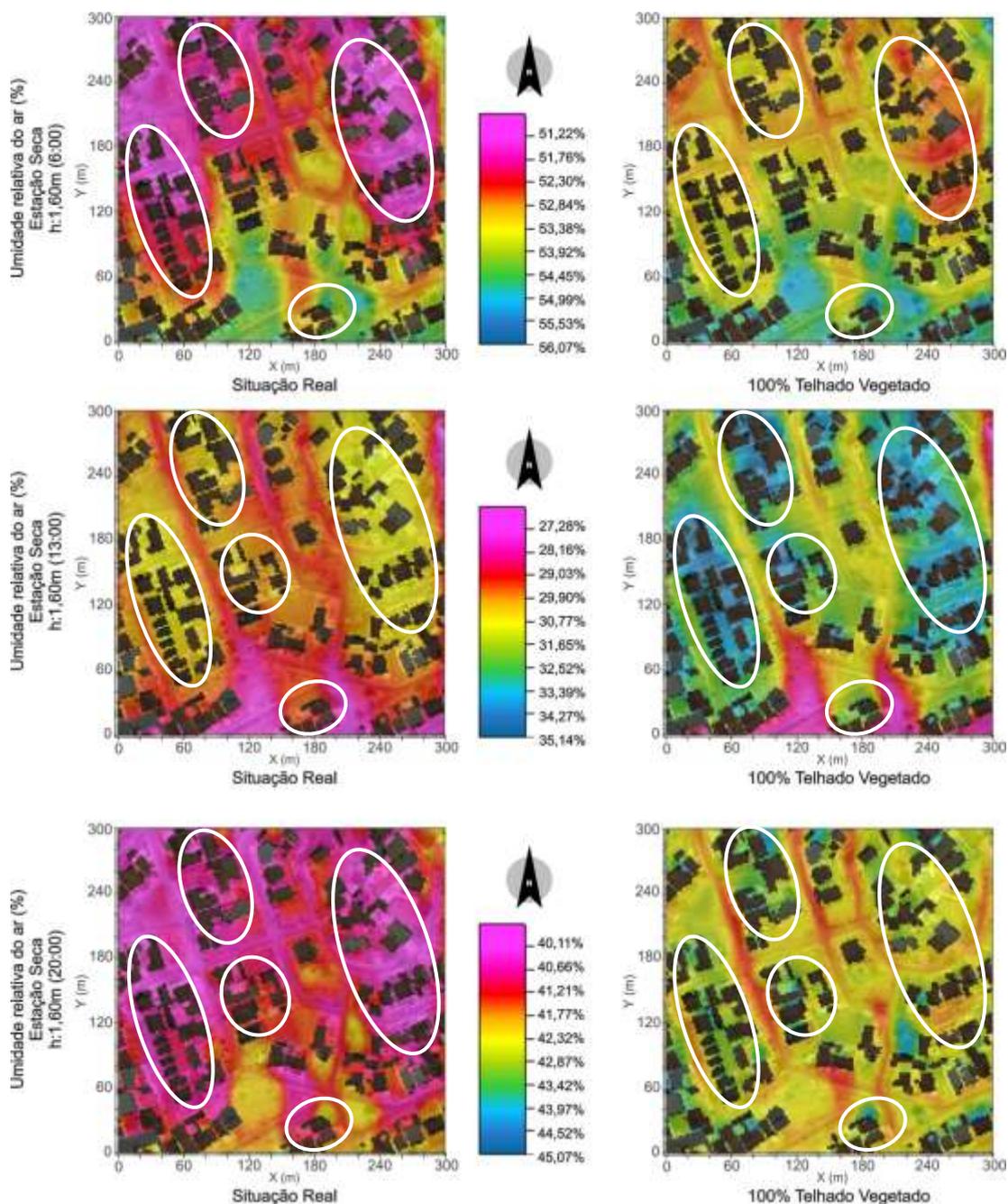
Neste cenário, durante o período úmido, observa-se, durante todo o dia, interferências provocadas pelo telhado vegetado tanto no espaço dos quintais, localizados no entorno da cobertura, quanto no espaço formado pelas ruas e calçadas, este último apresentando elevações na umidade relativa do ar de até 1,78%, às 6h, 2,30%, às 13h, e 2,05% às 20h.

No período seco identificam-se alterações cromáticas nos cortes em todos os horários do dia. As modificações na umidade relativa do ar ocorrem tanto nas proximidades dos edifícios com telhado vegetado como nos espaços mais afastados, definidos pela região das ruas e calçadas, conforme indicado na Figura 139.

A intensidade dos efeitos da vegetação é mais expressiva nos espaços estreitos entre os edifícios, sendo seguido pelo espaço formado pelos quintais, nas proximidades da vegetação, sendo mais sutil no espaço definido pelas ruas e calçadas, principalmente no horário das 6h.

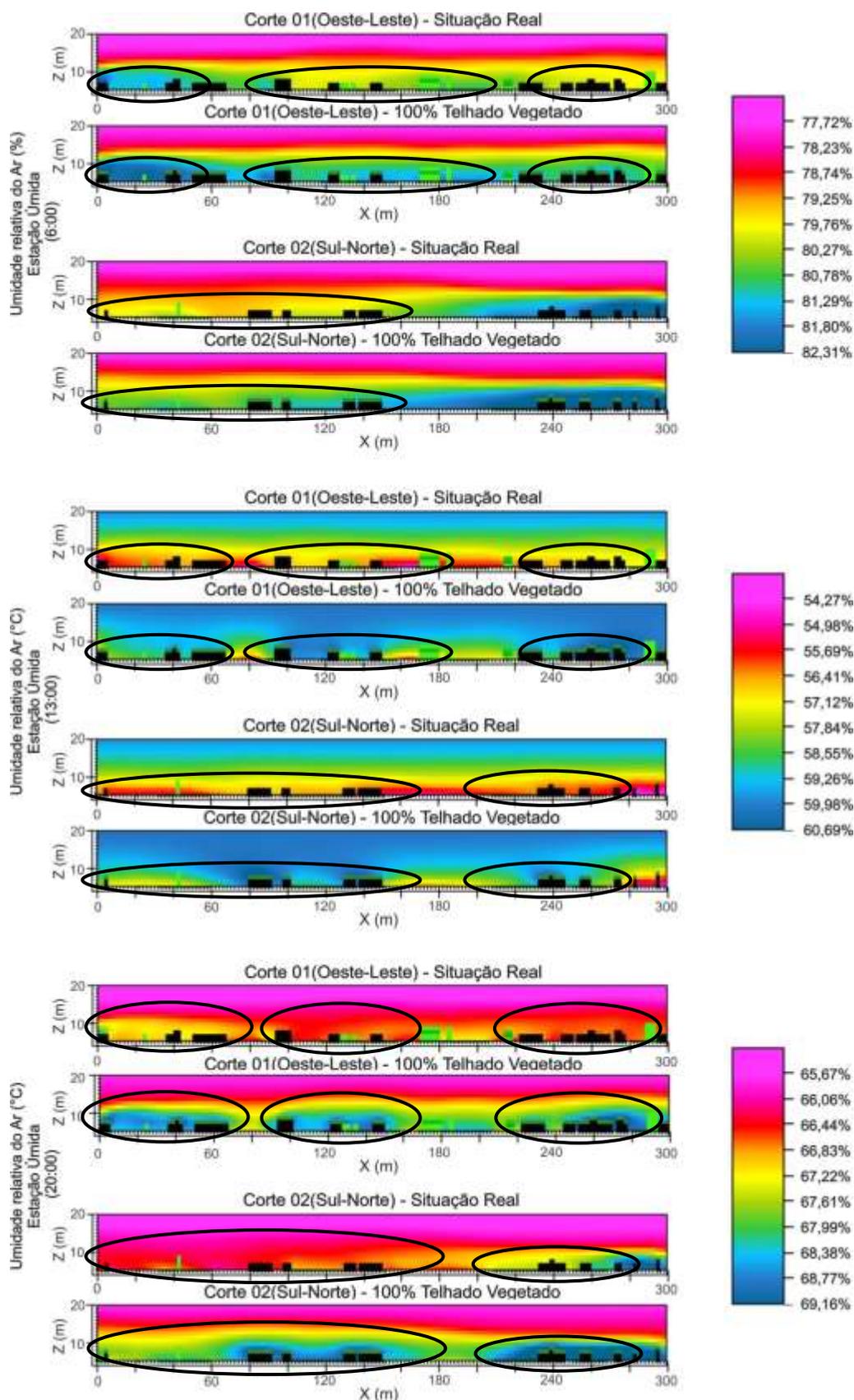
A incorporação do telhado vegetado em 100% dos edifícios provoca elevação na umidade relativa do ar em torno de 2,70%, às 6h, 4,37%, às 13h, e 2,75%, às 20h, nos espaços dos quintais. Observam-se ainda interferências mais expressivas em regiões estreitas formadas entre edifícios, onde identificou-se até 3,24% de elevação na umidade relativa do ar, às 6h, 4,80% , às 13h, e de 4,13%, às 20h.

Neste cenário é possível identificar impactos da vegetação em regiões mais afastadas, como nos espaços definidos pelas ruas e calçadas, em todos os horários do dia, durante o período seco. Às 6h identificam-se elevações na umidade relativa dos passeios em torno de 2,16%, às 13h 2,61% e às 20h 2,20%.



**Figura 139** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O efeito vertical da incorporação da vegetação nos telhados pode ser observado na Figura 140 e 141. A escala cromática utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições dos cenários anteriores, com 10% e 50% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 140** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período úmido, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

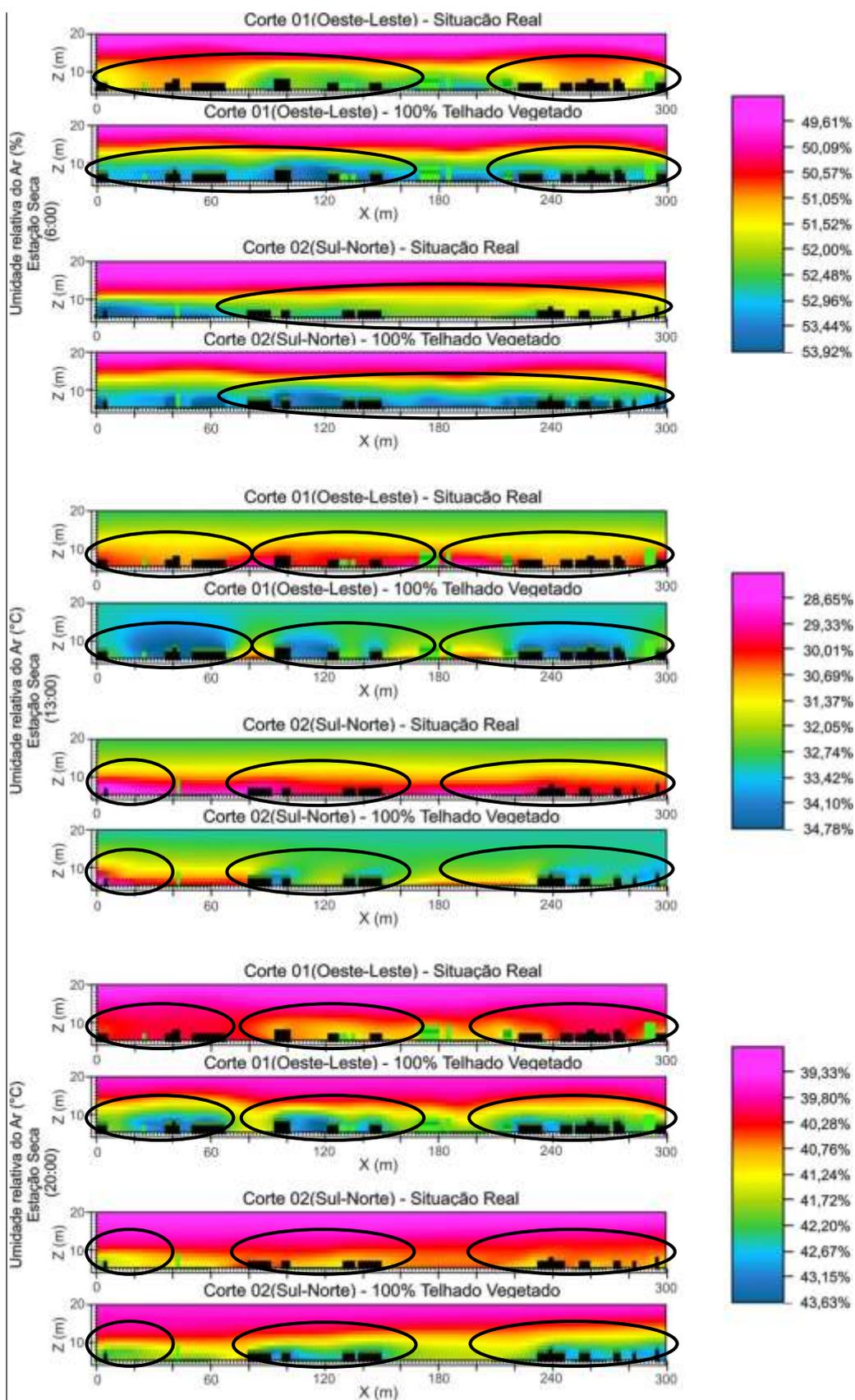
Os cortes apresentam alterações na umidade relativa do ar em todos os horários do dia, durante o período úmido. No entanto às 13h e 20h as alterações cromáticas são mais expressivas.

Às 6h, no corte 01, identifica-se, na atmosfera como um todo, o achatamento da camada de ar caracterizada pelo tom amarelado, e conseqüente aumento do volume da camada azulada, caracterizando a elevação geral na umidade relativa do ar, acima dos telhados, em torno de 1,27%. Nas proximidades dos edifícios, tanto ao nível da cobertura como ao nível do pedestre, observam-se alterações cromáticas mais expressivas, apresentando elevações na umidade relativa do ar em torno de 1,78%. No corte 02 o impacto da ventilação é maior evidenciando o espalhamento dos efeitos do telhado vegetado. Assim como no corte 01, identificam-se elevações na umidade relativa do ar em torno de 1,78%, tanto ao nível da cobertura quanto ao nível do pedestre, nas proximidades dos edifícios.

Às 13h, nos dois cortes, observa-se um achatamento mais expressivo da camada de ar caracterizada pelo tom amarelado, passando ela a ocupar somente as regiões mais baixas do corte, que passa a ser preenchido por uma grande massa de ar no tom azulado. Tal comportamento caracterizou a elevação geral na umidade relativa do ar acima dos telhados em torno de 2,14%. Nas proximidades dos edifícios, tanto ao nível da cobertura como ao nível do pedestre, identificam-se alterações cromáticas mais relevantes, apresentando elevações na umidade relativa do ar em torno de 3,57%.

Às 20h observa-se, nos dois cortes, que o alcance dos efeitos do telhado é mais expressivo. Grandes massas de ar, que envolvem os edifícios, sofrem alteração cromática devido à presença da vegetação no telhado. Nos dois cortes identifica-se elevação na umidade relativa do ar em torno de 2,33%, tanto ao nível dos telhados quanto dos pedestres. Apesar de a intensidade do impacto provocado pela incorporação da cobertura vegetada neste horário ser inferior ao observado às 13h, os efeitos são percebidos em maior extensão territorial, tanto horizontal quanto vertical.

Observa-se de uma forma geral, neste cenário, durante o período úmido, interferências provocadas pelo telhado vegetado tanto no espaço dos quintais, localizados no entorno da cobertura, quanto no espaço formado pelas ruas e calçadas, em todos os horários do dia.



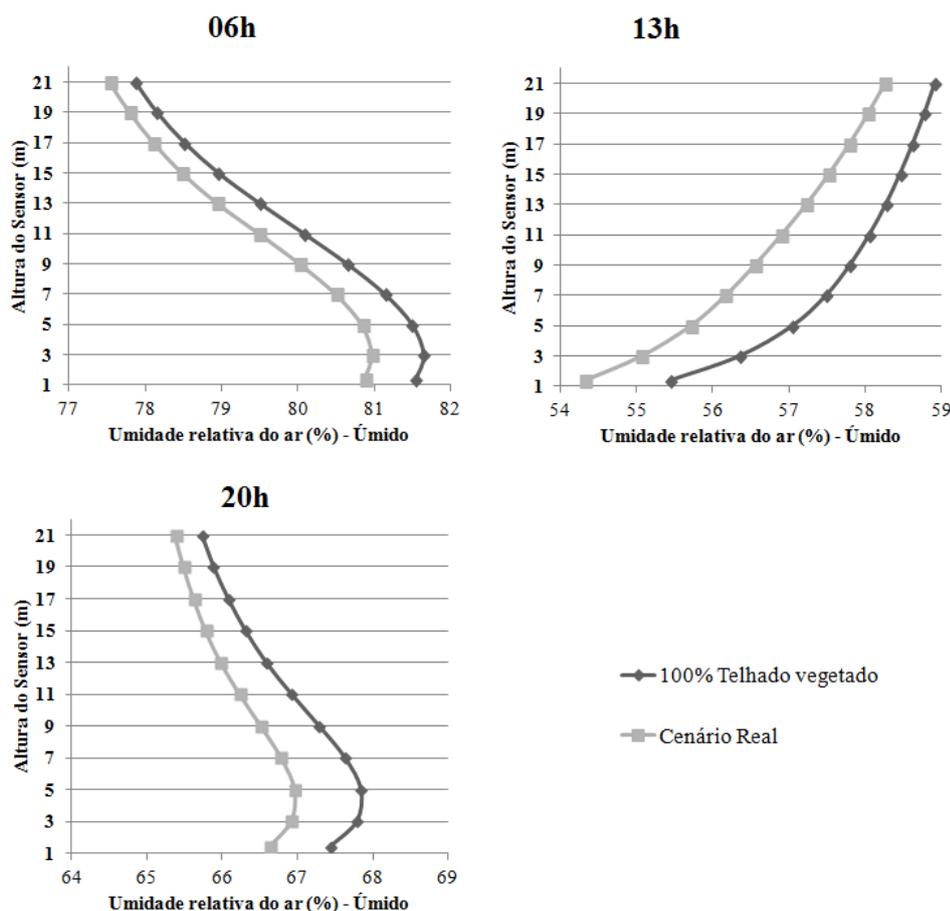
**Figura 141** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações na umidade relativa do ar durante o período seco, distribuição vertical em cortes longitudinais e transversais

No período seco, durante todo o dia, identificam-se alterações, provocadas pela vegetação, na umidade relativa do ar, estando o alcance destas alterações expandido até mesmo aos espaços afastados da vegetação.

Nos dois cortes observam-se alterações em grandes porções de ar localizada acima e no entorno das coberturas, caracterizando elevações gerais na umidade relativa do ar em torno de 0,48%, às 6h, 1,37%, às 13h e 0,96%, às 20h.

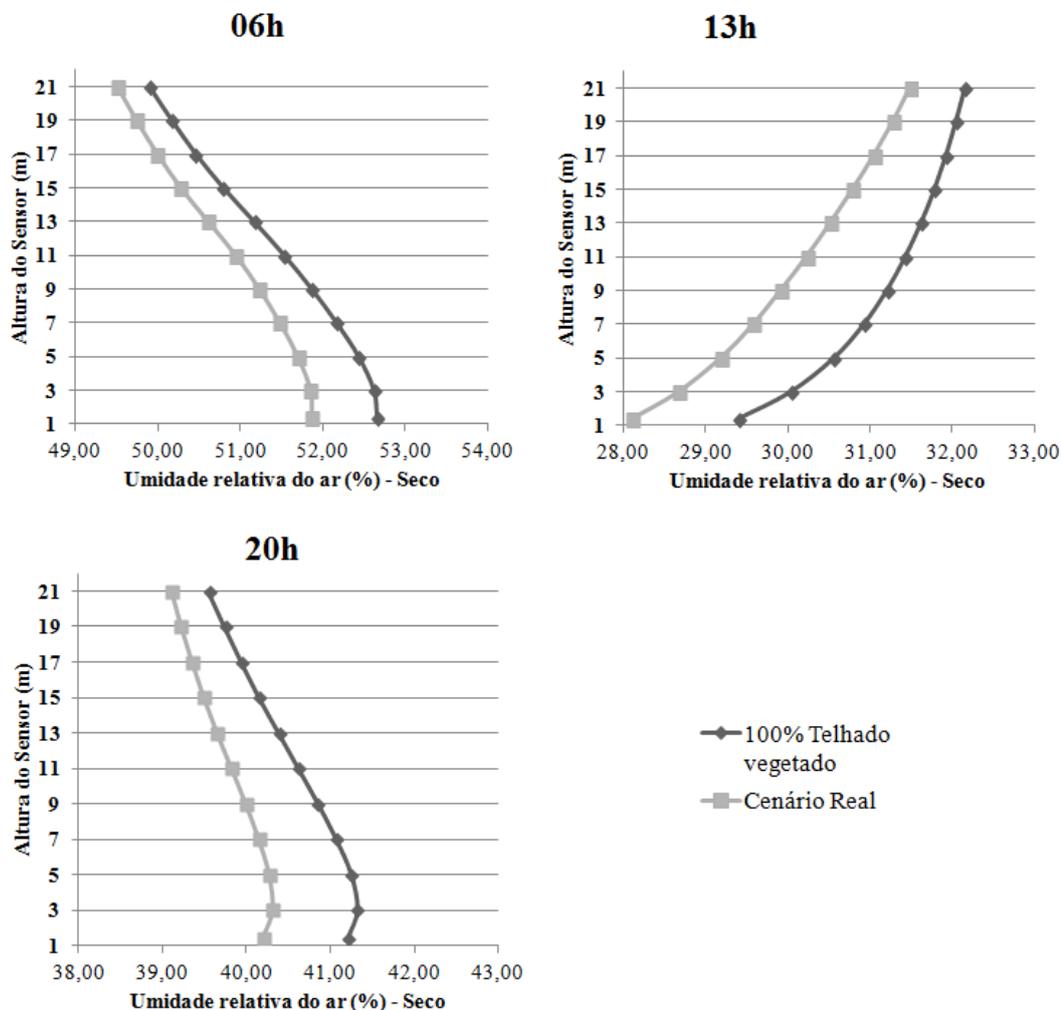
Nos espaços mais próximos à vegetação identificam-se elevações na umidade relativa do ar em torno de 2,39%, às 6h, 4,77%, às 13h e 3,60%, às 20h, nos dois cortes. No corte 02 os efeitos são mais expandidos devido o espalhamento provocado pela ventilação, no entanto ainda é possível identificar as mesmas elevações na umidade observadas no corte 01.

A Figura 142 e 143 ilustram o alcance vertical dos efeitos da incorporação da vegetação no telhado, tanto para a atmosfera abaixo, quanto acima da cobertura, no espaço ocupado pelas ruas e calçadas.



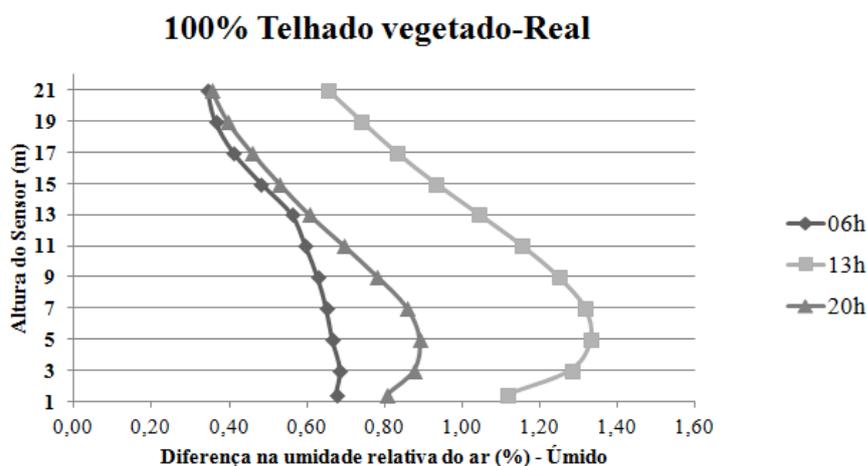
**Figura 142** - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período úmido

Confirma-se, através dos perfis, a influência do telhado vegetado sobre esta região em todos os horários do dia, tanto no período úmido quanto no período seco.



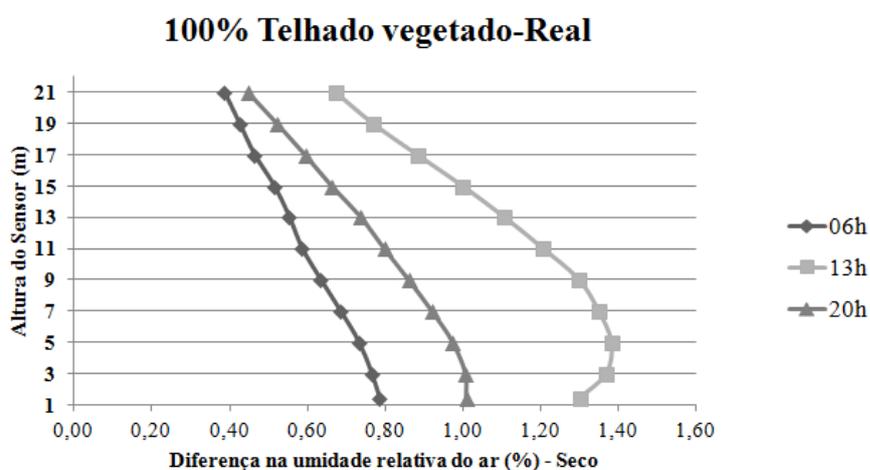
**Figura 143** - Perfil vertical da umidade relativa do ar nos receptores durante o período seco

Quando analisa-se a diferença entre as temperatura observadas em cada cenário para cada horário de medição (Figura 144 e 145), identifica-se, no período úmido, maior elevação na umidade relativa do ar (1,35%) às 13h, na altitude de 5m. Às 20h a maior diferença na umidade (0,88%) foi observada também na altitude de 5m, e às 6h (0,67%) se mantém praticamente constante até os 13m, oscilando entre 0,67% e 0,60%.



**Figura 144** - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período úmido

No período seco, a maior elevação na umidade relativa do ar (1,40%), ocorre às 13h, na altitude de 5m. Às 20h, observa-se a maior diferença de umidade relativa (1,00%) na altitude de 1,6m, sendo também esta a altitude com maior elevação na umidade (0,80%) às 6h.



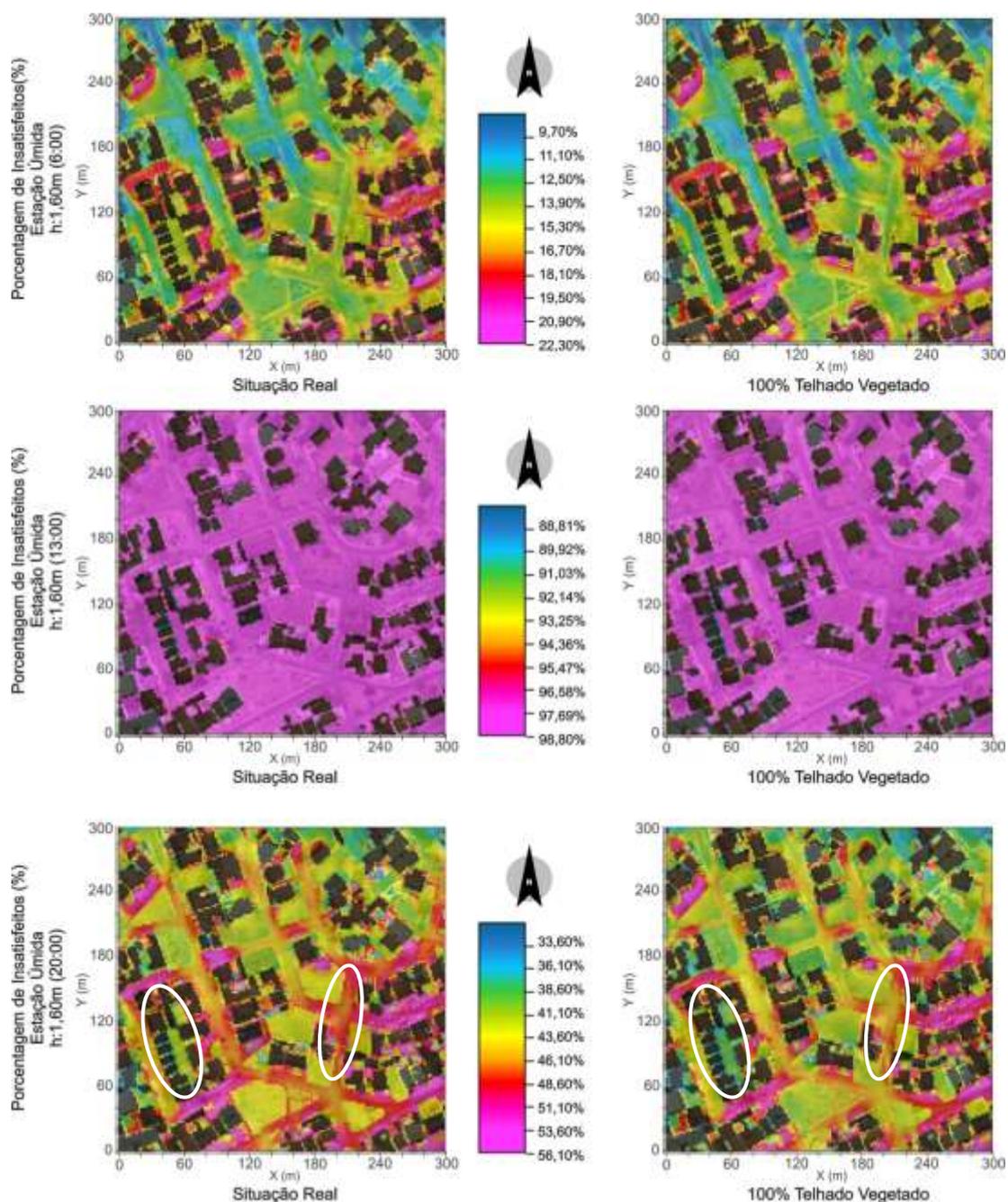
**Figura 145** - Perfil vertical da diferença da umidade relativa do ar entre os cenários com 100% de telhado vegetado e o Real, durante o período seco

Identifica-se nos dois períodos um comportamento semelhante entre as diferenças na umidade relativa do ar no horário das 13h, no entanto, às 6h e às 20h o comportamento da variação vertical desta diferença é modificado, sendo mais uniforme esta variação no período seco.

De forma geral as diferenças de umidade nos dois períodos, para este cenário, são semelhantes, sendo um pouco mais elevadas no período seco.

### 4.6.3. Conforto Térmico do pedestre

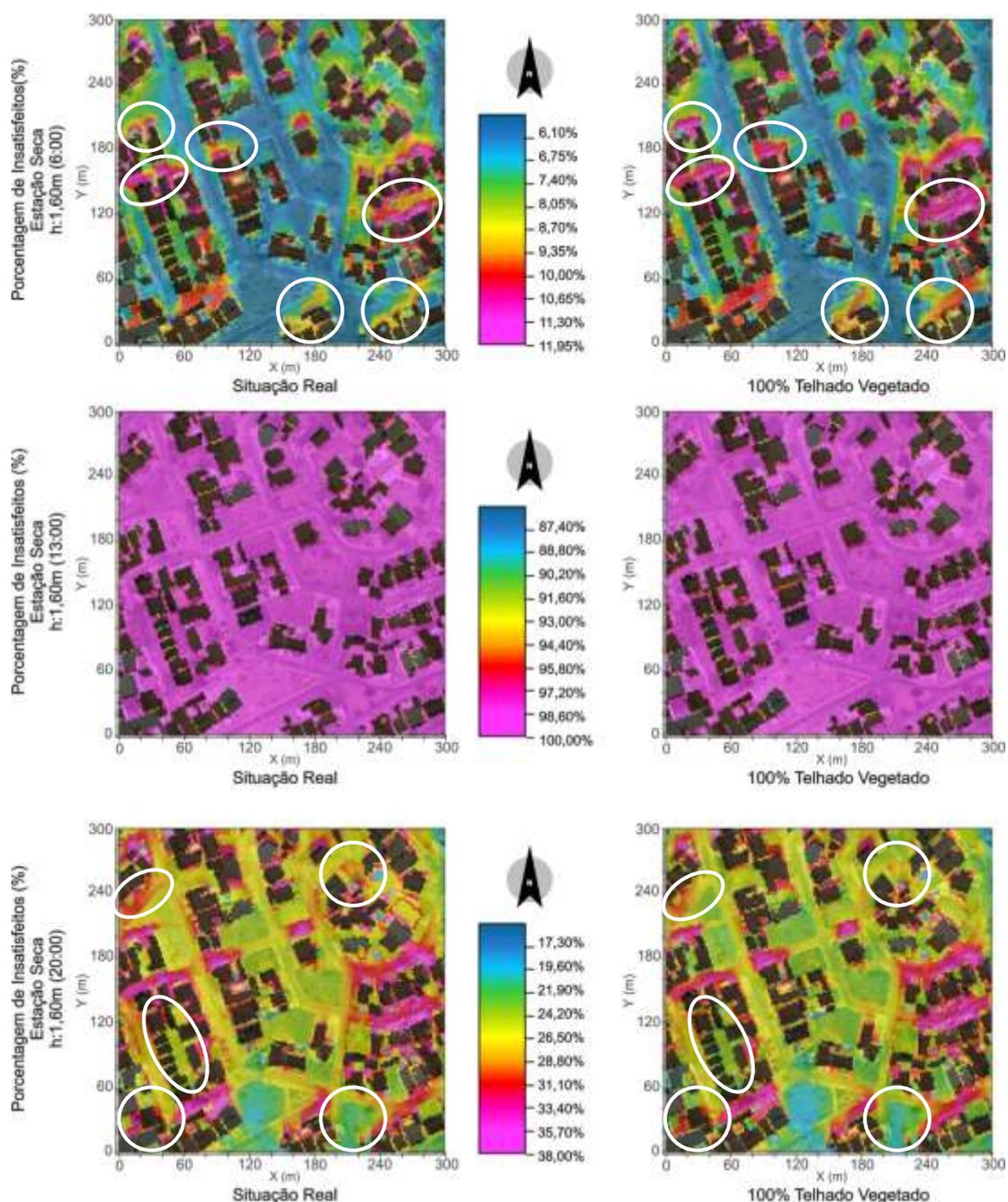
Os efeitos da incorporação da vegetação no conforto dos usuários, medidos ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, podem ser observados na Figura 146 e 147. A escala cromática utilizada para cada horário seguiu as mesmas definições dos cenários anteriores, com 10% e 50% das edificações com telhados vegetados.



**Figura 146** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações no PPD durante o período úmido, distribuição horizontal a 1,6m do solo

O PPI sofre a influência direta da ventilação, sendo identificadas menores proporções de pessoas insatisfeitas na região de entrada do vento no modelo, dependendo da temperatura do ar.

Os mapas cromáticos apresentam alterações expressivas no PPI somente às 20h, no período úmido, caracterizando redução da porcentagem de pessoas insatisfeitas em torno de 5,3%.



**Figura 147** - Efeitos da incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações no PPD durante o período seco, distribuição horizontal a 1,6m do solo

No período seco os mapas cromáticos apresentam alterações expressivas no PPI às 6h e às 20h, caracterizando elevação da porcentagem de pessoas insatisfeitas em torno de 3,25%, às 6h, e redução em torno de 3,45%, às 20h. A elevação na quantidade de pessoas insatisfeitas às 6h ocorre somente nas proximidades das ruas, e possui relação direta com a temperatura radiante destas superfícies que se mantém por mais tempo pela elevação na umidade provocada pela vegetação.

#### 4.7. ANÁLISE GERAL DOS EFEITOS DO TELHADO VEGETADO NO MICROCLIMA URBANO

##### 4.7.1. No espaço dos quintais

Considerando conjuntamente os resultados observados nos três cenários estudados é possível identificar padrões a serem reproduzidos como estratégia de planejamento urbano. O telhado vegetado produz efeitos diferenciados, quando utilizado em diferentes proporções de área, na atmosfera ao seu redor.

Os maiores efeitos observados nos quintais da área de estudo, para todas as variáveis analisadas, pela incorporação do telhado vegetado em 10% das edificações, são apresentados de forma resumida na Tabela 10 e Tabela 11.

**Tabela 10** - Resumo dos efeitos da ocupação de 10% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período úmido

HORA	TEMP (°C) (1,6M)	TEMP (°C) (CORTE)	UR (%) (1,6M)	UR (%) (CORTE)	PPI (%)
06h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13h	0,00	-0,43	0,00	2,50	0,00
20h	-0,14	-0,36	1,22	1,17	0,00

**Tabela 11** - Resumo dos efeitos da ocupação de 10% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período seco

HORA	TEMP (°C) (1,6M)	TEMP (°C) (CORTE)	UR (%) (1,6M)	UR (%) (CORTE)	PPI (%)
06h	0,00	0,00	0,81	0,91	0,00
13h	-0,72	-1,07	1,75	2,05	0,00
20h	-0,42	-0,35	1,66	1,20	0,00

Os efeitos na temperatura do ar são maiores no período seco, com redução de até 1,07°C, enquanto na umidade relativa do ar os efeitos foram mais expressivos no período úmido, com elevação de até 2,50%, ambas às 13h. Em nenhum dos períodos observou-se alterações no conforto dos pedestres.

Bass (2002), em Toronto, Canadá, observou redução de 0,5°C na ilha de calor urbana quando 5% da área total de telhados da cidade foi substituída por telhados vegetados. Considerando a redução de 1,07°C na temperatura do ar, com 10% dos telhados ocupados por vegetação, observada no local de estudo, e considerando o baixo adensamento construtivo da área juntamente com a elevada quantidade de vegetação nas ruas e quintais, este cenário apresenta-se como uma estratégia para minimização dos efeitos da ilha de calor na cidade de Cuiabá.

No entanto os benefícios são percebidos, na maior parte do ano, somente nas proximidades das coberturas com vegetação. Somente no período seco os efeitos podem ser percebidos mesmo em quintais afastados da cobertura.

Os maiores efeitos observados nos quintais da área de estudo, pela incorporação do telhado vegetado em 50% das edificações, são apresentados na Tabela 12 e Tabela 13.

**Tabela 12** - Resumo dos efeitos da ocupação de 50% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período úmido

HORA	TEMP (°C) (1,6M)	TEMP (°C) (CORTE)	UR (%) (1,6M)	UR (%) (CORTE)	PPI (%)
06h	0,00	0,00	1,28	1,02	0,00
13h	-0,45	-0,58	2,29	2,14	0,00
20h	-0,28	-0,24	1,23	1,55	0,00

**Tabela 13** - Resumo dos efeitos da ocupação de 50% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período seco

HORA	TEMP (°C) (1,6M)	TEMP (°C) (CORTE)	UR (%) (1,6M)	UR (%) (CORTE)	PPI (%)
06h	0,00	0,00	1,35	0,96	0,00
13h	-1,56	-1,08	2,62	2,73	0,00
20h	-0,42	-0,35	2,21	1,92	-2,30

Neste cenário todos os efeitos foram mais expressivos no período seco. Na temperatura do ar identifica-se redução de até 1,56°C, na umidade relativa do ar elevação de até 2,73% e no conforto dos pedestres identifica-se redução de 2,30% na porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPI). Os impactos do telhado vegetado, para esta ocupação, foram maiores às 13h, com exceção do conforto para o qual a interferência da cobertura se deu de forma mais expressiva às 20h.

No entanto os benefícios são percebidos, na maior parte do ano, somente nas proximidades das coberturas com vegetação. Somente no período seco os efeitos podem ser percebidos mesmo em quintais afastados da cobertura. Vale reforçar que, como 50% da área das cobertura foi ocupada por vegetação, a quantidade de regiões nas proximidades desta cobertura abrange em torno de 50% de toda a região estudada.

Os maiores efeitos observados nos quintais da área de estudo, pela incorporação do telhado vegetado em 100% das edificações, são apresentados na Tabela 14 e Tabela 15.

**Tabela 14** - Resumo dos efeitos da ocupação de 100% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período úmido

HORA	TEMP (°C) (1,6M)	TEMP (°C) (CORTE)	UR (%) (1,6M)	UR (%) (CORTE)	PPI (%)
06h	0,00	0,00	2,04	1,78	0,00
13h	-0,72	-1,16	4,59	3,57	0,00
20h	-0,55	-0,46	3,06	2,33	-5,30

**Tabela 15** - Resumo dos efeitos da ocupação de 100% de telhados vegetados no espaço dos quintais, período seco

HORA	TEMP (°C) (1,6M)	TEMP (°C) (CORTE)	UR (%) (1,6M)	UR (%) (CORTE)	PPI (%)
06h	-0,42	0,00	2,70	2,39	3,25
13h	-1,56	-1,73	4,37	4,77	0,00
20h	-0,84	-0,70	2,75	3,60	-3,45

Também neste cenário os efeitos na temperatura e na umidade relativa do ar foram mais expressivos no período seco. Na temperatura do ar identifica-se redução de até 1,73°C, e na umidade relativa do ar elevação de até 4,77%. No conforto dos pedestres observa-se redução de 5,30% na porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) no

período úmido, no qual os efeitos do telhado sobre esta variável foi mais expressivo. Os impactos do telhado vegetado, para esta ocupação, foram maiores às 13h, com exceção do conforto para o qual a interferência da cobertura se deu de forma mais expressiva às 20h, assim como no cenário com ocupação de 50% dos telhados pela vegetação.

Este resultado confirma o potencial desta estratégia como elemento de minimização dos efeitos da ilha de calor na cidade de Cuiabá. Isto se confirma pelo fato de que, mesmo em condições de baixo adensamento construtivo e de preservação da vegetação nas ruas e quintais, este cenário apresentou maiores reduções na temperatura do ar que as observadas por Peng e Jim (2013), para a cidade de Hong Kong. As variações horizontais dos efeitos de resfriamento ao nível do pedestre observadas por Peng e Jim (2013) vão de 0,0°C à 0,7°C com a utilização de cobertura verde extensiva em 100% dos telhados na área de estudo.

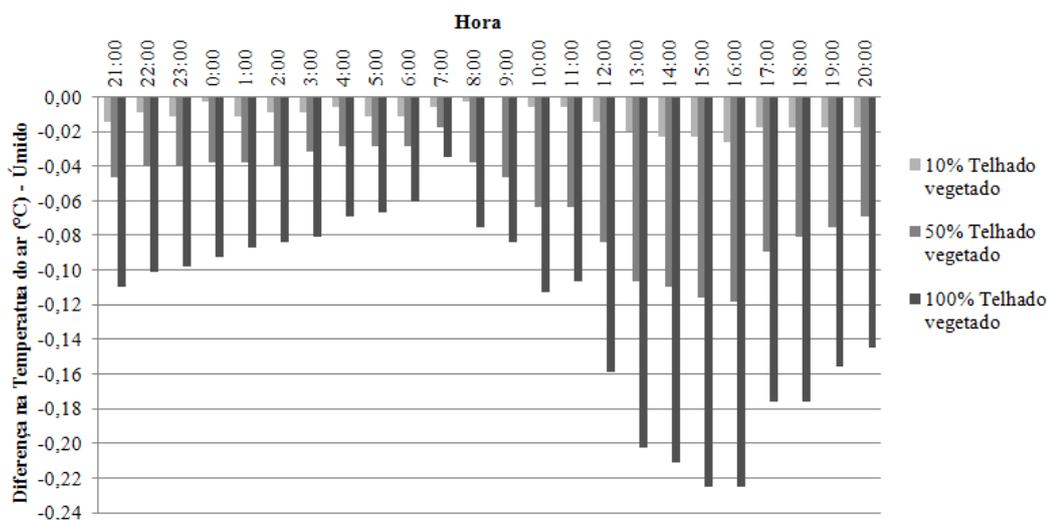
Peng e Jim (2013) ainda observam que os telhados verdes podem melhorar profundamente o nível de conforto térmico ao nível dos telhados. Em um dia de verão quente e ensolarado, o telhado vegetado extensivo poderia reduzir os períodos "quente" e "muito quente", por 6 a 9 h. No entanto, os telhados verdes dificilmente podem alterar o conforto térmico no nível do solo, o que foi identificado neste trabalho somente às 20h nos cenários com 50% e 100% de telhado vegetado, de forma pouco expressiva.

#### **4.7.2. No espaço das ruas**

Considerando conjuntamente os resultados observados nos três cenários estudados é possível identificar padrões a serem reproduzidos como estratégia de planejamento urbano. O telhado vegetado produz efeitos diferenciados, quando utilizado em diferentes proporções de área, na atmosfera ao seu redor.

##### ***4.7.2.1. Temperatura do ar***

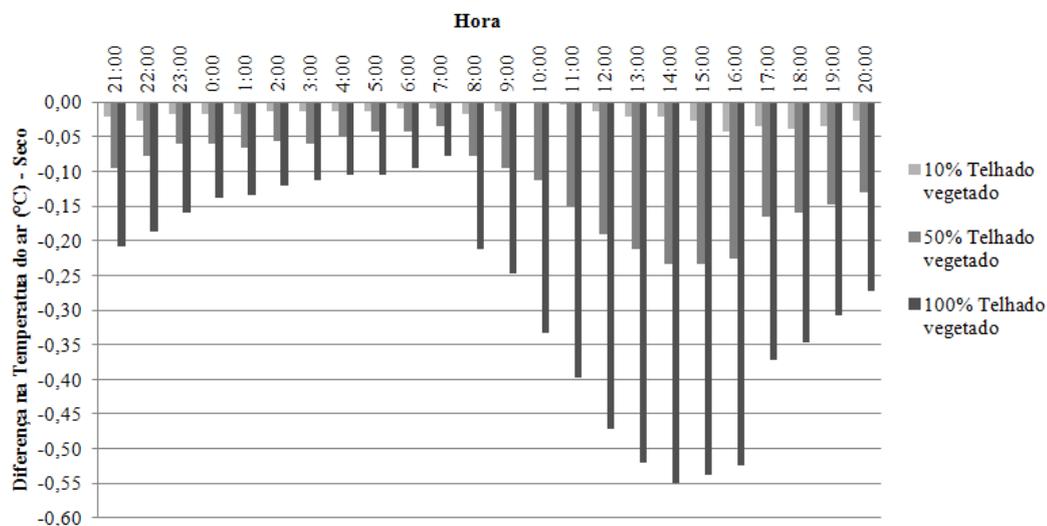
O efeito, das diferentes proporções de incorporação da vegetação no telhado, na temperatura do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, pode ser observado na Figura 148 e 161. Os valores apresentados representam a média dos resultados de temperatura do ar (°C) obtidos nos pontos receptores em cada cenário, posicionados sobre os eixos carroçáveis das ruas, em uma porção intermediária entre o centro da via e a calçada.



**Figura 148** – Efeito geral da incorporação do telhado vegetado na temperatura do ar ao nível do pedestre, durante o período úmido

A incorporação do telhado vegetado no sistema de coberturas da região de estudo apresenta, em qualquer proporção de ocupação, redução na temperatura do ar no espaço das ruas e calçadas. No período úmido, identifica-se a redução máxima de  $0,22^{\circ}\text{C}$  às 15h e 16h com ocupação de 100% das coberturas com telhado vegetado, sendo a redução mínima de  $0,035^{\circ}\text{C}$  observada às 7h.

Nos demais cenários os horários de maior e menor interferência do telhado vegetado se repetem, sendo, no entanto, a intensidade destes efeitos inferior à observada no cenário com 100% de telhado vegetado. No período úmido, a máxima redução na temperatura do ar observada no cenário com ocupação de 10% foi de  $0,025^{\circ}\text{C}$  e de  $0,12^{\circ}\text{C}$  no cenário com 50% de telhado vegetado.



**Figura 149** – Efeito geral da incorporação do telhado vegetado na temperatura do ar ao nível do pedestre, durante o período seco

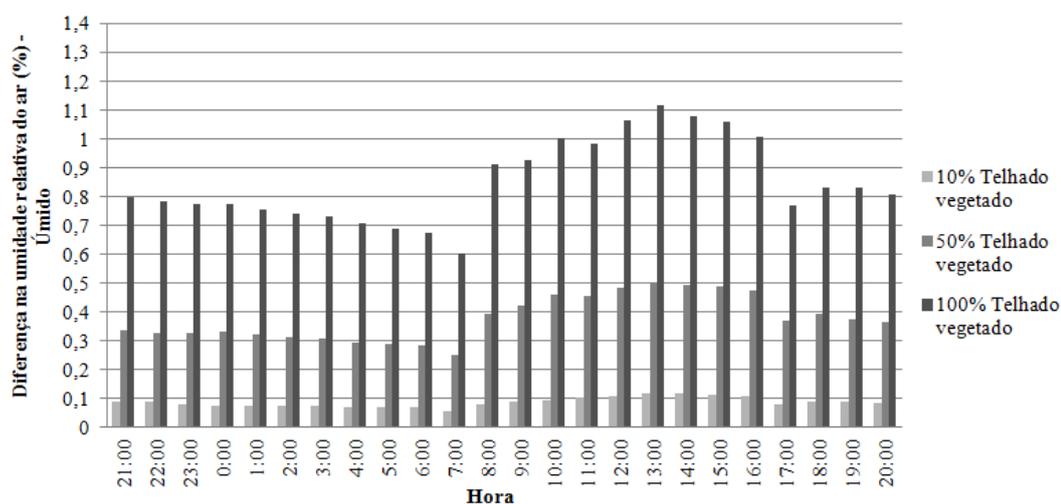
No período seco, identifica-se a redução máxima de  $0,55^{\circ}\text{C}$  às 14h, com ocupação de 100% das coberturas com telhado vegetado, sendo a redução mínima de  $0,06^{\circ}\text{C}$  observada às 7h.

Nos demais cenários os horários de maior e menor interferência do telhado vegetado se repetem, sendo, no entanto, a intensidade destes efeitos inferior à observada no cenário com 100% de telhado vegetado. No período seco, a máxima redução na temperatura do ar observada no cenário com ocupação de 10% foi de  $0,04^{\circ}\text{C}$  e de  $0,23^{\circ}\text{C}$  no cenário com 50% de telhado vegetado.

De forma geral os efeitos do telhado vegetado na temperatura do ar são melhor percebidos durante o período seco, confirmando as conclusões de Rosseti (2013b) em estudo desenvolvido também na cidade de Cuiabá.

#### 4.7.2.2. Umidade relativa do ar

O efeito, das diferentes proporções de incorporação da vegetação no telhado, na umidade relativa do ar, medida ao nível do pedestre, nos dois períodos do ano, pode ser observado na Figura 150 e 163. Os valores apresentados representam a média dos resultados de umidade relativa do ar (%) obtidos nos pontos receptores em cada cenário, posicionados sobre os eixos carroçáveis das ruas, em uma porção intermediária entre o centro da via e a calçada.



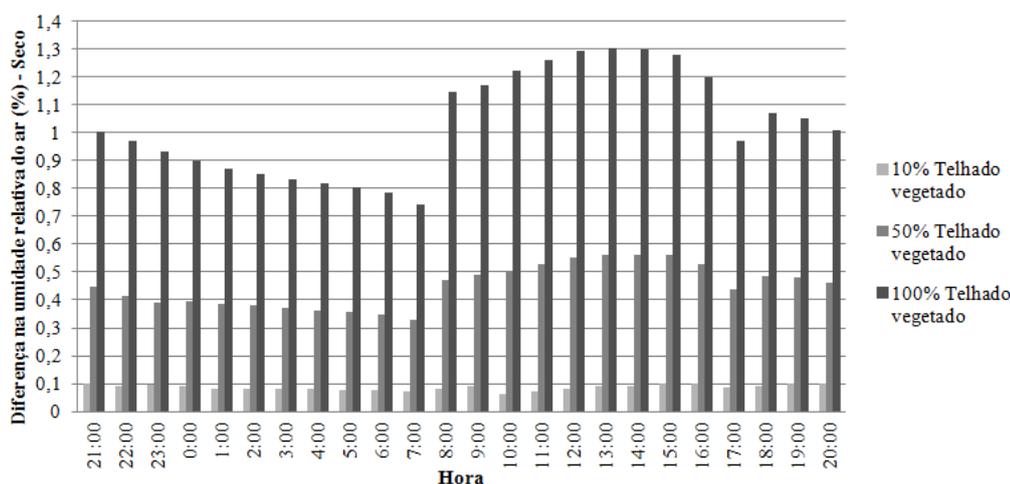
**Figura 150** - Efeito geral da incorporação do telhado vegetado na umidade relativa do ar durante o período úmido

A incorporação do telhado vegetado no sistema de coberturas da região de estudo apresenta, em qualquer proporção de ocupação, elevação na umidade relativa do ar no espaço das ruas e calçadas. No período úmido, identifica-se a elevação máxima de

1,12% às 13h com ocupação de 100% das coberturas com telhado vegetado, sendo a elevação mínima de 0,60% observada às 7h.

Nos demais cenários os horários de maior e menor interferência do telhado vegetado se repetem, sendo, no entanto, a intensidade destes efeitos inferior à observada no cenário com 100% de telhado vegetado. No período úmido, a máxima elevação na umidade relativa do ar observada no cenário com ocupação de 10% foi de 0,12% e de 0,50% no cenário com 50% de telhado vegetado.

No período seco, identifica-se a elevação máxima de 1,30% às 13h e 14h com ocupação de 100% das coberturas com telhado vegetado, sendo a elevação mínima de 0,75% observada às 7h.



**Figura 151** - Efeitos geral da incorporação do telhado vegetado na umidade relativa do ar durante o período seco

Nos demais cenários os horários de maior e menor interferência do telhado vegetado se repetem, sendo, no entanto, a intensidade destes efeitos inferior à observada no cenário com 100% de telhado vegetado. No período seco, a máxima elevação na umidade relativa do ar observada no cenário com ocupação de 10% foi de 0,10% e de 0,55% no cenário com 50% de telhado vegetado.

De forma geral os efeitos do telhado vegetado na umidade relativa do ar são melhor percebidos durante o período seco, confirmando as conclusões de Rosseti (2013b) em estudo desenvolvido também na cidade de Cuiabá.

A utilização do telhado vegetado de forma generalizada, em diferentes proporções, demonstrou modificações no microclima na escala do bairro, resultado observado também por Peng e Jim (2013), que descrevem estes impactos tanto na escala

horizontal quanto vertical, influenciando os moradores tanto ao nível do pedestre quanto em níveis mais elevados que a cobertura, no caso de edificações com mais de um pavimento. Neste último caso os moradores podem observar, também neste nível, os efeitos do telhado vegetado presente na vizinhança.

## 5. CONCLUSÕES

O bairro Jardim Califórnia foi a região que melhor atendeu as condicionantes de desenvolvimento deste estudo na cidade de Cuiabá.

Os levantamentos microclimático na Sub-camada Rugosa (SR) e na Camada de Dossel Urbano (CDU) demonstraram de forma clara o comportamento das variáveis climáticas, permitindo a sua utilização para validação do modelo ENVI-Met;

Quanto ao método aerofotogramétrico, utilizado para o levantamento e caracterização da zona urbana de estudo, apresentou-se como mais preciso e específico, permitindo observar características das coberturas que não podem ser visualizados pela fachada;

Tanto no cenário do Bloco de Pós Graduação em Física Ambiental quanto no cenário do bairro Jardim Califórnia observa-se elevada qualidade na previsão da temperatura do ar, não sendo tão expressiva para a umidade relativa do ar. Em geral, os resultados confirmam a validade do modelo ENVI-Met como uma ferramenta de previsão microclimática para a cidade de Cuiabá;

A configuração utilizada no arquivo de entrada apresentou-se adequada para o cenário e a realidade climática local, sendo apresentados no Anexo 1 desta tese todos os procedimentos necessários para a obtenção de seus parâmetros;

A incorporação do telhado vegetado em diferentes proporções, na área de estudo, foi capaz de minimizar os efeitos da ICU em todos os cenários estudados, efeitos mais expressivos foram identificados no período seco, e no cenário com 100% de telhado vegetado;

Os cenários com telhado vegetado não provocaram alterações expressivas no conforto térmico ao nível do solo.

Considerando os resultados observados neste trabalho, comparado aos observados por outros autores, confirma-se o potencial do telhado vegetado como

estratégia de mitigação dos efeitos da ICU, em qualquer morfologia de ocupação, em cidades brasileiras de clima tropical (Cuiabá-MT).

### **5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Considerando os resultados obtidos para uma zona urbana de baixo adensamento, recomenda-se que os efeitos do telhado vegetado sejam observados também em zonas urbanas com médio e alto adensamento construtivo, de forma a dimensionar os benefícios deste tipo de cobertura em outras realidades urbanas.

Tendo em conta a precisão dos resultados obtidos através do levantamento aerofotogramétrico da área de estudo, recomenda-se a disseminação desta técnica e desenvolvimento de novos trabalhos utilizando esta metodologia de levantamento espacial.

Recomenda-se ainda que sejam realizados estudos mais aprofundados sobre o arquivo de configuração do modelo ENVI-Met de forma a estudar os impactos de cada variável no clima de Cuiabá.

## 6. BIBLIOGRAFIAS

### 6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ADEBAYO, Y. R. A note on the effect of urbanization on temperature in Ibadan. **Journal Climatol.**, v. 7, p. 185-192, 1987.

AHMAD, K.; KHARE, M.; CHAUDHRY, K.K. Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections a review. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 93, n. 9, p. 697–717, 2005.

AKBARI, H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. **Environ. Pollut.**, v. 116, p. S119–S126, 2002.

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.

AKBARI, H.; ROSE, S.L.; TAHA, H. Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. **Landscape and Urban Planning**, v. 63, p. 1-14, 2003.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, v. 81, p. 742-754, 2007a.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Build Environ.**, v. 42, p. 1553–1554, 2007b.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical Study on the Effects of Aspect Ratio and Orientation of an Urban Street Canyon on Outdoor Thermal Comfort in Hot and Dry Climate. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 94-108, 2006.

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Thermal comfort in urban streets with trees under hot summer conditions. In: PROCEEDINGS OF 22ND CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA), Beirut, Lebanon. v. 2; p. 699–704, 2005.

AMERICAN FORESTS. **Urban Ecosystem Analysis for the Atlanta Metro Area**. Washington De, American Forests, v. 12, 2001.

AMERICAN FORESTS. **Urban Ecosystem Analysis for the Houston Gulf Coast Region**. Washington DC, American Forests, v. 8, 2000.

ANDRADE, D. **Fotogrametria básica**. Rio de Janeiro: IME, 1997. Fotogrametria. Curitiba: SBEE, 1998.

- ANDRADE, H.; ALCOFORADO, M. J. Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 92, p. 225–37, 2007.
- ANGUELOV, D.; DULONG, C.; FILIP, D.; FRUEH, C.; LAFON, S.; LYON, R.; WEAVER, J. Google street view: Capturing the world at street level. **Computer**, v. 43, n. 6, p. 32-38, 2010.
- ARNFIELD, A. J. A simple model of urban canyon energy budget and its validation. **Physical Geography**, v. 21, p. 305–326, 2000.
- ARNFIELD, A. J. Simulating radiative energy budgets within the urban canopy layer. **Modeling and Simulation**, v. 15, p. 227–233, 1984.
- ARNFIELD, A. J. Two Decades Of Urban Climate Research: A Review Of Turbulence, Exchanges Of Energy and Water, and the Urban Heat Island. **Int. Journal Climatol.**, v. 23, p. 1-26, 2003.
- ARNFIELD, A. J.; GRIMMOND, C. S. B. An urban canyon energy balance model and its application to urban storage heat flux modelling. **Energy Build.**, v. 27, p. 61–68, 1998.
- ARNFIELD, A. J.; HERBERT, J. M.; JOHNSON, G. T. A numerical simulation investigation of urban canyon energy budget variations. Preprints, **Second Symp. on the Urban Environment**, Albuquerque, NM, Amer. Meteor. Soc., p. 2–5, 1998.
- ASHIE, Y.; THANH, V. C.; ASAEDA, T. Building canopy model for the analysis of urban climate. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 81: p. 237–248, 1999.
- ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, Salvador, v. 9, p. 10-25, 2006.
- ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS. VDI: methods for the human-biometeorological assessment of climate and air hygiene for urban and regional planning. Part I. Climate, VDI Guideline 3787, Part 2. Beuthen. Berlin, 1998.
- AVISSAR, R. Potantial effects of vegetation on the urban thermal environment. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 437–448, 1996.
- BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 124 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BARRADAS, V. L.; TEJEDA-MARTÍNEZ, A.; JÁUREGUI, E. Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24, p. 4109-4113, 1999.
- BASS, B. Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure. **Urban Heat Island Summit**: Toronto, 2002. Disponível em: <[http://www.city.toronto.on.ca/cleanairpartnership/uhis\\_summit.htm](http://www.city.toronto.on.ca/cleanairpartnership/uhis_summit.htm)>. Acesso em: Junho, 2011.
- BELCHER, S. E.; JERRAM, N.; HUNT, J. C. R. Adjustment of a turbulent boundary layer to a canopy of roughness elements. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 488, p. 369–398, 2003.
- BENGTSSON, L. Peak flows from thin sedum-moss roof. **Nordic Hydrology**, v.36, p. 269-280, 2005.

BENGTSSON, L.; GRAHN, L.; OLSSON, J. Hydrological function of a thin extensive Green roof in southern Sweden. **Nordic Hydrology**, v.36, p. 259-268, 2005.

BERGHAGE, R.; JARRETT, A.; BEATTIE, D.; KELLEY, K.; HUSSAIN, S.; REZAI, F.; LONG, B.; NEGASSI, A.; CAMERON, R.; HUNT, W. Quantifying Evaporation and Transpirational Water Losses from Green Roofs and Green Roof Media Capacity for Neutralizing Acid Rain, 2007. Disponível em: <[http://www.ndwrcdp.org/research\\_project\\_04-DEC-10SG.asp](http://www.ndwrcdp.org/research_project_04-DEC-10SG.asp)>, Acesso em: Maio, 2010.

BERRY, B. L. Urbanization. In: II, B.L.T., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Matthews, J.T., Meyer, W.B. (Eds.), **The Earth as Transformed by Human Action**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 103–119, 1990.

BEST, M. J. Progress towards better weather forecasts for city dwellers: from short range to climate change. **Theoretical and Applied Climatology**, v.84, p 47–55, 2006.

BEST, M. Representing urban areas in numerical weather prediction models. **Preprints, Second Symp. on the Urban Environment**, Albuquerque, NM, Amer. Meteor. Soc., p. 148–151, 1998.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. The influence of the wind- blocking effect by a building on its wind-driven rain exposure. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 94, n. 2, p. 101–127, 2006.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Validation of CFD simulations of wind-driven rain on a low-rise building facade. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2530-2548, 2007.

BLOCKEN, B.; JANSSEN, W.D.; VAN HOOFF, T. CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: general decision framework and case study for the Eindhoven University campus. **Environmental Modelling & Software**, v. 30, p. 15–34, 2012.

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

BRAGER, G.; DE-DEAR, R.J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83–96, 1998.

BRENNEISEN, S. The benefits of biodiversity from green roofs – Key design consequences. Proceedings from Greening Rooftops for Sustainable Communities, FIRST NORTH AMERICAN GREEN ROOF INFRASTRUCTURE CONFERENCE, Chicago, maio 2003.

BRIGGEN, P. M.; BLOCKEN, B.; SCHELLEN, H. L. Wind-driven rain on the facade of a monumental tower: numerical simulation, full-scale validation and sensitivity analysis. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1675-1690, 2009.

BRITO, J. L. N. S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ed.UERJ, 2007. 196p.

BRITTER, R.; HANNA, S. R. Flow and dispersion in urban areas. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 35, p. 469–496, 2003.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. **International journal of biometeorology**, v. 56, n. 3, p. 471-480, 2012.

BROTZGE, J.A.; CRAWFORD, K.C. Examination of the surface energy budget: a comparison of eddy correlation and bowen ratio measurement systems. **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 160–178, 2003.

BROWNLIE, I. **Principles of public international law**, 4 ed , New York, 1990. 748p.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modeling & Software**, v.13, p. 373-384, 1998.

CA, V.T.; ASAEEDA, T.; ABU, E.M. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. **Energy Build**, v. 29, p. 83–92, 1998.

CALLEJAS, I. J. A. **Avaliação temporal do balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT**. Cuiabá, 2012. 265f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

CALLEJAS, I. J. A.; OLIVEIRA, A. S.; SANTOS, F. M. M.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; ZEILHOFER, P. Relationship between land use/cover and surface temperatures in the urban agglomeration of Cuiabá-Várzea Grande, Central Brazil, **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 5, p. 053569-1-053569-15, 2011.

CAMPELO JR., J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, Londrina, Anais. Londrina, v.1, n.7, 1991.

CARTER, T. L.; RASMUSSEN, T. C. Use of green roofs for ultra-urban stream in the Georgia piedmont (USA). Apresentado na 3ª NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, The Cardinal Group, Toronto, maio. 2005. p.526-539.

CARTER, T.; KEELER, A. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 350-363, 2008.

CASTLETON, H. F.; STOVIN, V.; BECK, S. B. M.; DAVISON, J. B. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 1582-1591, 2010.

CHAN, S. T.; LEACH, M. J. A validation of FEM3MP with Joint Urban 2003 data. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 46, n. 12, p. 2127-2146, 2007.

CHANGNON, S. A.; KUNKEL, K. E.; REINKE, B. C. Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, p1497–1505, 1996.

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

CHATZIDIMITRIOU, A.; CHRISOMALLIDOU N.; YANNAS S. Ground surface materials and microclimates in urban open spaces. In: PLEA 2006 - THE 23RD CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, GENEVA, SWITZERLAND, Switzerland, 6-8 Setembro, 2006.

CHATZIDIMITRIOU, A.; CHRISOMALLIDOU, N.; YANNAS, S. Ground surface materials and microclimates in urban open spaces. In: **PLEA2006–The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva**. 2006. p. 6.

CHEN, J. M.; BLACK, T. A. Foliage area and canopy architecture of plant canopies from sunfleck size distributions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 60, p. 249-266, 1992.

CHEN, Y. **The Intervention of plants in the conflicts between buildings and climate – A case study in Singapore**. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy department of building national University of Singapore , 2006.

CHEN, Y.; WONG, N. H. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 105-120, 2006.

CHHOKAR, K.; PANDYA, M.; RAGHUNATHAN, M. (Ed.). **Understanding environment**. New Delhi; Thousand Oaks, Calif.: Sage Publications, 2004.

CHING, J. K. S.; CLARKE, J. F.; GODOWITCH, J. M. Modulation of heat flux by different scales of advection in an urban environment. **Boundary- Layer Meteorology**, v. 25, p.171–191, 1983.

CHRISTEN, A.; VOGT, R. Energy and radiation balance of a central European city. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 1395-1421, 2004.

CIONCO, R. M.; ELLEFSEN, R. High resolution urban morphology data for urban wind flow modeling. **Atmospheric Environment**, v. 32, p. 7–17, 1998.

CLARK, C.; TALBOT, B.; BULKLEY, J.; ADRIAENS, P. Optimization of green roofs for air pollution mitigation. In: PROC. OF 3RD NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. 4-6 Maio 2005. The Cardinal Group, Toronto. 2005

CLEUGH, N. A.; OKE, T. R. Suburban-rural energy balance comparisons in summer for Vancouver, BC. **Boundary-Layer Meteorol**, v. 36, p. 351-369, 1986.

COFFMAN, R. R.; DAVIS, G. Insect and avian fauna presence on the Ford assembly plant ecoroof. In: PROC. OF 3RD NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. 4-6 Maio 2005. The Cardinal Group, Toronto. 2005.

COHEN, B. Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts. **World Development**, v. 32, n. 1, p. 23-51, 2004.

COHNSTAEDT, L.; GILLEN, J. I.; MUNSTERMANN, L. E. Light-emitting diode technology improves insect trapping. **Journal of the American Mosquito Control Association**, v. 24, n. 2, p. 331, 2008.

CONNELLY, M. **Summary of Data Analysis**. Centre for the Advancement of Green Roof Technology. British Columbia Institute of Technology. Report to Canada Mortgage and Housing Corporation. BCIT Green Roof Research Program, Phase 1. Jan/Dec. 2005.

CONNELLY, M.; LIU, K. Green roof research in British Columbia: an overview. In: PROC. OF 3rd NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. The Cardinal Group, Toronto. 2005. p. 416-432.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / **Perfil socioeconômico de Cuiabá**, volume V. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano – SMDU. Diretoria de Urbanismo e Pesquisa-DUP Cuiabá, MT : Central de Texto, 2012. ISBN 978-85-8060-007-0

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / **Uso, Ocupação e Urbanização do Solo – Legislação** [Jandira Maria Pedrollo – Org.]. SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2011. 198 p.

DALGLIESH, W. A.; SURRY, D. BLWT, CFD and HAM modelling vs. the real world: bridging the gaps with full-scale measurements. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 91, n. 12- 15, p. 1651–1669, 2003.

DEFRAEYE, T.; BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. CFD analysis of convective heat transfer at the surfaces of a cube immersed in a turbulent boundary layer. **International Journal of Heat and Mass Transfer** , v. 53, n. 1–3, p. 297–308, 2010.

DEJOAN, A.; SANTIAGO, J. L.; MARTILLI, A.; MARTIN, F.; PINELLI, A. Comparison between large-Eddy simulation and Reynolds-averaged Navier–Stokes computations for the MUST field experiment. Part II: effects of incident wind angle deviation on the mean flow and plume dispersion. **Boundary-Layer Meteorology** , v. 135, p. 133–150, 2010.

DEUTSCH, B.; WHITLOW, H.; SULLIVAN, M.; SAVINEAU, A. Re-Greening Washington, DC: a green roof vision based on environmental benefits for air quality and storm water management. In: PROC. OF 3RD NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. 4 a 6 Maio 2005. The Cardinal Group, Toronto. 2005.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 69 -76, 2003.

DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região Tropical Continental**. 2000. 278f. Tese de Doutorado, Geografia Física, Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, 2000.

DUARTE, D. H. S. **O clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá**. 1995. Dissertação (Mestrado em Arquitetura–Área de Tecnologia do Ambiente Construído)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

DUNNET, N.; KINGSBURY, N. **Planning Green Roofs and Living Walls**, Timber Press, Portland, Oregon, 2004, 254p.

E-foto, **Estação Fotogramétrica Digital Educacional Livre**, Disponível em: <http://www.efoto.eng.uerj.br/>. Acesso em: Janeiro de 2012.

ELLEFSSEN, R. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energy and Buildings**, v. 15-16, p. 1025-1049, 1990/91.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading: A design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **Int. J. Climatol.** v. 27, p1995–2004, 2007.  
ERELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings**. Earthscan Ltd., London, UK, 2011.

EVANS, G. W. **Environmental Stress**. Cambridge University Press, 1982.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. New York: Mc Graw Hill, 1972.

FEDERAL TECHNOLOGY ALERT. **Green Roofs**, Produced for the U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, by the National Renewable Energy Laboratory. DOE/EE-0298, ago. 2004.

FENG, C.; MENG, Q.; ZHANG, Y.. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. **Energy and buildings**, v. 42, n. 6, p. 959-965, 2010.

FERREIRA, M. J. **Balço de energia na superfície da cidade de São Paulo**. 2010. 183f. Tese (Doutorado) - Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

FILA, G.; BELLOCCHI, G.; ACUTIS, M.; DONATELLI, M. IRENE: a software to evaluate model performance. **European Journal of Agronomy**, v.18, n. 3, p. 369-372, 2003.

FRANCO, F. M. **Configuração Urbana e sua Interferência no Microclima Local: Estudo de Caso no Bairro do Porto em Cuiabá-MT**. 2010. 153f. Dissertação (Mestrado em Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2006.

FUTCHER, J. A. 658 – Ice Tea City. In: PLEA 2008 – 25TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2008.

GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERGLUND, L. G. A standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Transactions** , v. 92, p. 709–731, 1986.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Silvia Helena Gonçalves (Trad.). São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 243 p

GEDGE, D. From Rubble to Redstarts. Redstart Action Plan Working Group. In: PROC. OF 1ST NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, 29 e 30 maio, Chicago, 2003.

GEORGI, J. N.; DIMITRIOU, D. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: case study of Chania, Greece. **Building and Environment**, v. 45, n. 6, p. 1401-1414, 2010.

GOUSSEAU, P.; BLOCKEN, B.; STATHOPOULOS, T.; VAN HEIJST, G. J. F. CFD simulation of near-field pollutant dispersion on a high-resolution grid: a case study by LES and RANS for a building group in downtown Montreal. **Atmospheric Environment** , v. 45 n. 2, n. 428–438, 2011.

GRIMMOND, C. S. B. The suburban energy balance: Methodological considerations and results for a mid-latitude west coast city under winter and spring conditions. **Int. Journal Climatol.**, v. 12, p. 481–497, 1992.

GRIMMOND, C. S. B.; CLEUGH, H. A.; OKE, T. R. An objective heat storage model and its comparison with other schemes. **Atmos. Environ.**, v. 25B, p. 311–326, 1991.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. **Journal Appl. Meteor.**, v. 38, p. 1262–1292, 1999b.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. An evaporation-interception model for urban areas. **Water Resour Res.**, v. 27, p. 1739–1755, 1991.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Heat Storage in Urban Areas: Local-Scale Observations and Evaluation of a Simple Model. **Journal Appl. Meteorol.**, v. 38, p. 922-940, 1999a.

GRIMMOND, C. S. B.; SOUCH, C. Surface description for urban climate studies: a GIS based methodology. **Geocarto International**, v. 1, p. 47-59, 1994.

GRIMMOND, C. S. B.; SOUCH, C.; HUBBLE, M. D. **Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes**, San Gabriel Valley, 1996.

GULYAS, A.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. **Building and Environment**, v. 41, p. 1713-22, 2006.

GUPTA, A.; HALL, M. R.; HOPFE, C. J.; REZGUI, Y. Building integrated vegetation as an energy conservation measure applied to non-domestic building typology in the UK. In: PROCEEDINGS OF BUILDING SIMULATION 2011:12TH CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, Sydney. 2011.

HALL, P.; PFEIFFER, U. **Urban Future 21: A Global Agenda for 21 Century Cities**, London, Spon Press, 2000.

HAN, S.; MUN, S.; HUH, J. Changes of the micro-climate and building cooling load due to the green effect of a restored stream in Seoul, Korea. In: 10TH INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION CONFERENCE AND EXHIBITION - IBPSA(2007), Beijing, China, 2007.

HARMAN, I. N. **The energy balance of urban areas**. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Meteorology. University of Reading, October, 2003, 167 p.

HAWLEY, A. H. **Urban Society: An Ecological Approach**. ASPRS, New York, 1971.

HEDQUIST, B. C.; BRAZEL, A. J.; DI SABATINO S.; CARTER, W.; FERNANDO, H. J. S. Phoenix urban heat island experiment: micrometeorological aspects. In: PROCEEDINGS OF THE EIGHTH SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT, 2009.

HEISLER, G. M. Mean wind speed below building height in residential neighborhoods with different tree densities. **ASHRAE Transactions**, v. 96, p. 1389-1396, 1990.

HEWITT, C.N.; JACKSON, A.V. **Handbook of Atmospheric Science: Principles and Applications**. Blackwell Science Ltd., 2003, ISBN: 978-0632052868.

HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do Índice de conforto Térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para Espaços Abertos do Município de Belo Horizonte, MG**. 225 f. Belo Horizonte, 2010. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HOGSTROM, U. L. F. Review of some basic characteristics of the atmospheric surface layer. **Boundary Layer Meteorology**, v. 78, p. 215-246, 1996.

HONJO, T. Thermal Comfort in Outdoor Environment. **Global Environmental Research**, v. 13, p. 43-47, 2009.

HONJO, T.; TAKAKURA, T. Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. **Energy Build.**, v. 15, p. 443–446, 1990–1991.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

HÖPPE, P. Heat balance modelling. **Experientia**, v. 49, n. 9, p. 741-746, 1993.

HÖPPE, P. **Die Energiebilanz des Menschen**. Tese de Doutorado. Meteorologisches Institut, Univ. München, 1984.

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

HÖPPE, P.; MAYER, H. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. **Stadt und Landschaft**, v.19, 1987.

HUANG, H.; OOKA, R.; KATO, S. Urban thermal environment measurements and numerical simulation for an actual complex urban area covering a large district heating and cooling system in summer. **Atmospheric Environment**, v. 39, p. 6362– 6375, 2005.

HUANG, L.; LI, J.; ZHAO, D.; ZHU, J. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. **Building and environment**, v.43, n.1, p.7-17, 2008.

HUANG, S.; TANIGUCHI, M.; YAMANO, M.; WANG, C. Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment – a case study of Osaka. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 3142-3152, 2009.

HUTCHINSON, D.; ABRAMS, P.; RETZLAFF, R.; LIPTAN, T. **Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland**, Oregon, USA. City of Portland Bureau of Environmental Services, 2003.

HUTTNER, S.; BRUSE, M.; DOSTAL, P. Using ENVI-Met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In: Mayer, H. and Matzarakis, A. (eds.). **5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology** (Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg N. 18), October 2008, p. 307-312, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População estimada em 2007**. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em junho de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Secretaria municipal de desenvolvimento urbano. Diretoria de urbanismo e pesquisa, com base no **censo demográfico 2010**. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em junho de 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO URBANO - IPDU. **Perfil socioeconômico de Cuiabá**, volume IV. Cuiabá: Prefeitura Municipal de Cuiabá/IPDU, 2009. 530 p. Disponível em: < [http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/perfil\\_socioeconomico\\_de\\_cuiaba\\_Vol\\_IV.pdf](http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/perfil_socioeconomico_de_cuiaba_Vol_IV.pdf)>. Acesso em: 05 Jan. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change—The PCC Impacts Assessment**. Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1990.

INTERNATIONAL GREEN ROOFS ASSOCIATION - INGRA. Disponível em: <<http://www.igra-world.com>>. Acesso em: outubro de 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Switzerland, 2005.

INTERUNIVERSITARE PROGRAMME IN WATER RESOURCES ENGINEERING - IUPWARE. Disponível em: <<http://www.biw.kuleuven.be/lbh/lsw/iupware/downloads/elearning/software/greenroof.pdf>>. Acesso em: 04.jul.2013.

JENDRITZKY, G.; NÜBLER, W. A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 29, p313-326, 1981.

JIN, M.; DICKINSON, R. E.; ZHANG, D. The footprint of urban climate change through MODIS. **J Climate**, v.18, n.10, p1551–1565, 2005.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **Int. J. Biometeorol.** v.51, p119–133, 2006.

JOHNSON, N. F.; NEWTON, G. J. Estimation of the dose of radon progeny to the peripheral lung and the effect of exposure to radon progeny on the alveolar macrophage. **Radiat. Res.**, v. 139, p. 163–169, 1994.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Green Building**: A Guide for Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. The London Ecology Unit, London, 2004.

KANDA, M. Progress in the scale modeling of urban climate: review. **Theoretical and Applied Climatology** , v. 84, n. 1–3, p. 23–33, 2006.

KANTZ, H.; SCHREIBER, T. **Nonlinear time series analysis**. Cambridge university press, 2004.

KAPLAN, R. The role of nature in the context of the workplace. **Landscape and Urban Planning**, v. 26, p. 193-201, 1993.

KATZSCHNER, L.; MAYER, H.; DREY, C.; BRUSE, M. Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes. In: PLEA 2007 – THE 24TH CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Singapore, p. 103-108, 2007.

KATZSCHNER, L.; THORSSON, S. Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE (ICUC7), Yokohama, Japan, 2009.

KIKEGAWA, Y.; GENCHI, Y.; KONDO, H.; HANAKI, K. Impacts of city-block-scale counter measures against urban heat island phenomena upon a building's energy consumption for airconditioning. **Applied Energy**, v. 83, n. 6, p. 649–668, 2006.

KING, M. D.; MENZEL, W. P.; KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; GAO, B. C.; PLATNICK, S.; HUBANKS, P. A. Cloud and aerosol properties, precipitable water, and profiles of temperature and humidity from MODIS. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 41, n. 2, p. 442-458, 2003.

- KJELGREN, R.; MONTAGUE, T. Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. **Atmospheric Environment**, v. 32, p. 35–41, 1998.
- KOLOKOTRONI, M.; GIANNITSARIS, I.; WATKINS, R. The effect of the London Urban Heat Island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. **Solar Energy**, v. 80m n. 4, p. 383–392, 2006.
- KONOPACKI, S.; AKBARI, H. **Energy savings for heat island reduction strategies in Chicago and Houston** (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City). Draft Final Report, LBNL-49638, University of California, Berkeley, 2002.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928
- KRUGER, E. L.; DRACH, R. R. C.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. D. Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 7-25, 2012.
- KUBOTA, T.; MIURA, M.; TOMINAGA, Y.; MOCHIDA, A. Wind tunnel tests on the relationship between building density and pedestrian-level wind velocity: development of guidelines for realizing acceptable wind environment in residential neighborhoods. **Building and Environment**, v. 43, n. 10, p. 1699–1708, 2008.
- LAHME, E.; BRUSE, M. **Microclimatic effects of a small urban park in a densely build up area: measurements and model simulations**. University of Bochum, Bochum, Germany. ICUC5, Lodz 1-5 Setembro, 2003. Disponível em: <http://www.envi-met.de/scidocs.htm>.
- LAMBERTS, R.; ANDREASI, W. A. **Tópicos Avançados de Conforto Térmico**. Florianópolis, 2003. Disponível em: [www.dec.ufms.br/lade/docs/cft/tact.pdf](http://www.dec.ufms.br/lade/docs/cft/tact.pdf). Acesso em: agosto, 2011.
- LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. Academic Press, New York World Commission on Environment and Development, 1987. Our Common Future. Oxford, New York, 1981, 271 p.
- LAZZARIN, R. M.; CASTELLOTTI, F.; BUSATO, F. Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 12, p. 1260-1267, 2005.
- LIN, T. P.; MATZARAKIS, A.; HUANG, J. J. Thermal comfort and passive design of bus shelters. In: PROCEEDINGS OF 23RD CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA 2006), Geneva, 2006.
- LIN, T. P.; MATZARAKIS, A.; HWAND, R. L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. **Build Environ**, v. 45, p. 213–211, 2010.
- LINDBERG, F.; HOLMER, B.; THORSSON, S. SOLWEIG 1.0 - modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. **International Journal of Biometeorology**, v. 52, p. 697–713, 2008.
- LINDER, W. **Digital Photogrammetry a Practical Course**. 2.ed. Berlin: Springer, 2006, 221 p.

LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto Térmico em Espaços Externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., São Pedro. ANTAC, 2001.

MAHRT, L. Surface heterogeneity and vertical structure of the boundary layer, **Boundary Layer Meteorol.**, v. 96, p. 33-62, 2000.

MANSFIELD, C.A.; SUBHRENDU, K.; PATTANAYAK MCDOW, W.; MCDONALD, R.; HALPIN, P. Shades of green: measuring the value of urban forests in the housing market. **Journal of Forest Economics**, v. 11, n. 3, p. 177-199, 2005.

MARCONDES, M. P.; UMAKOSHI, E. M. Ferramentas computacionais para avaliação ambiental de áreas urbanas: estudo de caso em São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9º. Ouro Preto, 08 – 10 ago. 2007. Ouro Preto: ANTAC, UFMG, 2007.

MARQUES FILHO, E. P. **Investigação da Camada Limite Planetária Convectiva com Modelo LES Aplicado à Dispersão de Poluentes**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MASMOUDI, S.; MAZOUZ, S. Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions. **Energy Build**, v. 36, p. 710–719, 2004.

MASSON, V. A physically-based scheme for the urban energy balance in atmospheric models. **Bound.-Layer Meteorol.**, v. 94, p. 357– 397, 2000.

MASSON, V. Urban Surface Modeling and the Meso-Scale Impact of Cities, **Theoretical and Applied Climatology**, v. 84, p. 35-35, 2006.

MATZARAKIS, A.; ENDLER, C. Adaptation of thermal bioclimate under climate change conditions—the example of physiologically equivalent temperature in Freiburg, Germany. **Int J Biometeorol**, v. 54, p. 479–483, 2010.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. Heat stress in Greece. **International Journal of Biometeorology**, v.41, p34-39, 1997.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a Universal Thermal Index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999b.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: de Dear RJ, Kalma JD, Oke TR, Auliciems A, editors. *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millenium. Selected papers from the ICB-ICUC'99 CONFERENCE, SYDNEY, WCASP-50, WMO/TD No. 1026.* Geneva: World Meteorological Organization; 1999a.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiatin fluxe in simple and complex evironements: basics of the RyMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, p. 131–139, 2010.

MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in differentvurban environments. **Theor. Appl. Climatol**, v. 38, p. 43-49, 1987.

MAYER, H.; MATZARAKIS, A. Human-Biometeorological Assessment of Urban Microclimates' Thermal Component. In: JAPANESE-GERMAN MEETINGS

“KLIMAANALYSE FÜR DIE STADTPLANUNG”, 2. Toward Reconstruction in Kobe. 1998. Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, **Special Report**, n. 1, p. 155-168, 1998.

MCPHERSON, E. G. Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. **Journal Of Arboriculture**, v. 24, n. 4, p. 215-223, 1998.

MELESE ENDALEW, A.; HERTOOG, M.; DELELE, M.A.; BAETENS, K.; PER-SOONS, T.; BAELMANS, M.; RAMON, H.; NICOLAÏ, B.M.; VERBOVEN, P. CFD modelling and wind tunnel validation of airflow through plant canopies using 3D canopy architecture. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, v. 30, n. 2, p. 356-368, 2009.

MEMON, R.A.; LEUNG, D.Y.C.; LIU, C.H. Effects of building aspect ratio and wind speed on air temperatures in urban-like street canyons. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 176-188, 2010.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanised 21st century. **Landscape Urban Plan**, v. 77, p. 217-226, 2006.

MILLS, G. An urban canopy-layer climate model. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 57, p. 229-244, 1997.

MINKE, G.; WITTER, G. **Haeuser mit Gruenem Pelz, Ein Handbuch zur Hausbegruenung**, Verlag Dieter Fricke GmbH, Frankfurt (partially translated in English), 1982.

MINSON, A. J.; WOOD, C. J.; BELCHER, R. E. Experimental velocity measurements for CFD validation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 58, n. 3, p. 205-215, 1995.

MITCHELL, V. G.; CLEUGH, H. A.; GRIMMOND, C. S. B.; XU, J. Linking urban water balance and energy balance models to analyse urban design options, **Hydrological Processes**, v. 22, n.16, p. 2891-2900, 2007.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M.D.; BRANDÃO, A.M.P.M.; GONÇALVES, N.M.S. **Clima urbano**. SP, Ed. Contexto, 2003.

MONTEIRO, L. **Modelos Preditivos de Conforto Térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços**. 378 f. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo) – Escola de Engenharia Civil, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOONEN, P.; DEFRAEYE, T.; DORER, V.; BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Urban Physics: effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand. **Frontiers of Architectural Research**, 2012.

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. R. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2008.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S., (orgs.); colaboradora MAITELLI, G. T. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente**. Cuiabá: Entrelinha, 2005. p.238-287.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in an eastwest oriented urban canyon. **Atmospheric Environment**, v. 22, p. 2691-700, 1988.

NAKATA, C. M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Bauru: FAAC, UNESP, 2010.

NAKATA, C. M.; SOUZA, L. C. L.; FARIA, J. R. G. Verificação de um modelo para simulação térmica urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10º, Natal, 16-18 Set. 2009. ANTAC, UFRN, 2009.

NEOPHYTOU, M.; GOWARDAN, A.; BROWN, M. An inter-comparison of three urban wind models using the Oklahoma City Joint Urban 2003 wind field measurements. **International Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 99, n. 4, p. 357–368, 2011.

NEWTON, T.; OKE, T. R.; GRIMMOND, C. S. B.; ROTH, M. The suburban energy balance in Miami, Florida. **Geogr. Ann.**, v.89, n.4, p331–347, 2007.

NIKOLOPOULOU, M. **RUROS**: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces, 2004. Disponível em: <<http://alpha.cres.gr/ruros/>>. Acesso em: 30 jul. 2011.

NINCE, P. C. C. **Vegetação e revestimentos urbanos: implicações na sensação térmica de usuários do campus da UFMT em CUIABÁ-MT**. Cuiabá/MT, 2013. 90f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

NOILHAN, J.; PLANTON, S. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. **Mon. Wea. Rev.**, v. 117, p. 536–549, 1989.

NUNEZ, M.; OKE, T. R. The energy balance of an urban canyon. **Journal of Applied Meteorology**, v. 16, p. 11–19, 1977.

OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B.; COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N.; GAFFIN, S. R.; KÖHLER, M.; LIU, K. K. Y.; ROWE, B. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. **BioScience**, v. 57, n. 10, p. 823-833, 2007.

ODUM, E. P. **Basic ecologic**. Philadelphia, CBS College Publishing, 1983.

OHNUMA JUNIOR, A. A. **Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. 306 f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos, SP. Dezembro, 2008.

OHNUMA JUNIOR, A. A.; HALASZ, M. R. T.; MENDIONDO, E. M. Monitoramento das águas sub-superficiais em telhados verdes como medida sustentável de combate a poluição hídrica. In: VI ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. Vitória/ES, Brasil. 2011.

ÖHRSTRÖM, E. Psycho-social effects of traffic noise exposure. **Journal of Sound and Vibration**, v. 151, p. 513-517, 1991.

Oke, T. R. Advectively-assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation. **Boundary Layer Meteorology**, v. 17, p. 167–173, 1979.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**, Routledge, 2nd edition. p. 262–303, 1987.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Londres: Methuen, 1978.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, p. 237–54, 1981.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. Instruments and Methods of Observation Programme IOM Rep. 81, WMO/TD N°. 1250, 2004b, 51 p.

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

OKE, T. R. Methods in urban climatology. In: W. KIRCHHOFER, A. OHMURA and H. WANNER (Editors), **Applied Climatology** (Zürcher Geog. Schriften, 14). Eidgenössische Technische Hochschule Geographische Institut, Zurich, 1984, p. 19-29.

OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. In: AIR POLLUTION MODELING AND ITS APPLICATION XVII, Borrego, C. and A. L. Norman (eds), Springer, 2004a

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v.11, p. 103–13, 1988b

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. **Atmosphere**, v. 14, p. 268-277, 1976.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, p. 1-24, 1982.

OKE, T. R. The micrometeorology of the urban forest. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, v. 324, p. 335–349. Los Angeles. **Climate Research**, v. 6, p. 45–57, 1989.

OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress in Physical Geography**, v. 12, p. 471–508, 1988a.

OKE, T. R.; JOHNSON, G. T.; STEYN, D. G.; WATSON, I. D. Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night—part 2 Diagnosis of causation. **Boundary Layer Meteorology**, v. 56, p. 339–358, 1991.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2.ed. New York: Routledge, 1996.

OLIVEIRA, A. S. **Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas**. Cuiabá, 2011. 146f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2011.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 86f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, S.; ANDRADE, H. An initial assessment of the bioclimatic comfort in an outdoor public space in Lisbon. **International Journal of Biometeorology**, v. 52, p. 69–84, 2007.

ONG, B. L. Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 63, n. 4, p197-211, 2003.

ONMURA, S.; MATSUMOTO, M.; HOKOI, S. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 7, p. 653-666, 2001.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, v.43, p. 1712–1722, 2011.

PASSCHIER-VERMEER, W.; PASSCHIER, W. F. Noise exposure and public health. **Environmental Health Perspectives**, v. 108, n. 1, p. 123-131, 2000.

PATERSON, D.A.; APELT, C. J. Simulation of wind flow around three-dimensional buildings. **Building and Environment**, v. 24, p. 39–50, 1989.

PECK, S.; KUHN, M. **Design guidelines for green roofs**, 2006. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/loader.cfm?url=/commonspot/security/getfile.cfm&PageID=70146>>. Acesso em: set. 2011.

PENG, L. L. H.; JIM, C. Y. Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation. **Energies**, v. 6, n. 2, p598-618, 2013.

PEREIRA DE MELLO, G. B.; COSTA, M. D. P.; ALBERTI, M. S.; FREITAS FILHO, R. D. G. Estudo da implantação de um telhado verde na Faculdade de Engenharia Mecânica. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 6, n. 2, 2011.

PEZZUTO, C. C.; DACANAL, C.; MELO, E. O.; LABAKI, L. C. Análises do microclima urbano através de medições experimentais e simulações no programa envi-met. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Búsios, RJ, 2011.

PICOT, X. Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth—case study: Piazza dellaScienza, Milan, Italy. **Energy Build**, v. 36, p. 329–334, 2004.

PORSCHÉ, U.; KÖHLER, M. Life Cycle Costs of Green Roofs: a Comparison of Germany, USA, and Brazil. In: PROCEEDINGS OF THE WORLD CLIMATE AND ENERGY EVENT; Dezembro, 2003, Rio de Janeiro, Brazil. Disponível em: <[www.gruendach-mv.de/en/ri03\\_461\\_u\\_porsche.pdf](http://www.gruendach-mv.de/en/ri03_461_u_porsche.pdf)>. Acesso em: outubro de 2011.

PORTLAND. **City of Portland Eco Roof Program Questions and Answers**, Portland, OR., Bureau of Environmental Services, Office of Sustainable Development, City of Portland, Oregon: 12, 2002.

PROWELL, E. S. **An Analysis of Stormwater Retention and Detention of Modular Green Roof Blocks**. Tese Submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science Athens, Georgia, 2006.

RAFAILIDIS, S. Influence of building areal density and roof shape on the wind characteristics above a town. **Boundary Layer Meteorology**, v. 85, p. 255-271, 1997.

RAMANATHAN, V.; CRUTZEN, P. J.; KIEHL, J. T.; ROSENFELD, D. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. **Science**, v. 294, p. 2119–2124, 2001.

RASHEED, A. **Multiscale Modelling of Urban Climate**. Ph.D. Thesis. 4531, EPFL, Lausanne, Switzerland, 2009.

- RAUPACH, M. R. Combination theory and equilibrium evaporation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 127, p. 1149-1181, 2001.
- RAUPACH, M. R.; ANTONIA, R. A.; RAJAGOPALAN, S. Rough-wall turbulent boundary layers, **Appl. Mech. Rev.**, v. 44, p. 1-25, 1991.
- REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 15, p. 2213-2233, 2011.
- ROBINSON, D. **Mountain Equipment Coop, Social and Environment Coordinator**. Pers comm, 2005.
- ROBINSON, D.; STONE, A. A simplified radiosity algorithm for general urban radiation exchange. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 26, n. 4, p. 271–284, 2005.
- ROBITU, M.; MUSY, M.; INARD, C.; GROLEAU, D. Energy balance study of water ponds and its influence on building energy consumption. **Building Service Engineering Research Technology**, v. 25, n.3, p. 171–82, 2004.
- ROBITU, M.; MUSY, M.; INARD, C.; GROLEAU, D. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate. **Sol Energy**, v. 80, p. 435–447, 2006.
- ROSENFELD, A. H.; AKBARI, H.; ROMM, J. J. Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, v. 28, p. 51–62, 1998.
- ROSSETI, K. A. C. **Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade de Cuiabá, MT**. 2009. 145f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.
- ROSSETI, K. A. C.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Abordagem sistêmica dos efeitos da implantação de telhados vegetados. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 4, n. 1, p. 70-92, 2013a.
- ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; FRANCO, F. M. Abordagem sobre as barreiras e benefícios da utilização do sistema de coberturas verdes em Cuiabá/MT. In: LIMA, E. A.; NOGUEIRA, J. S. (Orgs.). **Coletânea física ambiental**, volume II, São Paulo, Baraúna, 2013c.
- ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Interferência microclimática na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, p. 1959-1970, 2013b.
- ROTACH, M. W. Profiles of turbulence statistics in and above an urban street canyon. **Atmos. Environ.**, v. 29, p. 1473–1486, 1995.
- ROTACH, M. W. Turbulence close to a rough urban surface. Part I: Reynolds stresses. **Boundary Layer Meteorology**, v. 65, p. 1-28, 1993.
- ROTH, M. Review of atmospheric turbulence over cities. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 126, p. 941–990, 2000.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub) tropical regions. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1859-1873, 2007.

SAILOR, D. J.; LU, L. A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. **Atmos. Environ.**, v. 38, p. 2737–2748, 2004.

SAIZ, S.; KENNEDY, C.; BRASS, B.; PRESSNAIL, K. Comparative life cycle assessment of standard and green roof. **Environmental Science and Technology**, v. 40, p. 4312-4316, 2006.

SANG, J; LIU, H.; LIU, H.; ZHANG, Z. Observational and numerical studies of wintertime urban boundary layer. **Journal of Wind Engineering and Industrial aerodynamics**, v. 87, p. 243–258, 2000.

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

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; KORONAKIS, I.; LIVADA, I.; ASIMAKOPOULOS, D. Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions. **Atmospheric Environment**, v. 33, p.4503–21, 1999.

SANTIAGO, J. L.; MARTILLI, A. A dynamic urban canopy parameterization for mesoscale models based on computational fluid dynamics Reynolds-averaged Navier–Stokes microscale simulations. **Boundary Layer Meteorology**, v. 137, p. 417–439, 2010.

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, Cuiabá, 2012.

SCHATZMANN, M.; LEITL, B. Issues with validation of urban flow and dispersion CFD models. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 99, n. 4, p. 169–186, 2011.

SCHATZMANN, M.; LEITL, B.; LIEDTKE, J. Dispersion in urban environments: comparison of field measurements with wind tunnel results. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 65, n.1–2, p. 249–257, 2000.

SCHMID, H. P.; CLEUGH, H. A.; GRIMMOND, C. S. B.; OKE T. R. Spatial variability of energy fluxes in suburban terrain. **Boundary-Layer Meteorology**, v.54, p249-276, 1991.

SCHMID, H. P.; OKE, T. R. Scaling North American urban climates by lines, lanes, and rows. In: JANELLE, D. G. (ed.). **Geographical Snapshots of North America**, The Guildford Press: New York, 1992.

SCHMIDT, K. S. **Hyperspectral remote sensing of vegetation species distribution in a saltmarsh**. Wageningen University, 2003.

SCOTT, K.; MCPHERSON, E. G.; SIMPSON, J. R. Air pollutant uptake by Sacramento's urban forest. **Journal of Arboriculture**, v. 24, n. 4, p. 224–234, 1998.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE - SEMA. **Relatório de monitoramento da qualidade das águas da sub-bacia do Rio Cuiabá – MT**, 2005, elaborado por Adélia Alves Araújo. Cuiabá, 2006.

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO – SMDU, 2010 Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento\\_urbano/dados\\_estatisticos](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos)>. Acesso em 20/06/2011.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1087-1099, 2004.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, v. 31, p. 221 – 235, 2000.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 10, p. 1498-1506, 2011.

SHEPHERD, J. M.; PIERCE, H.; NEGRI, A. J. Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite. **Journal Appl. Meteor.**, v. 41, p. 689– 701, 2002.

SHIMODA, Z. Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Japan's built environment. **Building Research & Information**, v. 31, n.3–4, p. 222–230, 2003.

SILVA, C. F.; ROMERO, M. A. B. O. Desempenho ambiental de vias arborizadas na cidade de Teresina por meio de dados sensoriais, microclimáticos e simulações computacionais com o auxílio do ENVI-Met. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10º, Natal, 16-18 Set. 2009. ANTAC, UFRN, 2009.

SILVEIRA, A. L. **Parâmetros Bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical sub úmida do Brasil** . Tese (Doutorado) – Programa de Pós graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

SILVEIRA, M. T. A Integração dos Módulos de Geração do Modelo Digital de Elevações e de Restituição Digital no Projeto E-foto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15 (SBSR), p. 2422-2429, 2011.

SILVEIRA, M. T. **Deteção e extração 3D de edificações em áreas de assentamentos informais**. 2011. 136 f. Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011

SILVEIRA, S. Q.; ASSIS, E. S. Urban ventilation in the city of Belo Horizonte, Brazil. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 6th, Göteborg. Urban Climate Group; Dep. Geoscience; Göteborg University, v. 1. p. 647-650, 2006.

SIMPSON, J. R. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. **Energy Build.**, v. 34, p. 1067–1076, 2002.

SIMPSON, J. R.; MCPHERSON, E. G. Tree planting to optimize energy and CO<sub>2</sub> benefits. In: KOLLIN, C. (Ed), **Investing in Natural Capital**, proceedings of the 2001 NATIONAL URBAN FOREST CONFERENCE, Washington D.C, Setembro, 2001.

SOUCH, C. A.; SOUCH, C. The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, **Indiana, J Arboriculture**, v. 19, n. 5, p. 303–312, 1993.

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

SPANGENBERG, J. **Improvement of Urban Climate in Tropical Metropolis – A case study in Maracanã/ Rio de Janeiro**, Thesis (Master in architecture), University of Applied Sciences, Cologne, Germany, 2004. Disponível em: < <http://www.basis-id.de/science> >. Acesso em: Março, 2011.

SPANGENBERG, J.; SHINZATO, P.; JOHANSSON, E.; DUARTE, D. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. **Revista SBAU**, Piracicaba, v. 3, n. 2, p. 1-19, 2008.

STANHILL, G.; KALMA, J. D. Solar dimming and urban heating at Hong Kong. **International Journal of Climatology**, v. 15, p. 933–941, 1995.

STOCK, P.; BECKRÖGE, W. **Klima analyse Stadt Essen**. KVR. 1985

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands, 1988, 666 p.

SUCKLING, P. W. The energy balance microclimate of a suburban lawn. **Journal of Applied Meteorology**, v. 19, p. 606–608, 1980.

SVENSSON, M. K.; THORSSON, S.; LINDQVIST, S. A Geographical Information System Model for Creating Bioclimatic Maps: examples from a high, mid-latitude city. **International Journal of Biometeorology**, v. 47, n. 2, p. 102-112, 2003.

TABLADA, A.; DETROYER, F.; BLOCKEN, B.; CARMELIET, J.; VERSCHURE, H. On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments - the Old Havana case. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1943–1958, 2009.

TAHA, H. Modifying a mesoscale meteorological model to better incorporate urban heat storage: A bulk parameterization approach. **Journal Appl. Meteor.**, v. 38, p. 466–473, 1999.

TAHA, H.; KONOPACKI, S.; GABERSEK, S. Impacts of large scale modifications on meteorological conditions and energy use: A 10-region modeling study. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 62, p. 175–185, 1999.

TAKEBAYASHI, H.; MORIYAMA, M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. **Building and Environment**, v. 42, n. 8, p. 2971-2979, 2007.

TAN, P.; SIA, A. A pilot green roof research project in Singapore. In: PROC. OF 3<sup>rd</sup> NORTH AMERICAN GREEN ROOF CONFERENCE: GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES, Washington, DC. Maio, 2005. The Cardinal Group, Toronto, 2005.

TECHGEO, **Equipamentos para topografia e geodésia**. Juiz de Fora / MG, disponível em <<http://site.techgeo.com.br/produtos/outros/gtr-a-bt/>>. Acesso em julho de 2013.

TEJEDA-MARTÍNEZ, A.; JÁUREGUI-OSTOS, E. Surface energy balance measurements in the Mexico City region: a review, **Atmosfera**, v. 18, p. 1-23, 2005.

THORSSON, S.; HONJO, T.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; LIM, E. M. Thermal Comfort and Outdoor Activity in Japanese Urban Public Places. **Environment and Behavior**, v. 39, n. 2, p. 1-25, 2007

THORSSON, S.; LINDQVIST, M.; LINDQVIST, S. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. **International Journal of Biometeorology**, v.48, p149-156, 2004.

TODHUNTER, P. E. Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation. **Physical Geography**, v. 11, p. 131–41,1990.

TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D.; RAHIMZAHEH, F.; RENWICK, J. A.; RUSTICUCCI, M.; SODEN, B.; ZHAI, P. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; p235–336, 2007.

U.S. Geological Survey, **The water cycle: evapotranspiration**, 2007. Disponível em: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleevapotranspiration.html>>. Acesso em: Janeiro, 2012.

UEMATSU, Y.; ISYUMOV, N. Wind pressures acting on low-rise buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 82, n.1, p. 1–25, 1999.

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

UNITED NATIONS. **World urbanization prospects the 2011 revision**. United Nations Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat, New York, USA, 2011, 1244 p.

UPMANIS, H.; ELIASSON, I.; LINDQVIST, S. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden). **Int J Climatol**, v. 18, p. 681–700, 1998.

URANO, A.; ICHINOSE, T.; HANAKI, K. Thermal environment simulation for three dimensional replacement of urban activity. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**,v. 81, p. 197–210, 1999.

VALE, B.; VALE, R. **Green Architecture**. London: Thames & Hydson, 1991, 148 p.

VAN HOOFF, T.; BLOCKEN, B.; AANEN, L.; BRONSEMA, B. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. **Building and Environment**, v. 46, n. 9, p. 1797–1807, 2011.

VAN HOOFF, T.; BLOCKEN, B.; Coupled urban wind flow and indoor natural ventilation modelling on a high-resolution grid: a case study for the Amsterdam Arena stadium. **Environmental Modelling and Software**, v. 25, n. 1, p. 51–65, 2010.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. **Journal of Sound and Vibration**, v. 317, p. 781-799 , 2008.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. Reducing the acoustical façade from road traffic with green roofs. **Building and Environment**, v. 44, p. 1081-1087, 2009.

VANOS, J.; WARLAND, J.; GILLESPIE, T.; KENNY, N. Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design. **International journal of biometeorology**, v. 54, n. 4, p. 319-334, 2010.

VDI. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: climate. **VDI guideline 3787**, Part 2. Berlin: Beuth, 1998.

VERSEGHY, D.L.; MUNRO, D. S. Sensitivity studies on the calculation of the radiation balance of urban surfaces: I. Shortwave radiation. **Boundary Layer Meteorology**, v. 46, p. 309–331, 1989a.

VERSEGHY, D.L.; MUNRO, D. S. Sensitivity studies on the calculation of the radiation balance of urban surfaces: II. Longwave radiation. **Boundary Layer Meteorology**. v. 48, p. 1–18, 1989b.

WANDELLI, E. V.; MARQUES FILHO, A. O. Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 1, p. 57-78, 1999.

WATSON, D. Jh. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, n. 1, p41-76, 1947.

WATSON, I. D.; JOHNSON, G. T. Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. **International Journal of Climatology**, v. 7, n. 2, p. 193–197, 1987.

WEISS, M.; BARET, F.; SMITH, G. J.; JONCKHEERE, I.; COPPIN, P. “Review of methods for *in situ* leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling.” **Agric. For. Meteorol.** v. 121, n. 1/2, p37–53, 2004.

WILSON, A.; PELLETIER, M. R. A garden overhead: The benefits and challenges of green roofs. **Environmental Building News**, v. 1, p. 10-18, 2001.

WONG, N. H.; CHEN, Y.; ONG, C. L.; SIA, A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, v. 38, p. 261-270, 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Climate and Urban Development**. Geneva, n. 844, 1996.

XIE, Z. T.; CASTRO, I. P. Large-eddy simulation for flow and dispersion in urban streets. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 2174–2185, 2009.

YOSHIDA, A.; TOMINAGA, K.; WATANI, S. Field measurements on energy balance of an urban canyon in the summer season. **Energy and Buildings**, v. 15– 16, p. 417–23, 1990–1991.

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 105-120, 2006.

ZUBEVICH, K. The Search for the Sacred in the Concrete Jungle.(via link on the Ecopsychology web site, July 2004). **Prepared by Ryerson University**, 2004.

## 6.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

EVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation**. Macmillan, New York, p.377-404, 1993.

AYOADE, J.O. **Introduction to climatology for the tropics**. Chichester, John Wiley & Sons, 1983.

BARRY, R.G., CHORLEY, R.J. **Atmosphere, weather & climate**. London, Routledge, 1998

BREUNING, J. **Fire & wind on extensive green roofs**. In: The Green Roof Infrastructure Monitor. North America Inc. v. 9. n. 1. Green Roof Service, 2007

CARTER, T., JACKSON, C.R. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.80, n.1/2, p.84-94, Mar. 2006.

DISNDALE, S., PEAREN, B., WILSON, C. **Feasibility study for green roof application on queen's university campus**. Kingston: Queen's Physical Plant Services, 2006, p.58.

EMILSSON, T., ROLF, K. Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v.3, n.2, p.103-111, Jan. 2005

KREBS, L.F. **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha**. 2005, Dissertação (Dissertação de Mestrado) Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LEVALLIUS, J. **Green roofs on municipal buildings in Lund - Modeling potential environmental benefits**. Geobiosphere Science Centre. Physical Geography and Ecosystems Analysis. Lund University, 2005.

LOPES, D.A.R. **Análise do Comportamento Térmico de uma Cobertura Verde Leve (CVL) e Diferentes Sistemas de Cobertura**. 2007, 145f, Dissertação (Dissertação de Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MELLO, G. J. **Previsão micrometeorológica no Pantanal Mato-Grossense pela teoria de sistemas dinâmicos**. Cuiabá, 2013, 125f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

MORAIS, C.S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP**. 2004, Dissertação (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

PHILIPPI, P.M. **How to get cost reduction in green roof construction**. In: ANNUAL GREENING ROOFTOPS FOR SUSTAINABLE COMMUNITIES CONFERENCE, AWARDS AND TRADE SHOW, 4., 2006, Boston. Proceedings... Boston: Green Roofs for Healthy Cities. p.10.

ROMERO, M.A.B. - **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 2000, 2ª edição, 128 p.

VUJOVIC, V., OGUREK, D. J. Case Study: Green Roof System. In: School Business Affairs. Issues in education: Boosting budgets by building green - Improving student health - **Environment and achievement**. v. 71, n. 1, jan. 2005.

## ANEXO 1

### ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO ENVI-Met

#### Considerações:

- Seleção do tamanho da grade do modelo (*grids*):
  - horizontal (x e y) – Deve ser proporcional a área de estudo e irá determinar a abrangência e a precisão do modelo (pode ser de 0.5 à 10m por *grid*). Em espaços urbanos recomenda-se que não seja superior a 2m.
  - vertical (z) – Apesar de a altura dos edifícios ser solicitada no modelo como um fator do *grid* (que multiplicado pelo valor em metros do *grid* fornece a altura do edifício) o modelo reconhece a altura real do edifício devendo ser proporcional a dimensão vertical do *grid*.
- Cálculo do número de células de grade do modelo principal e da área de aninhamento (*nesting grid*) – recomenda-se que utilize uma área de aninhamento igual a 2 vezes a altura do edifício mais alto.
- Compatibilização com a versão do modelo (100x100x30; 180x180x30 ou 250x250x30) – o número de *grids* do modelo principal não pode ultrapassar o valor limite de cada versão, considerando ainda que quanto maior o número de grades mais demorado é o processamento do modelo. Os *nesting grids* não são contabilizados neste limite.
- Levantamento das propriedades geográficas da área de estudo:
  - Orientação ao norte geográfico (devendo fazer os devidos ajustes quanto fornecido o norte de quadrícula ou o norte magnético – não podendo ultrapassar 3° de erro – considere os dados da origem do mapa da área de estudo). Para a transformação do Norte Quadrícula para Norte Geográfico, utiliza-se a Convergência Meridiana, calculada a partir do *software* Dmag\_2010 (<http://www.amiranet.com.br/download/dmag-2010-6>).

-Latitude, Longitude e meridiano padrão (todos em graus, devendo no caso deste ultimo multiplicar o valor do UTC por 15°).

-Tipo de solo da região (consultar mapa de solos da EMBRAPA ou outras fontes locais), informação importante considerando que o modelo estuda os processos até a 2m abaixo da superfície.

- A variável “umidade específica” deve ser obtida pelas informações de sondagem atmosféricas fornecidos pela Universidade de Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) para a estação 83362 do Aeroporto de Cuiabá, a uma altitude de 2500m em relação ao nível do mar. Considerando que o modelo fornecerá esta variável na alimentação do sistema de forma constante recomenda-se que seja calculado o valor médio referente ao mês ou ao período de estudo.
- O valor de velocidade do vento, da mesma forma, será fornecido ao sistema de forma constante, sendo também recomendado a utilização do valor médio mensal desta variável. Considera-se também a direção predominante do vento durante o mês, ou período, de estudo. Estes valores podem ser obtidos a partir do banco de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE (<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>).
- Os valores de Temperatura Potencial da atmosfera e de Umidade Relativa devem ser informados para o horário específico de start do modelo, ou seja, às 20h – 00h GMT - (considerar o valor médio do mês, ou de um período definido, para este horário). Estes valores também podem ser obtidos a partir do banco de dados do CPTEC/INPE.
- O ENVI-Met é um modelo de mesoclima que fornece informações microclimáticas. Desta forma a validação deve ser feita na escala do mesoclima (acima dos edifícios). Recomenda-se a instalação de sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação em torres localizadas a uma altura superior aos edifícios presentes no local. Uma vez validado, os padrões de configuração do modelo podem ser reproduzidos para outras localidades na cidade de estudo

com morfologias semelhantes, não havendo a necessidade de uma nova validação.

- Os dados de temperatura e umidade relativa do solo não são fornecidos por nenhuma estação meteorológica padrão, devendo ser obtidos através de consultas aos grupos de pesquisas da área de agronomia localizados na região de estudo. No presente trabalho estes dados foram fornecidos pelo programa de Pós Graduação em Física Ambiental referentes à fazenda Miranda, localizada na divisa da capital Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger, estado de Mato Grosso - Brasil, de propriedade do Prof. Clóvis Miranda, situada a 15 km a sul de Cuiabá (Coordenadas: 15°43' Sul e 56°04' Oeste). A utilização destes dados foi possível devido o fato de o solo da fazenda ser pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta, PLINTOSSOLO PÉTRICO, a mesma formação encontrada na região de estudo.
  - a) **Temperatura do solo:** medida através de termistores encapsulados, modelo 108-L, da Campbell Scientific, registrados no DataLogger CR1000 do mesmo fabricante.
  - b) **Umidade do solo:** medida através do Sensor de Conteúdo de Água no Solo modelo CS616 da Campbell Scientific, registrados no DataLogger CR1000 do mesmo fabricante.

Obs. No caso do período seco os parâmetros de umidade do solo foram alterados de forma a caracterizar uma situação de solo sob processo de irrigação. Os valores foram definidos a partir de testes no modelo ENVI-Met com diferentes padrões de umidade do solo de forma a identificar as condições mínimas de umidade necessárias para a sobrevivência da vegetação e processamento do modelo.

- A temporização e os intervalos dinâmicos do modelo devem ser mantidos conforme configuração prévia do modelo.
- O dado de temperatura no interior da edificação pode ser obtido pelo cálculo da média entre Tmax e Tmin do horário de início do modelo, para o período

estudado, obtidas a partir do banco de dados do CPTEC/INPE. Parâmetros de transmissão de calor pelas paredes e telhados são calculados tendo como base os coeficientes de transmissão térmica dos materiais construtivos, fornecidos pelo Manual do Conforto Térmico (FROTA; SCHIFFER, 2006). Considera-se neste caso a superfície de parede composta por uma camada de tijolo cerâmico de oito furos, com duas camadas de revestimento (reboco) e a superfície do telhado composta pela laje em concreto, a telha cerâmica e o espaço de ar confinado entre eles.

- As características do exterior da edificação são definidas a partir de dois parâmetros: o albedo das paredes e o albedo dos telhados. No primeiro caso trata-se do albedo efetivo do cânion urbano, formado por superfícies verticais e horizontais, definido e dimensionado por Sailor e Fan (2002). O Albedo dos telhados foi definido a partir de um experimento desenvolvido no campus da UFMT em parceria com o Laboratório de Conforto do Departamento de Arquitetura e Urbanismo.
- O índice de conforto termo-higrométrico usado modelo é o Voto Médio Estimado (VME) (Predicted Mean Vote – PMV). Originalmente foi desenvolvido para ambientes interiores por Fanger e adotado por normas técnicas internacionais. No modelo foi utilizado o índice adaptado para ambientes exteriores e seus parâmetros podem ser observados no manual do modelo.
- Quando a caracterização da borda lateral do modelo 3d (fronteira) deve-se considerar se o entorno é formado por uma região urbana de médio a baixo adensamento (*open*), por uma região totalmente aberta, ou com rugosidade mínima (*forced*) ou ainda uma região altamente adensada, com elevada rugosidade (*cyclic*).
- Os dados sobre a nebulosidade podem ser obtidos no banco de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. Recomenda-se que sejam obtidas as médias para o mês ou período de estudo de forma que represente de forma mais adequada o momento climático avaliado.

- O ajuste de radiação de onda curta também deve ser feito de forma a se adequar aos dados de nebulosidade. Este ajuste é feito por tentativa e erro na seção CLOUDS no módulo CONFIG com o auxílio do programa RADIASOL2 desenvolvido pelo laboratório de energia solar da UFRGS (disponível em <ftp://ftp.solar.ufrgs.br/progs/Radiasol2.zip>). Os ajustes na caracterização das nuvens deve ser feito até que o valor de SWdif (radiação difusa) às 12:00 solar coincida com o calculado para o local. Em seguida, na seção SOLARADJUST, conhecendo o valor de radiação global  $I_g$  para o mesmo horário ( $w/m^2$ ), comparar com o calculado após o ajuste de SWdif. Pela diferença deve ser atribuído um fator de correção entre 0,5 e 1,5.

### Configuração utilizada no Modelo (período quente-úmido):

<b>%MAIN-DATA</b> _____	
Name for Simulation (Text):	=CaliforniaÚMIDO
Input file Model Area	=[INPUT]\californiaT.in
Filebase name for Output (Text):	=californiaÚMIDO
Output Directory:	=[OUTPUT]\californiaÚMIDO
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):	=08.03.2013
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):	=20:00:00 (situação de atmosfera estável)
Total Simulation Time in Hours:	=48.00 (usar 24horas deste intervalo)
Save Model State each (min)?	=60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]:	=2.09 (constante-valor médio do mês-INMET)
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..):	=330 (direção predominante-INMET)
Roughness Length $z_0$ at Reference Point:	=0.1 (onde está o anemômetro do INMET)
Initial Temperature Atmosphere [K]:	=298.47 (às 20:00)
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air]:	=10.67 (constante-valor médio do mês)
Relative Humidity in 2m [%]:	=79.07 (às 20:00)
Database Plants	=Plants.dat
<b>[POSITION]</b> _____	
Longitude (+:east; -:west) in dec. deg:	=-56.06
Latitude (+:northern; -:southern) in dec. deg:	=-15.56
Longitude Time Zone Definition:	=-60 (15*-4)
<b>[SOILDATA]</b> _____ <b>Settings for Soil</b>	
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]:	=302.16(às 20:00)
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]:	=303.03(às 20:00)
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm)[K]:	=303.67(às 20:00)
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm):	=37.28(às 20:00)
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm):	=42.95(às 20:00)
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm):	=42.95(às 20:00)
<b>[TIMING]</b> _____ <b>Update &amp; Save Intervals (Default)</b>	
Update Surface Data each (sec)?	=10.0
Update Wind and Turbulence each (sec)?	=1800
Update Radiation and Shadows each (sec)?	=900
Update Plant Data each (sec)?	=300

<b>[TIMESTEPS]</b> _____ <b>Dynamical Timesteps (Default)</b>	
Sun height for switching dt(0) -> dt(1)	=35
Sun height for switching dt(1) -> dt(2)	=50
Time step (s) for level dt(0)	=10.0
Time step (s) for level dt(1)	=5.0
Time step (s) for level dt(2)	=2.0
<b>[TURBULENCE]</b> _____ <b>Options Turbulence Modells</b>	
Turbulence Closure ABL (0:diag.,1:prognos.):	=1
Turbulence Closure 3D Modell (0:diag.,1:prog.):	=1
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.):	=0
<b>[RECEPTORS]</b> _____ <b>Receptors coordinates</b>	
RECEPTOR 1 Co-ordinate	=
Save Receptors each [min]?	=60
<b>[BUILDING]</b> _____ <b>Building properties</b>	
Inside Temperature [K]:	=300.25 (media entre $T_{max}$ e $T_{min}$ )
Heat Transmission Walls [W/m <sup>2</sup> K]:	=2.95 (Manual: Reboco+tij+reboco)
Heat Transmission Roofs [W/m <sup>2</sup> K]:	=2.7 (Manual: Telha+ar+laje)
Albedo Walls: (albedo efetivo do Canion)	=0.17 (Sailor e Fan, 2002)
Albedo Roofs: (experimento UFMT)	=0.176
<b>[NESTING AREA]</b> _____ <b>Nesting Area Definition</b>	
Use aver. Solar input in nesting area (0:n; 1:y)	=1
Include Nesting Grids in Output (0:n;1:y)	=1
<b>[PMV]</b> _____ <b>Settings for PMV-Calculation</b>	
Walking Speed (m/s):	=0.5 (relação no Manual do Modelo)
Energy-Exchange (Col. 2 M/A):	=150 (relação no Manual do Modelo)
Mech. Factor:	=0.0 (relação no Manual do Modelo)
Heat transfer resistance cloths:	=0.5 (relação no Manual do Modelo)
<b>[PLANT MODEL]</b> _____ <b>Definitions for the vegetation model (Default)</b>	
Stomata res. Approach (1=Deardorff; 2=A-gs):	=2
Background CO <sub>2</sub> concentration [ppm]:	=350
<b>[LBC-TYPES]</b> _____ <b>Definitions for the lateral border of the 3d model</b>	
LBC for T and q (1:open; 2:forced; 3:cyclic):	=1 (entorno - região natural menos adensada)
LBC for TKE (1:open; 2:forced; 3:cyclic):	=1 (entorno - região natural menos adensada)
<b>[SOURCES]</b> _____ <b>Type of emitted gas/particle (Default)</b>	
Name of component:	=PM10
Type of component:	=PM
Particle Diameter in [µm] (0 for gas):	=10
Particle Density [g/cm <sup>3</sup> ]:	=1
Update interval for emission rate [s]:	=600
<b>[CLOUDS]</b> _____ <b>Cloudy conditions</b>	
Fraction of LOW clouds (x/8) constante	=4.2 (média do mês + ajuste RADIASOL2)
Fraction of MEDIUM clouds (x/8) constante	=0.7 (média do mês + ajuste RADIASOL2)
Fraction of HIGH clouds (x/8)	=0 (constante-valor médio do mês)
<b>[SOLAR ADJUST]</b> _____ <b>Adjustment of short-wave radiation</b>	
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5):	= 1.1308 (Ajuste usando RADIASOL2)

**Configuração utilizada no Modelo (período quente-seco):**

<b>%MAIN-DATA</b>	
Name for Simulation (Text):	=California
Input file Model Area	=[INPUT]\californiaT.in
Filebase name for Output (Text):	=californiaSECO
Output Directory:	=[OUTPUT]\californiaSECO
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):	=05.08.2013
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):	=20:00:00 (situação de atmosfera estável)
Total Simulation Time in Hours:	=48.00 (usar 24 horas deste intervalo)
Save Model State each (min)?	=60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]:	=2.46 (constante-valor médio do mês-INMET)
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..):	=170 (direção predominante-INMET)
Roughness Length z0 at Reference Point:	=0.1 (onde está o anemômetro do INMET)
Initial Temperature Atmosphere [K]:	=298.33 (às 20:00)
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air]:	=7.77 (constante-valor médio do mês)
Relative Humidity in 2m [%]:	=56.21 (às 20:00)
Database Plants	=Plants.dat
<b>[POSITION]</b>	
Longitude (+:east; -:west) in dec. deg:	=-56.06
Latitude (+:northern; -:southern) in dec. deg:	=-15.56
Longitude Time Zone Definition:	=-60 (15*-4)
<b>[SOILDATA] Settings for Soil</b>	
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]:	=304.09(às 20:00)
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]:	=305(às 20:00)
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm)[K]:	=305.96(às 20:00)
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm):	=32.56(Ajustado para a vegetação-irrigado)
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm):	=30.88(Ajustado para a vegetação-irrigado)
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm):	=30.88(Ajustado para a vegetação-irrigado)
<b>[TIMING] Update &amp; Save Intervals (Default)</b>	
Update Surface Data each (sec)?	=10.0
Update Wind and Turbulence each (sec)?	=1800
Update Radiation and Shadows each (sec)?	=900
Update Plant Data each (sec)?	=300
<b>[TIMESTEPS] Dynamical Timesteps (Default)</b>	
Sun height for switching dt(0) -> dt(1)	=35
Sun height for switching dt(1) -> dt(2)	=50
Time step (s) for level dt(0)	=10.0
Time step (s) for level dt(1)	=5.0
Time step (s) for level dt(2)	=2.0
<b>[TURBULENCE] Options Turbulence Modells</b>	
Turbulence Closure ABL (0:diagn.,1:prognos.):	=1
Turbulence Closure 3D Modell (0:diag.,1:prog.):	=1
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.):	=0
<b>[RECEPTORS] Receptors coordinates</b>	
RECEPTOR 1 Co-ordinate	=
Save Receptors each [min]?	=60

<b>[BUILDING] Building properties</b>	
Inside Temperature [K]:	=297.98 (média $T_{max}$ e $T_{min}$ )
Heat Transmission Walls [W/m <sup>2</sup> K]:	=2.95 (Manual: Reboco+tij+reboco)
Heat Transmission Roofs [W/m <sup>2</sup> K]:	=2.7 (Manual: Telha+ar+laje)
Albedo Walls: (albedo efetivo do Canion)	=0.17 (Sailor e Fan, 2002)
Albedo Roofs: (Experimento UFMT)	=0.176
<b>[NESTING AREA] Nesting Area Definition</b>	
Use aver. Solar input in nesting area (0:n; 1:y)	=1
Include Nesting Grids in Output (0:n;1:y)	=1
<b>[PMV] Settings for PMV-Calculation</b>	
Walking Speed (m/s):	=0.5 (relação no Manual do Modelo)
Energy-Exchange (Col. 2 M/A):	=150 (relação no Manual do Modelo)
Mech. Factor:	=0.0 (relação no Manual do Modelo)
Heat transfer resistance cloths:	=0.5 (relação no Manual do Modelo)
<b>[PLANT MODEL] Definitions for the vegetation model (Default)</b>	
Stomata res. Approach (1=Deardorff; 2=A-gs):	=2
Background CO <sub>2</sub> concentration [ppm]:	=350
<b>[LBC-TYPES] Definitions for the lateral border of the 3d model</b>	
LBC for T and q (1:open; 2:forced; 3:cyclic):	=1 (entorno - região natural menos adensada)
LBC for TKE (1:open; 2:forced; 3:cyclic):	=1 (entorno - região natural menos adensada)
<b>[SOURCES] Type of emitted gas/particle (Default)</b>	
Name of component:	=PM10
Type of component:	=PM
Particle Diameter in [µm] (0 for gas):	=10
Particle Density [g/cm <sup>3</sup> ]:	=1
Update interval for emission rate [s]:	=600
<b>[CLOUDS] Cloudy conditions</b>	
Fraction of LOW clouds (x/8) constante	=2.03 (média do mês+ajuste RADIASOL2)
Fraction of MEDIUM clouds (x/8) constante	=0.7 (média do mês+ajuste RADIASOL2)
Fraction of HIGH clouds (x/8)	=0 (constante-valor médio do mês)
<b>[SOLAR ADJUST] Adjustment of short-wave radiation</b>	
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5):	= 0.9598 (Ajuste usando RADIASOL2)

## **APÊNDICE 1**

Ilustração do Mapa de voo fornecido pela empresa Engefoto, responsável pelo levantamento fotográfico aéreo na cidade de Cuiabá, MT, em 2005.



## APÊNDICE 2

Ilustração do Certificado de calibração da câmera fotográfica, utilizada no levantamento fotográfico aéreo na cidade de Cuiabá, MT, em 2005, fornecido pela empresa Engefoto.

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE CÂMERA AEROFOTOGRAFÉTRICA**  
 Associação Brasileira de Cartógrafos - ABCART  
 CERTIFICADO Nº 0000000  
 CALIBRAÇÃO REALIZADA PELO MÉTODO DO CAMPO TRIDIMENSIONAL  
 CAMPO DE CALIBRAÇÃO: SÃO LUÍZ DO PIRUINÁ  
 FOLHA 1/2

PROFESSOR: ENGº FOTÓ - Engenharia e Ambientamento S.A.

**CARACTERÍSTICAS DA CÂMERA**

TIPO DE CÂMERA	CCD	RESOLUÇÃO	2736x2048
TIPO DE LENTE	1:1.80 (24mm)	RESOLUÇÃO	2736x2048
GRUPO DE FILTRO	23.1 (23mm)	RESOLUÇÃO	23.1

**DADOS DA CALIBRAÇÃO**

CÂMERA AEROFOTÓGR.	PROFESSOR	NÚMERO DE AEROFOTÓGR.	12
NÚMERO DE AEROFOTÓGR. (DE AEROFOTÓGR.)	300	NÚMERO DE AEROFOTÓGR.	20
TIPO DE LENTE	Focal (mm)	NÚMERO DE AEROFOTÓGR.	300
TIPO DE LENTE	400	NÚMERO DE AEROFOTÓGR.	Foto 1/20 11

**RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO**

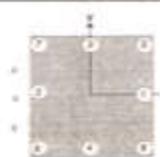
	PARÂMETROS	DESVIOS PADRÃO
DISTÂNCIA FOCAL CALIBRADA	$f_x = 192.037 \text{ mm}$	$\sigma_{f_x} = 0.020 \text{ mm}$
COORDENADAS DO PUNTO PRINCIPAL	$x_p = 0.075 \text{ mm}$	$\sigma_{x_p} = 0.008 \text{ mm}$
	$y_p = 0.020 \text{ mm}$	$\sigma_{y_p} = 0.008 \text{ mm}$
COEFICIENTES DA DISTORÇÃO RADIAL SIMÉTRICA	$k_1 = 7.208 \text{ E-05}$	$\sigma_{k_1} = 0.071 \text{ E-05}$
	$k_2 = -1.491 \text{ E-08}$	$\sigma_{k_2} = 0.208 \text{ E-08}$
	$k_3 = 0.190 \text{ E-12}$	$\sigma_{k_3} = 0.208 \text{ E-12}$
COEFICIENTES DA DISTORÇÃO DISTORCIDA	$p_1 = 2.028 \text{ E-07}$	$\sigma_{p_1} = 0.079 \text{ E-07}$
	$p_2 = 0.000 \text{ E-07}$	$\sigma_{p_2} = 1.752 \text{ E-08}$

Desvio de teste realizado a 95% de confiança. Método estatístico utilizado: teste t de Student. Registra.

*Eng. FOTÓGR. F. F. F. F. F.*  
 Eng. FOTÓGR. F. F. F. F. F.  
 2005.10.20.0000

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DE CÂMERA AEROFOTOGRAFÉTRICA**  
 Associação Brasileira de Cartógrafos - ABCART  
 CERTIFICADO Nº 0000000  
 CALIBRAÇÃO REALIZADA PELO MÉTODO DO CAMPO TRIDIMENSIONAL  
 CAMPO DE CALIBRAÇÃO: SÃO LUÍZ DO PIRUINÁ  
 FOLHA 1/2

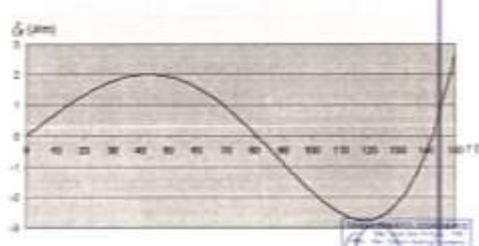
**SISTEMA DE COORDENADAS FIDUCIAIS**



**COORDENADAS**

PUNTO	X (mm)	Y (mm)
1	107.204	-1.020
2	107.204	-1.020
3	107.204	-1.020
4	107.204	-1.020
5	107.204	-1.020
6	107.204	-1.020
7	107.204	-1.020
8	107.204	-1.020

**CURVA DE DISTORÇÃO RADIAL SIMÉTRICA PARA DISTÂNCIA FOCAL CALIBRADA**



$E_p = 0.001 \text{ mm} \pm 0.001 \text{ mm}$

*Eng. FOTÓGR. F. F. F. F. F.*  
 Eng. FOTÓGR. F. F. F. F. F.  
 2005.10.20.0000

## APÊNDICE 3

Relatório de Processamento das Linhas de Base, elaborado pelo engenheiro florestal André Dias, para os dois períodos de levantamento, com GPS geodésico.

### LEVANTAMENTO 01:

#### Relatório de Processamento das Linhas de Base

Project name: Karina.ttp

Project folder: C:\Documents and Settings\PC\Meus documentos\K\Karina Rosseti

Creation time: 25/1/2012 19:23:08

Created by: André P. Dias

Linear unit: Meters

Angular unit: DMS

Projection: UTMSouth-Zone\_21 : 60W to 54W

Datum: WGS84

#### Adjustment Summary

Adjustment type: Plano + Altura, Inner constraint

Confidence level: 68 %

Number of adjusted points: 18

A posteriori plane UWE: 1 , Bounds: ( 1 , 1 )

#### Point Summary Report

Nome	Malha Norte (m)	Malha Este (m)	Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)
BASE	8273843,586	600971,742	15°36'40,44350S	56°03'29,16280W	177,090	174,54
R0124na	8272820,701	599325,763	15°37'13,96562S	56°04'24,28336W	156,364	153,81
R0124o	8272710,107	599107,296	15°37'17,59554S	56°04'31,60344W	154,719	152,17
R0124oa	8272544,153	599062,305	15°37'23,00243S	56°04'33,09006W	153,872	151,32
R0124p	8272835,904	598924,251	15°37'13,52766S	56°04'37,76853W	155,609	153,06
R0124pa	8273070,054	598984,318	15°37'05,89939S	56°04'35,78557W	157,517	154,97
R0124q	8273038,849	599191,233	15°37'06,88563S	56°04'28,83280W	158,677	156,13
R0124qa	8272888,286	599163,806	15°37'11,78919S	56°04'29,73181W	158,247	155,70
R0124r	8272900,787	599485,157	15°37'11,33683S	56°04'18,94258W	158,067	155,52
R0124ra	8272623,902	599380,031	15°37'20,36222S	56°04'22,43222W	156,478	153,93
R0124rb	8272414,306	599503,801	15°37'27,16541S	56°04'18,24521W	165,874	163,32
R0124s	8272250,100	599566,301	15°37'32,50016S	56°04'16,12233W	160,202	157,65
R0124sa	8272288,971	599446,024	15°37'31,25231S	56°04'20,16709W	163,849	161,30
R0124t	8272066,134	599304,876	15°37'38,52395S	56°04'24,87440W	158,549	156,00
R0124ta	8272232,456	599258,998	15°37'33,11796S	56°04'26,43937W	163,290	160,74
R0124tb	8272213,536	599135,626	15°37'33,75112S	56°04'30,57959W	163,934	161,38
R0124u	8272398,649	599197,003	15°37'27,71842S	56°04'28,54553W	161,091	158,54
R0124ua	8272469,308	599312,688	15°37'25,40263S	56°04'24,67102W	165,232	162,68

### Point Summary Report

Nome	Desv Padrão n (m)	Desv Padrão e (m)	Desv Padrão Hz (m)	Desv Padrão u (m)	Combined Ground to Grid Scale Factor
BASE	0,001	0,001	0,001	0,002	0,999698296396827
R0124na	0,005	0,006	0,008	0,027	0,999697471221568
R0124o	0,002	0,002	0,003	0,005	0,999697193232520
R0124oa	0,007	0,006	0,009	0,014	0,999697215780166
R0124p	0,005	0,005	0,007	0,009	0,999696605231952
R0124pa	0,016	0,016	0,023	0,030	0,999696452994619
R0124q	0,015	0,017	0,022	0,034	0,999696778047047
R0124qa	0,006	0,008	0,010	0,021	0,999696778209679
R0124r	0,004	0,003	0,005	0,014	0,999697595871932
R0124ra	0,004	0,004	0,006	0,012	0,999697586683885
R0124rb	0,005	0,006	0,008	0,011	0,999696416665051
R0124s	0,007	0,011	0,013	0,019	0,999697460589468
R0124sa	0,003	0,003	0,005	0,007	0,999696592294454
R0124t	0,010	0,012	0,015	0,033	0,999697077013731
R0124ta	0,015	0,020	0,025	0,058	0,999696220446521
R0124tb	0,003	0,003	0,004	0,011	0,999695816638776
R0124u	0,006	0,005	0,008	0,024	0,999696413290484
R0124ua	0,013	0,015	0,020	0,035	0,999696047542185

### GPS Observation Residuals

Nome	Precisão Horizontal (m)	Precisão Vertical (m)	dN (m)	dE (m)	dZ (m)	RMS	PDOP
BASE-R0124na	0,008	0,027	-1022,884	-1645,979	-20,726	0,028	4,592
BASE-R0124o	0,003	0,006	-1133,479	-1864,446	-22,371	0,006	2,464
BASE-R0124oa	0,009	0,014	-1299,432	-1909,437	-23,218	0,017	2,095
BASE-R0124p	0,007	0,009	-1007,681	-2047,491	-21,481	0,012	2,365
BASE-R0124pa	0,023	0,030	-773,531	-1987,424	-19,573	0,038	1,892
BASE-R0124q	0,022	0,034	-804,737	-1780,509	-18,413	0,041	2,208
BASE-R0124qa	0,010	0,021	-955,300	-1807,936	-18,843	0,023	2,938
BASE-R0124r	0,005	0,014	-942,798	-1486,585	-19,023	0,015	3,331
BASE-R0124ra	0,006	0,012	-1219,683	-1591,711	-20,612	0,013	2,649
BASE-R0124rb	0,008	0,011	-1429,280	-1467,941	-11,216	0,013	2,354
BASE-R0124s	0,013	0,019	-1593,485	-1405,441	-16,888	0,023	2,829
BASE-R0124sa	0,005	0,008	-1554,615	-1525,718	-13,241	0,009	2,354
BASE-R0124t	0,015	0,034	-1777,452	-1666,866	-18,541	0,037	3,173
BASE-R0124ta	0,025	0,058	-1611,130	-1712,744	-13,800	0,063	3,137
BASE-R0124tb	0,004	0,011	-1630,050	-1836,116	-13,156	0,011	3,197
BASE-R0124u	0,008	0,024	-1444,937	-1774,739	-15,999	0,025	3,790
BASE-R0124ua	0,020	0,035	-1374,278	-1659,054	-11,858	0,040	2,199

## GPS Obs Report

Nome	Distancia (m)	dN (m)	dE (m)	dZ (m)	Hora Início	Duração	Tipo Solução	dZ (m)
BASE-R0124na	1938,618	-1022,884	-1645,979	-20,726	24/1/2012 13:55:10	0:17:40	Fixo	-986,797
BASE-R0124o	2182,731	-1133,479	-1864,446	-22,371	24/1/2012 14:24:45	0:15:10	Fixo	-1093,811
BASE-R0124oa	2310,463	-1299,432	-1909,437	-23,218	24/1/2012 14:47:50	0:17:35	Fixo	-1253,641
BASE-R0124p	2282,817	-1007,681	-2047,491	-21,481	24/1/2012 15:12:20	0:17:40	Fixo	-973,629
BASE-R0124pa	2133,387	-773,531	-1987,424	-19,573	24/1/2012 15:38:10	0:14:35	Fixo	-748,322
BASE-R0124q	1954,601	-804,737	-1780,509	-18,413	24/1/2012 16:08:35	0:15:40	Fixo	-777,831
BASE-R0124qa	2045,511	-955,300	-1807,936	-18,843	24/1/2012 16:36:05	0:15:30	Fixo	-922,876
BASE-R0124r	1760,977	-942,798	-1486,585	-19,023	24/1/2012 17:07:35	0:13:45	Fixo	-909,436
BASE-R0124ra	2005,998	-1219,683	-1591,711	-20,612	24/1/2012 17:26:50	0:16:00	Fixo	-1176,186
BASE-R0124rb	2049,478	-1429,280	-1467,941	-11,216	24/1/2012 17:51:40	0:16:55	Fixo	-1380,108
BASE-R0124s	2125,435	-1593,485	-1405,441	-16,888	24/1/2012 18:16:15	0:15:40	Fixo	-1536,501
BASE-R0124sa	2178,920	-1554,615	-1525,718	-13,241	24/1/2012 18:44:55	0:17:25	Fixo	-1500,544
BASE-R0124t	2437,563	-1777,452	-1666,866	-18,541	24/1/2012 19:24:40	0:03:40	Fixo	-1714,373
BASE-R0124ta	2352,184	-1611,130	-1712,744	-13,800	24/1/2012 19:37:30	0:15:30	Fixo	-1555,621
BASE-R0124tb	2456,056	-1630,050	-1836,116	-13,156	24/1/2012 19:58:40	0:15:20	Fixo	-1574,537
BASE-R0124u	2289,316	-1444,937	-1774,739	-15,999	24/1/2012 20:23:30	0:16:05	Fixo	-1395,190
BASE-R0124ua	2155,006	-1374,278	-1659,054	-11,858	24/1/2012 20:59:20	0:17:00	Fixo	-1327,752

## LEVANTAMENTO 02:

## Relatório de Processamento das Linhas de Base

Nome do Projeto: teste.ttp

Pasta do Projeto: E:\\_Tramps\K\Karina Rosseti\Pontos Karina

Hora da Criação do Projeto: 07/04/2012 12:27:46

Criado por:

Comentários:

Unidade Linear: Meters

Unidade Angular: DMS

Projeção UTM: UTMSouth-Zone\_21 : 60W to 54W

Datum: SIRGAS2000

Hora: Atlantic Standard Time

## Ajustamento

Tipo de Ajustamento: **Plane + Height, Minimal constraint**

Nível de Confiança: **68 %**

Numero de pontos Ajustados: **8**

Numero de Pontos de Controle Planimétricos: **1**

Numero de vetores GPS usados: **7**

Plano UWE A posteriori: **1**, Bounds: ( **1**, **1** )

Numero de Pontos de Controle Altimétricos: **1**

A posteriori altura UWE: **1**, Intervalo: ( **1**, **1** )

COORDENADAS UTM						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Latitude	Longitude	Altitude Elips. (m)	Altitude Ortom. (m)
Base0035	8273843,586	600971,742	15°36'40,4435"S	56°03'29,1628"W	177,090	174,54
Estatico0265	8271484,810	600636,095	15°37'57,2515"S	56°03'40,0839"W	156,437	153,89
Estatico0266	8272380,838	600637,308	15°37'28,0927"S	56°03'40,1760"W	156,036	153,49
Estatico0267	8273153,914	600475,560	15°37'02,9582"S	56°03'45,7220"W	163,137	160,59
Estatico0268	8273095,191	599840,797	15°37'04,9599"S	56°04'07,0287"W	159,117	156,57
Estatico0269	8273110,518	598196,557	15°37'04,6934"S	56°05'02,2446"W	168,252	165,70
Estatico0270	8271629,867	598429,373	15°37'52,8447"S	56°04'54,2119"W	156,200	153,65
Estatico0271	8271612,276	599255,309	15°37'53,3006"S	56°04'26,4726"W	158,487	155,94

DESVIO PADRÃO				
Name	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)
Base0035	0,000	0,000	0,000	0,000
Estatico0265	0,081	0,096	0,125	0,243
Estatico0266	0,121	0,123	0,172	0,309
Estatico0267	0,142	0,129	0,192	0,332
Estatico0268	0,090	0,095	0,131	0,322
Estatico0269	0,116	0,158	0,196	0,535
Estatico0270	0,089	0,106	0,138	0,377
Estatico0271	0,119	0,106	0,159	0,414

PRECISÃO						
Name	North RMS(m)	East RMS(m)	Vert RMS (m)	CorrXY	CorrXZ	CorrYZ
Base0035-Estatico0265	0,081	0,096	0,244	-0,6842	-0,4960	0,3423
Base0035-Estatico0266	0,121	0,123	0,309	-0,6589	-0,3245	0,5829
Base0035-Estatico0267	0,142	0,129	0,330	-0,6192	-0,5377	0,7847
Base0035-Estatico0268	0,090	0,095	0,321	-0,7844	-0,7654	0,7533
Base0035-Estatico0269	0,116	0,158	0,535	-0,8535	-0,7268	0,7311
Base0035-Estatico0270	0,089	0,106	0,377	-0,8690	-0,5299	0,5737
Base0035-Estatico0271	0,119	0,106	0,414	-0,8850	-0,4386	0,4961

DISTANCIA, SOLUÇÃO, ORBITA E PDOP						
Name	Distance (m)	Solution Type	Orbit	PDOP	HDOP	VDOP
Base0035-Estatico0265	2383,342	Code Diff	Broadcast	2,784	1,122	2,547
Base0035-Estatico0266	1501,091	Code Diff	Broadcast	2,393	1,239	2,047
Base0035-Estatico0267	849,984	Code Diff	Broadcast	2,456	1,282	2,095
Base0035-Estatico0268	1356,674	Code Diff	Broadcast	2,325	1,106	2,045
Base0035-Estatico0269	2871,261	Code Diff	Broadcast	3,303	1,199	3,078
Base0035-Estatico0270	3372,169	Code Diff	Broadcast	2,504	0,961	2,313
Base0035-Estatico0271	2816,030	Code Diff	Broadcast	3,487	1,221	3,266

DURAÇÃO E INTERVALO						
Point Name	Original Name	Start Time	Stop Time	Duration	Method	Antenna Height (m)
Base0035	Base0035	04/04/2012 08:05:03	04/04/2012 12:15:12	04:10:09	Static	2,200
Estatico0265	Estatico0265	04/04/2012 08:34:21	04/04/2012 08:48:24	00:14:03	Static	2,200
Estatico0266	Estatico0266	04/04/2012 09:03:33	04/04/2012 09:19:12	00:15:39	Static	2,200
Estatico0267	Estatico0267	04/04/2012 09:40:57	04/04/2012 09:56:27	00:15:30	Static	2,200
Estatico0268	Estatico0268	04/04/2012 10:15:33	04/04/2012 10:33:27	00:17:54	Static	2,200
Estatico0269	Estatico0269	04/04/2012 10:51:00	04/04/2012 11:02:30	00:11:30	Static	2,200
Estatico0270	Estatico0270	04/04/2012 11:16:03	04/04/2012 11:31:09	00:15:06	Static	2,200
Estatico0271	Estatico0271	04/04/2012 11:47:51	04/04/2012 12:02:33	00:14:42	Static	2,200