

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E  
INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA TEMPERATURA APARENTE  
DA SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP.**

**MÔNICA YURI MASHIKI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Agronomia  
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E  
INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA TEMPERATURA APARENTE  
DA SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU/SP.**

**MÔNICA YURI MASHIKI**

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Campos

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Agronomia  
(Energia na Agricultura)

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO  
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA  
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M397g Mashiki, Mônica Yuri, 1985-  
Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e  
influência do uso e ocupação do solo na temperatura  
aparente da superfície no município de Botucatu/SP / Mônica  
Yuri Mashiki. - Botucatu : [s.n.], 2012  
ix, 67 f. : il. (algumas color.), gráfs., tabs., maps.  
  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Sérgio Campos  
Inclui bibliografia  
  
1. Geoprocessamento. 2. Ilha de calor urbana - -  
Botucatu (SP). 3. Sensoriamento remoto. 4. Solos - Efeito  
da temperatura - Botucatu (SP). I. Campos, Sérgio. II.  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"  
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.  
IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E  
INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA TEMPERATURA  
APARENTE DO MUNICÍPIO DE BOTUCATU - SP"

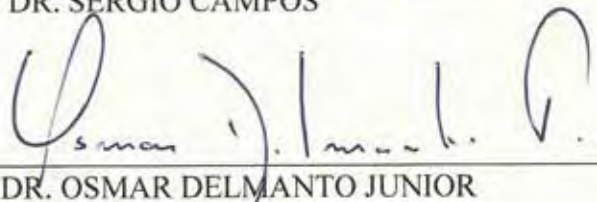
ALUNA: MÔNICA YURI MASHIKI

ORIENTADOR: PROF. DR. SERGIO CAMPOS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SERGIO CAMPOS



PROF. DR. OSMAR DELMANTO JUNIOR



PROFA. DRA. FERNANDA LEITE RIBEIRO

Data da Realização: 14 de dezembro de 2012.

Aos meus pais *Modesto e Yoko* e

Aos meus irmãos *Carina e Fábio*

**DEDICO**

Ao meu marido, *Thiago Fernandes Brizolla* e  
meus filhos *Gabriel Akira e Lara Harumi*,  
razões da minha vida, da minha motivação...

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTO

Ao *Professor Doutor Sérgio Campos*, agradeço pela orientação,  
pela oportunidade de realizar este trabalho e acima de tudo,  
pela confiança e amizade consolidada nestes anos de convivência.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre iluminou meus caminhos e me deu forças para continuar minha jornada, apesar das dificuldades enfrentadas;

À Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Campus de Botucatu-SP e ao Programa de Pós Graduação Energia na Agricultura, pela oportunidade de realizar este trabalho;

Ao *Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso* e *Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros*, membros da Banca de Qualificação, pelas sugestões e pelas palavras de incentivo ao trabalho;

Ao *Prof. Dr. Osmar Delmanto Júnior* e *Prof. Dra. Fernanda Leite Ribeiro*, membros da Banca Examinadora da Defesa da Dissertação, pela atenção dispensada e pela grande contribuição para aprimoramento deste trabalho;

À Prefeitura Municipal de Botucatu, que disponibilizou diversos materiais e aos funcionários da Secretaria de Planejamento pela cordialidade e presteza no atendimento e pelas informações concedidas;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida durante o curso;

À todos os profissionais e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS E OFERECIMENTOS.....	II
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURA.....	IX
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Ilhas de Calor.....	7
4.1.1 Definição.....	7
4.1.2 Tipos de Ilha de Calor.....	9
4.2 Vegetação Urbana.....	10
4.3 Atmosfera terrestre e suas interações.....	11
4.3.1 Radiação solar e albedo das superfícies.....	13
4.3.2 Emissividade.....	15
4.3.4 Lei de Plank.....	16
4.4 Sensoriamento Remoto.....	17
4.5 Imagens de Satélite.....	17
4.5.1 Sistema de Satélite TM/LANDSAT.....	17
4.5.2 Resoluções das imagens.....	19
4.5.2.1 Resolução espacial.....	19
4.5.2.2 Resolução espectral.....	21
4.5.2.3 Resolução radiométrica.....	22
4.5.2.4 Resolução Temporal.....	23



4.6 Número digital (ND).....	24
4.7 Infravermelho termal.....	25
4.8 Estimativa de temperatura de superfície.....	26
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1. Material.....	28
5.1.1 Descrição geral da área.....	28
5.1.2 Aplicativos computacionais utilizados.....	30
5.1.3 Imagens.....	30
5.1.4 Vetores do município, da área urbana e das regiões operacionais.....	30
5.1.5 Mapa das curvas de nível (altimetria).....	31
5.2. Métodos.....	31
5.2.1 Importação das imagens.....	31
5.2.2 Retificação Geométrica da imagem.....	31
5.2.3 Composição Red, Green, Blue (RGB).....	32
5.2.4 Obtenção da temperatura aparente da superfície.....	32
5.2.5 Determinação das classes de uso do solo e associação com a temperatura aparente da superfície.....	33
5.2.6 Análise da área urbana e temperatura aparente da superfície.....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
6.1 Classes de uso e comportamento das ilhas de calor.....	40
6.2 Identificação do uso do solo e comportamento da temperatura.....	41
6.2.1 Classe água.....	41
6.2.2 Classe Eucalipto.....	42
6.2.3 Mata nativa.....	42

6.2.4 Solo exposto.....	44
6.2.5 Área Urbana.....	44
6.2.5.1 Setor Norte.....	46
6.2.5.2 Setor Leste.....	48
6.2.5.3 Setor Central.....	49
6.2.5.4 Setor Sul.....	51
6.2.5.5 Setor Oeste.....	53
7 CONCLUSÕES.....	56
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXO.....	65

**LISTA DE TABELAS**

	Página
1 Características espectrais e espaciais do sensor TM/LANDSAT-5 e suas aplicações.....	18
2 Setores do município e suas respectivas temperaturas aparente.....	45
3 Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Norte.....	48
4 Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Leste.....	49
5 Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Central.....	51
6 Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Sul.....	53
7 Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Oeste.....	54

**LISTA DE FIGURAS**

	Página
1 Janelas atmosféricas e seus respectivos comprimentos de onda.....	13
2 Albedo dos diferentes materiais urbanos.....	14
3 Diferentes resoluções espaciais e identificação de alvos.....	21
4 Tipos de sensores de satélite.....	22
5 Mesma imagem com dois e quatro níveis de cinza.....	23
6 Matriz bidimensional dos pixels, a variação de ND e as escalas de cinza.....	25
7 Localização do Município de Botucatu no Estado de São Paulo.....	29
8 Composição RGB das bandas 5, 4 e 3.....	32
9 Imagem bruta da banda 6 do Landsat 5.....	33
10 Imagens da classe água.....	34
11 Imagens da classe eucalipto.....	35
12 Imagens da classe Mata Nativa.....	36
13 Imagens da classe solo exposto.....	37
14 Histograma gerado da classe de uso água.....	38
15 Comportamento da temperatura aparente no município de Botucatu, no dia 19/11/2010.....	41
16 Localização das áreas de mata nativa e eucalipto sobre o mapa de altitude.....	43
17 Limite da área urbana e polígonos dos setores sobre o mapa da temperatura aparente da superfície.....	45
18 Uso do solo do município de Botucatu - 2010.....	46
19 Setor Norte e suas Regiões operacionais.....	48
20 Setor Leste e suas Regiões operacionais.....	49
21 Setor Central e suas regiões operacionais.....	51

22 Setor Sul e suas regiões operacionais.....	53
23 Setor Oeste e suas regiões operacionais.....	55
24 Detalhe da região operacional R20.....	55

## 1 RESUMO

A radiação eletromagnética recebida pelos materiais de diferentes composições presentes na superfície terrestre emite ondas de radiação proporcionais a sua temperatura. Segundo a lei de Planck quanto maior a temperatura de um dado corpo, maior radiação eletromagnética será emitida pelo corpo. Os satélites através dos seus sensores captam os diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético gerando imagens de grande utilidade no sensoriamento remoto para estudos de diversas áreas do conhecimento. Este trabalho teve como objetivo analisar a influência dos diferentes usos e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP, através de imagens do satélite Landsat-5 captadas no dia 19/11/2010, órbita/ponto 220/076. Para o geoprocessamento das imagens utilizou-se o programa IDRISI versão ANDES. O algoritmo *thermal* foi utilizado para transformação dos níveis de cinza em graus Celsius. Foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 para composição falsa cor e visualização dos diferentes usos do solo e a banda 6, para a confecção do mapa temático da temperatura aparente da superfície. Dentre as classes verificadas, a classe de uso água apresentou a menor temperatura, 20.9°C, devido ao seu elevado calor específico (1cal/g°C). Para classe de uso Eucalipto a temperatura encontrada foi 23.8°C. A classe mata nativa variou sua temperatura entre 25.5 – 23.65 °C, dentre as duas áreas distintas observadas. A classe solo

exposto apresentou temperatura aparente de 33.6°C, média próxima aos valores encontrados na classe área urbana. Para análise do meio urbano, seguiu-se a divisão em setores (Norte, Sul, Leste, Oeste e Centro) proposta pela prefeitura e em Regiões Operacionais, devido à grande heterogeneidade deste ambiente. O setor Norte apresentou a maior temperatura aparente, 32.7°C, seguido do Setor Leste que apresentou 32.1°C e do Centro com 31.2°C. Os setores com temperatura aparente mais amena foram Oeste com 28.6°C e o Sul com 29.8°C. O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são ferramentas fundamentais para a análise da morfologia da temperatura aparente da superfície, sem a qual não seria possível visualizar tal fenômeno. O meio urbano heterogêneo aliado a baixa resolução espacial do sensor da banda 6 do Landsat- 5 dificultou sua análise e interpretação dos dados. As diferentes classes de uso e ocupação do solo influenciaram diretamente na temperatura aparente observada, evidenciando que áreas com maior disponibilidade de água e vegetação podem influir na amenização dos efeitos de anomalias térmicas como as Ilhas de Calor.

---

**Palavras-chave:** Temperatura aparente da superfície; Ilhas de Calor; Geoprocessamento

**GEOPROCESSING ON THE IDENTIFICATION OF HEAT ISLAND AND INFLUENCE OF SOIL USE AND OCCUPATION ON LAND SURFACE TEMPERATURE IN THE CITY OF BOTUCATU/SP. Botucatu, 2012. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.**

Author: MÔNICA YURI MASHIKI

Adviser: Ph. D. SÉRGIO CAMPOS

## **2 SUMMARY**

The electromagnetic radiation received by the different material composition presents on the land surface emits proportional radiation waves as its temperature. According to the Planck law how higher temperature of a given body, higher electromagnetic radiation will be emitted. Through its sensors satellites capture different length wave of the electromagnetic spectrum generating images to the study of different areas of remote sensing knowledge. This study aimed to analyze the influence of the different soil use and occupation in land surface temperature in the city of Botucatu/SP through images from the satellite Landsat 5 captured on 11/19/2010, path/row 220/076. For the images geoprocessing was used the program IDRISI ANDES version. The *thermal* algorithm was used to transform grey levels into Celsius degree. It was used the bands 3, 4 and 5 to the false color composition and visualization of the different soil uses. Between the classes verified the use water presents the lowest temperature, 20.9°C, because of the high specific heat (1cal/g°C). The temperature of the class eucalyptus was 23.8°C. The Native Forest class presents temperature between 25.5 – 23.65 °C. Exposed soil presents 33.6°C of land surface temperature, values closer to the urban area class. Urban environment analysis was divided into sectors (North, South, East, West and city center) and into operational regions because of your heterogeneity. The North sector presents the higher land surface temperature 32.7°C, following by East sector with 32.1°C and the city center 31.2°C. The sectors with the lowest land surface temperature was West (28.6°C) and South (29.8°C). Remote sensing and geoprocessing are fundamental tools to the analysis of land surface temperature morphology without which it was not possible visualize this phenomenon. The heterogeneous urban environment allied with low spatial resolution of band 6 sensor from Landsat 5 difficult the analysis and data interpretation. The different soil use and occupation influenced directly the land surface temperature, evidencing those areas with



availability of water and vegetation can influence and improve the effects of heat island and thermal anomaly.

---

**Key Words:** Land Surface Temperature; Heat Island; Geoprocessing.

### **3 INTRODUÇÃO**

A partir da Revolução Industrial, o crescimento urbano mundial se intensificou com a absorção das populações provenientes das áreas rurais, desencadeando o processo de urbanização. Posteriormente, algumas regiões passaram por uma reorganização do espaço urbano, a qual desencadeou outro processo, o de metropolização, resultante da integração físico-econômica de áreas urbanas localizadas em municípios distintos (FUCKNER, 2008).

O processo de urbanização alcançou proporções significativas de expressão espacial a partir dos meados do século XIX. Com a expansão das cidades, modificou-se substancialmente a paisagem natural. A grande concentração de áreas construídas, parques industriais, adensamento populacional, pavimentação asfáltica, associados à concentração de poluentes, criam condições para alterar o comportamento da baixa troposfera (camada limite), em ambientes urbanos (LOMBARDO, 1985).

O uso de materiais altamente reflectivos alteram o comportamento da radiação solar incidente na área urbana, resultando em inúmeros microclimas, como as ilhas de calor. As ilhas de calor são anomalias térmicas caracterizadas pela elevação de temperatura em determinadas áreas e podem ser observada em várias escalas.

A modificação da cobertura do solo, não só pelo ambiente urbano, mas também pelas atividades agropecuárias, onde ocorrem constantes movimentações do solo e interferência antrópica nos diversos processos de produção, também tendem a alterar a temperatura aparente da superfície.

Atualmente com o avanço das geotecnologias, de dados do sensoriamento remoto e aumento da resolução de imagens de satélite, obtem-se diversas informações do ambiente terrestre. Uma das informações contidas nas imagens é a temperatura aparente da superfície, obtida através da captação da energia eletromagnética emitida por determinado ambiente ou objeto.

Além da rápida obtenção de dados e disponibilidade gratuitas das imagens de satélite, o uso do sensoriamento remoto é crescente devido aos registros históricos disponíveis, oferecendo dados importantes para a análise temporal do desenvolvimento das ilhas de calor, sem a necessidade de coletas de dados *in situ*.

Os Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) são ferramentas fundamentais para aplicação das técnicas de processamento digital das imagens, possuem diversos algoritmos, dentre eles o *Thermal*, capaz de transformar os dados do infravermelho termal em temperatura aparente da superfície, imprescindíveis para interpretação destes dados.

O objetivo do presente estudo é fornecer dados em relação à espacialização do comportamento da temperatura aparente de superfície no perímetro urbano e uma correlação com os diferentes usos do solo, oferecendo ferramentas para o planejamento da urbanização e diretrizes para a implantação de áreas verdes e da arborização urbana, a fim de amenizar os efeitos das altas temperaturas.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Ilhas de Calor**

#### **4.1.1 Definição**

De todas as modificações climáticas produzidas pela cidade, a mais evidente e estudada consiste no fenômeno chamado de ilha de calor. É um fenômeno próprio das cidades, resultante do processo de urbanização e características peculiares ao meio urbano (BARBIRATO et al., 2007). O fenômeno da ilha de calor vem sendo observado em cidades em todo o mundo (GARTLAND, 2010).

Configura-se como um fenômeno decorrente do balanço de energia no espaço urbano, que se caracteriza através do acúmulo de calor nas superfícies e conseqüente elevação da temperatura do ar (BARBIRATO et al, 2007).

Coltri (2006) evidencia que uma das maiores modificações causadas pela urbanização é a alteração das características térmicas da superfície pelo excesso de edificações e materiais de construção quando comparado às áreas verdes. Tais materiais aumentam a absorção de energia bem como impermeabilizam a superfície. Além disso, o

aumento da rugosidade urbana altera padrões de circulação do ar, e as atividades antrópicas, por sua vez, alteram a atmosfera urbana pela adição de calor e material particulado.

Segundo Lombardo (1985), este fenômeno reflete a interferência do homem na dinâmica dos sistemas ambientais. A distribuição das isotermas nas cidades mostra uma tendência para o aumento da temperatura da periferia em direção ao centro.

Farias (2006) citado por Primavesi et al (2007) afirma que a intervenção da sociedade no clima é feita a partir das escalas inferiores, onde o livre arbítrio do homem é decisivo na construção de climas artificiais, podendo, pela ação cumulativa afetar até escalas maiores como a regional.

Oke (1974) traçou o perfil das ilhas de calor de grandes centros urbanos, descrevendo que o local com maior atividade antrópica, normalmente o centro, se caracteriza por ser mais quente do que os bairros residenciais e periféricos. Esse perfil foi chamado de perfil clássico das ilhas de calor.

O perfil clássico das ilhas de calor já foi estudado por diversos autores, como Lombardo (1985) que observou diferença de temperatura entre área urbana e rural, em São Paulo, na ordem de 10°C.

Mesmo municípios que não são consideradas grandes metrópoles, podem ter diferença entre temperatura rural e urbana comparável a de grandes centros urbanos, como foi observado por Coltri et al (2009), em estudo de ilha de calor em Piracicaba, SP.

Também podem ocorrer ilhas de calor em áreas rurais, se estiverem degradadas, secas, mas elas podem não ocorrer em áreas urbanas, se estiverem adequadamente arborizadas e com água disponível no solo para a evapotranspiração (PRIMAVESI et al, 2007).

Considerando a magnitude das ilhas de calor, muitos são os mecanismos e fatores que contribuem para a sua formação e intensidade desde sua localização geográfica até as condições climatológicas do dia. Há também fatores relacionados às características específicas da cidade como o tamanho, a densidade da população, o dia da semana, a cultura local (COLTRI et al, 2007).

Costa (2009) analisando diferenças de temperatura no município de Ilha Solteira –SP, constatou que entre classes de uso e ocupação do solo existe variação

térmica e que a classe que apresentou os menores intervalos de temperatura foi a classe vegetação. As maiores temperaturas observadas (41 e 44° C), correspondem às classes de uso do solo com edificações e/ou pavimentada, já as menores temperaturas (20 – 23°C), estão localizadas no zoológico e no Parque da Mantigueira, que compreendem áreas com maior índice de vegetação.

Fuckner (2008) no estudo de temperatura da superfície em grandes aglomerações, como São Paulo e Rio de Janeiro, verificou que nestas regiões não ocorre o perfil clássico das ilhas de calor e que a ocorrência do fenômeno está também associada aos padrões socioeconômicos de ocupação urbana nos diferentes bairros ou distritos.

Pode se observar que o perfil clássico das ilhas de calor não se aplica em cidades altamente edificadas como São Paulo, onde o centro velho da cidade (Praça da Luz, Praça Ramos de Azevedo, por exemplo) sofre com as “ilhas de frio” devido ao sombreamento do solo pelos edifícios (JARDIM, 2007).

Quanto mais altas e mais próximas as edificações, menor o acesso dessas áreas à radiação solar (BARBIRATO et al, 2007). Porém as edificações próximas também tendem ao armazenamento de calor pela radiação incidente, dificultando sua dissipação para a atmosfera em razão das diversas reflexões da radiação.

As ilhas de calor também podem ser observadas no período noturno, pelo armazenamento de calor dos materiais empregados na área urbana durante o dia e emissão desse calor durante a noite, agindo como reservatórios de radiação (BARBIRATO et al, 2007; GARTLAND 2008; JENSEN, 2009).

#### **4.1.2 Tipos de ilhas de calor**

Segundo Fialho e Azevedo (2009), existem diferenças entre ilhas de calor, em relação às diversas técnicas de monitoramento que levam a medidas de temperatura do ar ou da superfície, e que permitem observar fenômenos diferentes.

Para Fialho (2009) a ilha de calor pode ser dividida em:

- Ilha de calor atmosférica, que leva em consideração diferença entre os tipos de uso e cobertura da terra, além da topografia e localização da área. A ilha de calor atmosférica

é mais evidente no período noturno, é medida através da temperatura do ar em transectos móveis ou pontos fixos;

- Ilha de calor Vertical, é um modelo proposto por OKE (1981), dividida em camada intra urbana (UCL- Urban Canopy Layer) e camada limite urbano (UBL- Urban Boundary Layer). A camada intra urbana estende-se desde a superfície até o nível dos telhados das edificações. É detectado em micro escala. Já a camada limite urbano estende-se acima do nível dos telhados, verificada em mesoescala, dependente das características da rugosidade urbana, velocidade dos ventos, poluição.
- Ilha de calor de Superfície tem como principal ferramenta o uso dos recursos do sensoriamento remoto que resulta na estimativa da temperatura aparente de superfície.

#### **4.2 Vegetação Urbana**

A presença da vegetação reduz os efeitos das ilhas de calor de duas maneiras: através da sombra proporcionada pela copa das árvores e também devido ao processo de evapotranspiração, que aumenta a umidade relativa do ar e diminui a temperatura relativa do ar (GARTLAND, 2010).

Segundo Ometto citado por Primavesi et al (2007) cada grama de água, ao evaporar, retira em torno de 540 calorias do ar (calor latente de vaporização). A evapotranspiração de 1 mm de água (equivalente a 1 L/m<sup>2</sup>) retira 59 cal/cm<sup>2</sup>. Por isso, quando existe água no solo para que a planta possa transpirar, a sombra de árvores é mais fresca do que a sombra de telhados. Oferece mais conforto térmico. Um telhado pode diminuir a temperatura do ar em 2°C, enquanto a sombra de uma árvore que transpira pode reduzir a temperatura em 4°C (PRIMAVESI et al, 2007).

Qualquer tipo de vegetação tem influencia na amenização de ilhas de calor, considerando que o município de Piracicaba- SP está inserido num microclima de cana-de-açúcar e se apresenta como um dos maiores pólos produtores da cadeia sucro-alcooleira do Brasil, Coltri et al (2007) estudou a relação de temperatura no período de entressafra da cana (inverno) com as de safra (outono) e foi possível verificar que a média das ilhas de calor do inverno (entressafra) foi de 24,71°C e a média das ilhas de calor de outono (safra) foi de 21,40°C. Assim, as ilhas de calor do inverno foram, aproximadamente, 3.3°C mais intensas

que as do outono. As condições no entorno da cidade e a sazonalidade da cana de açúcar influenciaram diretamente no microclima urbano.

A evapotranspiração das plantas tem efeito muito positivo no clima urbano, pois esse processo tem a capacidade de absorver calor, levando à diminuição da temperatura do microclima local nas horas de maior calor (ABREU, 2008).

Segundo Barbirato et al (2007), grande parte da radiação solar que incide sobre as folhas são absorvidas, dependendo da densidade e espessura da folhagem, pois estas possuem baixo índice de reflexão e, a radiação absorvida é utilizada pela planta para os processos de fotossíntese e transpiração.

A cobertura vegetal pode absorver até 50% da radiação de onda curta e até 95% da radiação de onda longa (MASCARÓ; MASCARÓ, 2001 citado por BARBIRATO et al, 2007). A radiação de onda curta é aquela proveniente da radiação solar e a radiação de onda longa aquela emitida pela superfície terrestre.

A presença de vegetação em grandes maciços pode levar a formação de “ilhas de frescor”, como o que foi observado por Coltri (2006), que mesmo em área denominada como central de grande movimentação da cidade de Piracicaba/SP, observou que com a presença de árvores a temperatura de superfície era menor do que em outros pontos no mesmo bairro.

O sombreamento do solo pelas árvores favorece a manutenção do equilíbrio energético do ambiente, uma vez que há o impedimento da absorção de radiação solar excessiva que, sendo depois re-emitida, promoveria o aquecimento do ar (OMETTO, 1981 citado por MODNA; VECCHIA, 2003).

Estudos realizados por Abreu (2008), em relação à escala de influência da vegetação no microclima com diferentes espécies arbóreas, mostram que a presença da arborização é de extrema importância em relação à atenuação da radiação solar, principalmente em ambientes artificiais como nas cidades.

### **4.3 Atmosfera terrestre e suas interações**

A atmosfera é composta majoritariamente pelos gases nitrogênio, que representa cerca de 78%, e oxigênio, com cerca de 21% dos constituintes atmosféricos. A



presença de vapor d'água é definida pelos processos de evaporação e precipitação e podem, em certas regiões do globo, apresentar fração apreciável de cerca de 4% (ROSÁRIO, 2005).

Na atmosfera também há presença de gases variáveis, como os aerossóis, o ozônio, os clorofluorcarbonetos e outros, que uma vez emitidas e presentes na atmosfera passam a fazer parte da composição atmosférica e a participar dos diversos processos físico-químicos que ocorrem (ROSÁRIO, 2005; SAYÃO, 2008).

Segundo Moreira (2007, p. 39) “A absorção da radiação solar na atmosfera ocorre através de dois processos: dissociação e fotoionização na alta atmosfera, além da vibração e transição rotacional de moléculas”.

A presença desses gases podem espalhar, absorver e atenuar a radiação solar que penetra na atmosfera (ROSÁRIO, 2005), ainda acrescenta-se a esses fatores a influência na refletividade da superfície (SOUZA e SILVA 2005).

As regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera absorve maior parte da energia infravermelha são denominadas bandas de absorção. O vapor d'água ( $H_2O$ ), dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) e ozônio ( $O_3$ ) são os responsáveis por grande parte dessa absorção (JENSEN, 2010). No sensoriamento remoto evita-se a construção de sensores que trabalhem nas bandas de absorção, pois nenhuma radiação seria captada por eles.

A atmosfera, entretanto, permite a passagem de grande parte da radiação em regiões chamadas de ‘janelas’ espectrais (SAYÃO, 2008), que se caracterizam por regiões do espectro eletromagnético em que há baixa atenuação e menores interações da atmosfera com a radiação emitida ou refletida pela superfície da Terra, como mostra a Figura 1.

No intervalo de comprimento de onda que compreende 8  $\mu m$  a 12  $\mu m$ , na qual está o canal termal do sensor TM – Landsat 5, a radiação que atinge a superfície ou que é emitida por esta, é pouco atenuada pela atmosfera, sendo o vapor d'água responsável por quase todo efeito de atenuação (SOUZA e SILVA, 2005).

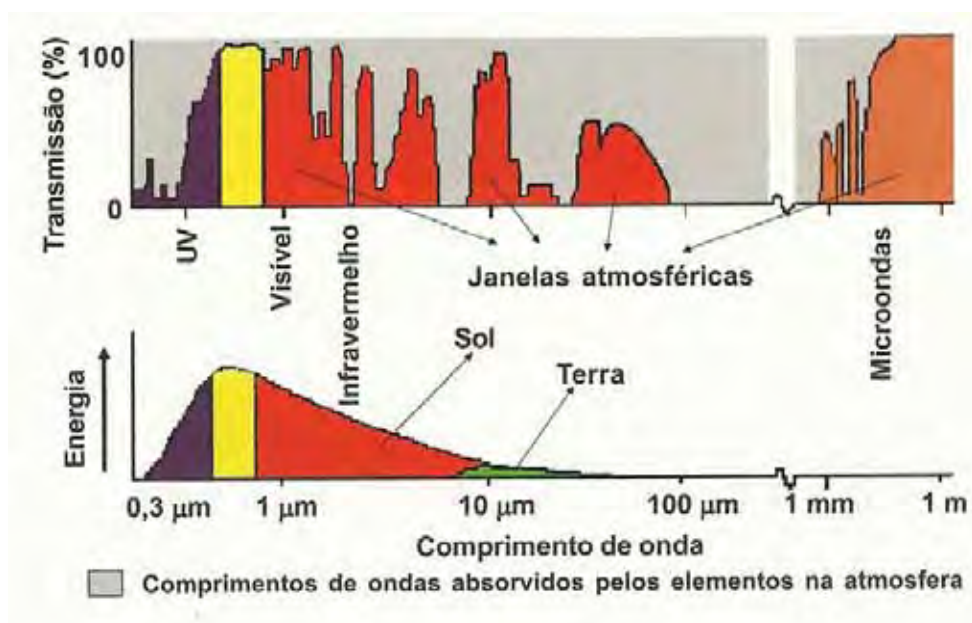


Figura 1. Janelas atmosféricas e seus respectivos comprimentos de onda.  
Fonte: Moreira, 2007.

Gusso et al (2007) e Fuckner (2008) também colocam que na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético está situada uma janela atmosférica, excluindo a faixa em torno de 9,6 μm, onde ocorre a forte banda de absorção do ozônio. Para esses autores mesmo com a presença das janelas atmosféricas há interferência da atmosfera que deve ser levada em consideração.

Embora Nascimento (2011), afirme que a correção atmosférica não seja necessariamente fundamental em estudos mensurados no Infravermelho Termal.

#### 4.3.1 Radiação solar e albedo das superfícies

Em relação à interação da radiação solar com a superfície terrestre Barbirato et al. (2007), descrevem que o ozônio absorve a maior parte dos raios ultravioletas e aqueles de menor comprimento de onda, fazendo com que uma pequena parcela chegue à superfície da terra. Os vapores d'água e o dióxido de carbono absorvem grande parte dos raios infravermelhos, reduzindo sua carga térmica.

A parcela de radiação restante é absorvida pelas superfícies terrestres e reemitida ao meio sob forma de ondas longas, produzindo um aumento na temperatura do ar.

Tal reemissão varia segundo o albedo de cada superfície, isto é, segundo a porção de radiação incidente refletida pela superfície.

O albedo é o percentual de radiação solar de ondas curtas refletida pela superfície: atinge 90% sobre a neve, aproximadamente 20% sobre a vegetação e somente 10% sobre corpo de água. A radiação não refletida será utilizada para evaporar água, para ativar moléculas de ar ou será irradiada na forma de calor, na forma de ondas longas ou na forma de ondas infravermelhas, além de realizar a fotossíntese e de promover a transpiração nas plantas. Essa radiação não consegue passar ao espaço sideral pela camada de gases de efeito estufa e de vapor de água, que redirecionam, “socializam”, esse calor em escala global (PRIMAVESI et al., 2007).



Figura 2. Albedo dos diferentes materiais urbanos  
Fonte: Bias et al, 2003.

A partição de energia absorvida na superfície, entre os fluxos de calor latente (quantidade de calor que causa mudança de estado físico, mas não de temperatura) e sensível (quantidade de calor que não causa mudança de estado físico, apenas de temperatura) é chamada de razão de Bowen. Depende fortemente da disponibilidade de água na superfície para evaporação e transpiração das plantas. Sob condições de solo seco esta energia é usada para aquecer a atmosfera e a superfície.

Em áreas urbanas, completamente secas devido à impermeabilização do solo, esta partição de energia resulta em altos fluxos de calor sensível e altas temperaturas na superfície. Em áreas mais úmidas onde há vegetação não estressada do ponto de vista

hídrico, os fluxos de calor sensível são mais baixos e as temperaturas mais amenas, enquanto os fluxos de calor latente são mais expressivos, uma vez que a energia é utilizada nos processos de evaporação e transpiração das plantas (GOUVÊA, 2007).

Segundo Barbirato et al (2007): “A capacidade de reflexão e absorção dos diversos materiais, em relação a luz e ao calor, depende diretamente de suas propriedades físicas (albedo) como densidade, textura e cor. Influenciam consideravelmente na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para atmosfera[...]”

#### **4.3.2 Emissividade**

A emissividade é um fator que indica a eficiência de uma superfície em emitir energia, quando comparada com um corpo negro à mesma temperatura (PACHÊCO, 1998).

O corpo negro é uma superfície hipotética cuja emitância espectral é máxima em todos os comprimentos de onda, ou seja, possui emissividade constante e igual a 1 (FUCKNER, 2008).

Jensen (2010) descreve que a emissividade de um determinado objeto pode ser influenciada pelos seguintes fatores:

- Cor;
- Composição química do objeto;
- Teor de umidade;
- Rugosidade superficial;
- Grau de compactação do solo;
- Campo de visada;
- Comprimento de onda;
- Ângulo de visada.

Segundo Fialho (2009) o sensor do satélite capta a intensidade da radiação eletromagnética emitida pelos diferentes objetos presentes na superfície e que para obter sua temperatura é necessário estimar as emissividades para cada objeto imageado.

Porém, como o ambiente urbano é altamente heterogêneo e com a limitação da resolução das imagens que não distinguem alvos distintos no mesmo pixel, a estimativa da emissividade gera uma generalização que incorre a erros, como observado por FUCKNER (2008), que adotou a emissividade para 0,96 e verificou durante a execução do processamento que se a emissividade dos corpos fosse mais alta do que o valor adotado, o valor da temperatura seria superestimado, e subestimado, caso o valor adotado fosse menor.

#### 4.3.4 Lei de Plank

Segundo Hecht (1998) citado por Gusso et al (2007), a lei da radiação de Planck publicada em 1900 descreve como a energia irradiada de um corpo negro distribuída em termos de comprimentos de onda no espectro eletromagnético.

É a relação entre energia emitida por um dado corpo e sua temperatura. Portanto, quanto maior a temperatura de um corpo, maior a quantidade de energia emitida por esse corpo (BIAS, 2003).

O relacionamento entre a energia que deixa um dado corpo e sua temperatura é expressa pela Lei de Plank:

$$B_{\lambda} = C_1 / \lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)$$

Onde:  $B_{\lambda}$  é a radiância espectral em ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ) em determinado comprimento de onda  $\lambda$ ,  $C_1$  e  $C_2$  são constantes ( $C_1 = 3,74 \times 10^8$  e  $C_2 = 1,439 \times 10^4$ ) e  $T$  a temperatura física do objeto medida em graus Kelvin.

Porém, segundo Novo (2008), para interpretação de dados no infravermelho termal, é necessário utilizar a função inversa de Plank, pois o sensor mede a radiância espectral e o que se quer estimar é a temperatura.

Jensen (2010) relata que objetos com temperatura acima do zero absoluto (0 K) emitem energia eletromagnética, portanto, todos os elementos presentes na paisagem (vegetação, solo, rocha, água) emitem radiação eletromagnética infravermelha termal entre os intervalos de 3,0 – 14  $\mu m$  do espectro.

Desta forma, os sensores presentes nos satélites conseguem captar a radiação emitida por objetos e transformá-las em imagens que podem ser manipuladas e

observadas, uma vez que a visão humana é sensível apenas aos comprimentos de onda curtos (luz visível do espectro que varia de 0,4- 0,7  $\mu\text{m}$ ).

#### **4.4 Sensoriamento Remoto**

O Sensoriamento remoto é a arte e a ciência de obter informação sobre um objeto sem estar em contato físico direto com o ambiente (JENSEN, 2010).

O sensor remoto tem como principal função captar e medir a quantidade de energia refletida ou emitida pelos alvos, e desta forma obter informações sobre a natureza e/ ou condições dos mesmos. Os dados a serem adquiridos também dependem do tipo de informação, do tamanho e da dinâmica dos objetos e dos fenômenos estudados (ARAÚJO, 2006).

Dentre os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis, as fotografias aéreas e as imagens de satélites são as ferramentas mais utilizadas em trabalhos de exploração e monitoramento ambiental.

Atualmente a utilização do sensoriamento remoto vem ganhando espaço em diversos níveis de pesquisa na área ambiental e agrônômica, devido à disponibilidade de imagens com médias e altas resoluções, que auxiliam na tomada de decisões de maneira bastante eficaz.

Dentre as diferentes utilizações podemos citar o uso do sensoriamento remoto na classificação de solos, no monitoramento dos recursos hídricos, em geologia, no monitoramento de secas, queimadas, inundações, na previsão de safras agrícolas, no balanço de energia da superfície terrestre, entre outros (LIU, 2007).

Os estudos de clima urbano e Ilhas de calor vêm ganhando importância na área do sensoriamento remoto, pois oferece visões de diferentes escalas através de transformações de dados do infravermelho termal em temperatura aparente (COLTRI, 2006).

#### **4.5 Imagens de satélite**

##### **4.5.1 Sistema de Satélite TM/LANDSAT**

O satélite Landsat 5 foi lançado pela NASA em Março de 1984 a bordo de dois tipos de sensores o Multispectral Scanner (MSS) e o Thematic Mapper (TM). O sinal do sensor MSS foi perdido em Agosto de 1995, portanto atualmente somente o sensor TM tem fornecido imagens. O sensor TM possui 7 bandas, cada uma detecta informações de faixas específicas do espectro eletromagnético, discriminado na tabela 1:

Tabela 1: Características espectrais e espaciais do sensor TM/LANDSAT-5 e suas aplicações

<b>Banda</b>	<b>Faixa Espectral</b>	<b>Região do Espectro</b>	<b>Resolução Espacial (m x m)</b>	<b>Principais Aplicações</b>
1	0,45 – 0,52	Azul	30	Oceanografia; Diferenciação entre solo e vegetação; Diferenciação entre vegetações coníferas e decíduas.
2	0,52 – 0,60	Verde	30	Reflectância de vegetação verde e sadia.
3	0,63 – 0,69	Vermelho	30	Absorção de clorofila; Diferenciação de espécies vegetais.
4	0,76 – 0,90	IV/Próximo	30	Levantamento de biomassa; Delineamento de corpos de água.
5	1,55 – 1,75	IV/Médio	30	Medidas de umidade de vegetação; Diferenciação entre nuvens e neve.
6	10,4 – 12,5	IV/Termal	120	Mapeamento de estresse térmico em plantas; Outros mapeamentos térmicos.
7	2,08 – 2,35	IV/Médio	30	Mapeamento hidrotermal

IV: Infravermelho.

Fonte: Barbosa, 2009.

O Landsat TM 5 tem sua órbita quase polar, permitindo uma cobertura completa da terra entre 81° N e 81° S, e heliossíncrona, ou seja, sincronizadas com o sol, passando na mesma hora solar em qualquer ponto observado. Sua órbita é repetitiva e elíptica, numa altitude média de 705,3 km, uma inclinação de 98,3° e velocidade equivalente a 7,7 km/s no solo. Suas imagens apresentam uma resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza) (ARAÚJO, 2006).

Segundo Jensen (2010) o intervalo do espectro eletromagnético correspondente a banda 6 mede a quantidade de energia radiante infravermelha emitida nas superfícies. A temperatura aparente é uma função da emissividade e da temperatura verdadeira (cinética) da superfície. É útil para localizar atividade geotermal, classificação e análise de estresse de vegetação, umidade do solo e temperatura.

Ainda segundo Jensen (2010), os sistemas orbitais de sensoriamento remoto no infravermelho termal geralmente registram dados na região de 10,5-12,5  $\mu\text{m}$  para evitar as bandas de absorção atmosférica.

#### **4.5.2 Resoluções das imagens**

Atualmente existe uma gama de sensores a bordo de satélites artificiais na órbita terrestre. Satélites estes com diversos fins desde científicos, militares, para uso em telecomunicações, metrológicos, entre outros.

Os satélites científicos voltados à coleta de dados sobre a Terra carregam a bordo sistemas sensores (MOREIRA, 2007) com diferentes tipos de resolução: Espacial, Espectral, Radiométrica e Temporal.

##### **4.5.2.1 Resolução espacial**

Segundo Coltri (2006), a resolução espacial identifica a menor separação angular ou linear entre dois objetos na imagem. Representam a menor feição passível de detecção pelo sensor (NOVO, 2008).

Geralmente quanto menor a resolução espacial nominal, maior o poder de resolução espacial do sistema de sensoriamento (JENSEN, 2009), o contrário também é



válido, ou seja, quanto maior a resolução nominal, menor o poder de resolução espacial na identificação dos alvos.

A resolução espacial é um fator importante no processo de reconhecimento de feições da superfície terrestre, os sensores de alta resolução permitem detectar objetos de dimensões pequenas e na medida em que a resolução espacial se torna baixa os alvos menores se tornam mais difíceis de serem identificados na imagem (NOVO, 2008).

Na Figura 3, observam-se três tipos de resolução espacial de diferentes sensores e à medida que a resolução espacial diminui (30 m), dificulta-se a identificação de alvos menores, ao passo que quando a resolução é alta (60 cm), é possível identificar alvos menores como os quarteirões do bairro, as unidades habitacionais, etc.

Portanto, a escolha da resolução espacial de uma imagem é imprescindível nos estudos de sensoriamento remoto, pois a escolha de uma imagem com baixa resolução para estudos de alvos pequenos inviabiliza sua identificação, da mesma forma que imagens com alta resolução para o estudo de alvos que não necessitam desta resolução dificultam as análises e o tempo de processamento das imagens.

Jensen (2010) coloca que:

[...] para detectar uma feição, a resolução espacial nominal deveria ser pelo menos a metade do tamanho da feição medida na sua menor dimensão [...]. Se quisermos identificar a localização de pequenas árvores num parque, a resolução espacial mínima aceitável seria aproximadamente a metade do diâmetro da menor copa de árvore [...].

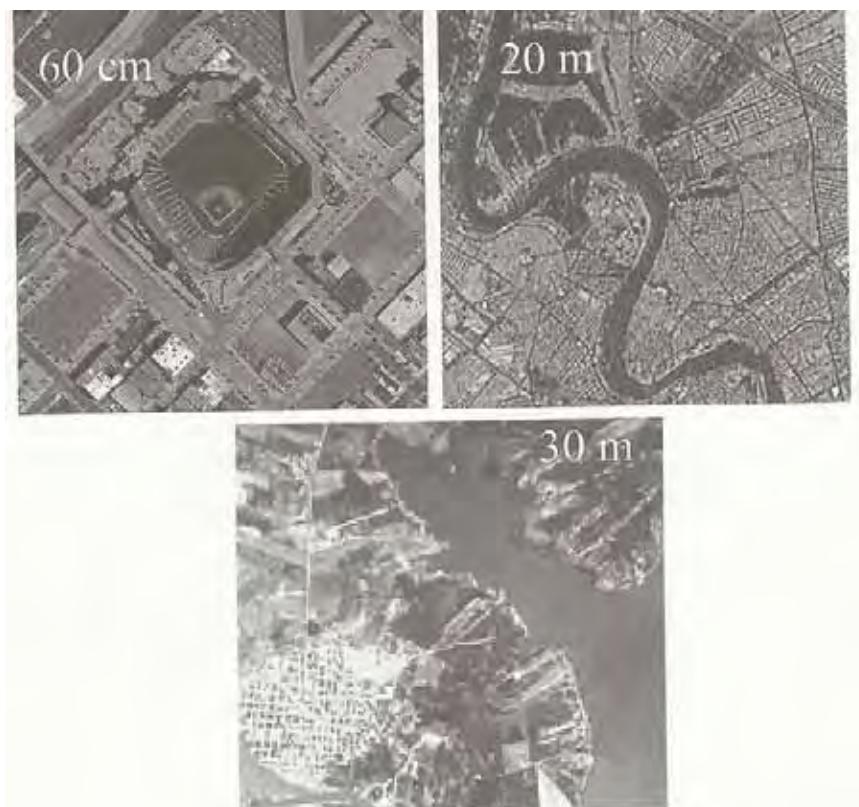


Figura 3. Diferentes resoluções espaciais e identificação de alvos.  
Fonte: Novo, 2008.

#### 4.5.2.2 Resolução espectral

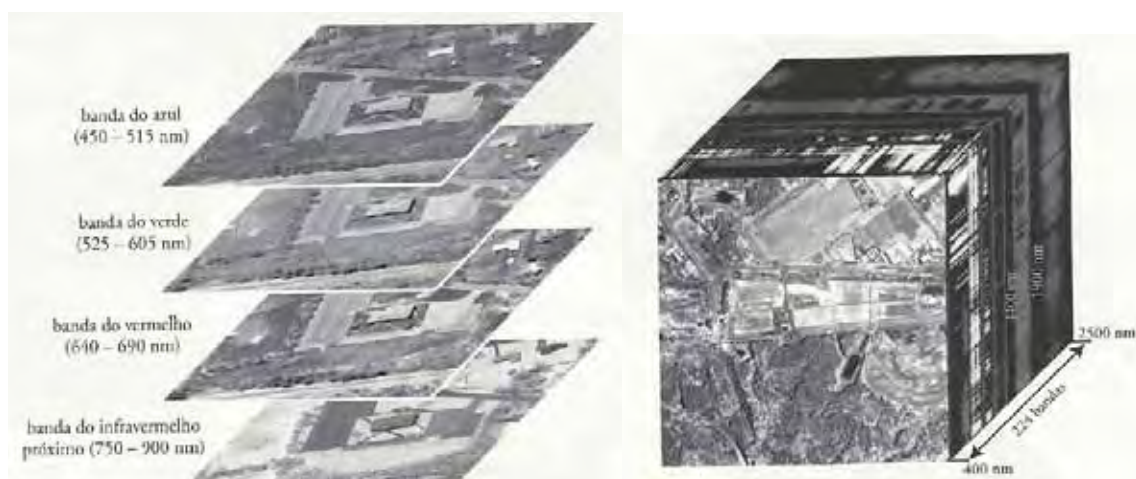
Resolução espectral está relacionado com o número e a dimensão (tamanho) de intervalos de comprimento de ondas (bandas ou canais) do espectro eletromagnético aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível (JENSEN, 2010). Portanto, são as fatias do espectro eletromagnético que conseguem ser detectadas pelos sensores, onde cada comprimento de onda ou uma combinação delas são utilizados para diversas análises.

A combinação de bandas mais usual do satélite Landsat 5 é a das bandas 5 (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ ), 4 ( 0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ) e 3 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ). As imagens são disponibilizadas em escala de cinza e para conseguirmos identificar os alvos é necessária a aplicação de uma composição falsa cor, denominada RGB (correspondente as cores Red (vermelho), Green (verde) e Blue (azul)). Segundo Barbosa (2009), o olho humano é sensível a luz nestas três colorações, que quando combinadas geram as outras cores.

Cada banda do sensor desenvolvido para operar em determinado satélite possui seu intervalo de comprimento de onda. Existem sistemas multiespectrais, que operam em múltiplas bandas e sistemas hiperespectrais que trabalham com centenas de bandas.

Na Figura 4 A, tem-se um exemplo de sistema multiespectral utilizado pela série LANDSAT e o sensor Multispectral Scanner (MSS) e suas 4 bandas espectrais.

Os sistemas hiperespectrais (Figura 4 B) operam disponibilizando bandas com intervalos de comprimento de onda menores, porém em maior quantidade de bandas. Como exemplo pode-se citar o AVIRIS (Airborne Visible/infrared Imaging Spectrometer) que possui 224 bandas com intervalo espectral de 10 nm (JENSEN, 2009).



A: As 4 bandas e seus respectivos intervalos espectrais.

B: As 224 bandas com intervalo espectral de 10 nm.

Figura 4. Tipos de sensores de satélite. A. Sensor multiespectral; B; Sensor Hiperespectral  
Fonte: Jensen (2010).

#### 4.5.2.3 Resolução radiométrica

De acordo com Novo (2008), a resolução radiométrica de um sensor descreve sua habilidade de distinguir variações no nível de energia refletida, emitida ou retro-espalhada que deixa a superfície do alvo.

Quanto maior a capacidade do sensor de distinguir as variações de energia, maior sua resolução radiométrica.

Para representação dessa capacidade de detecção pelo sensor, atribuem-se tons de cinza às imagens e o número de variações da tonalidade cinza, depende do número de bits do sistema de gravação do sensor (MOREIRA, 2007). Para o cálculo da resolução radiométrica de um sensor utiliza-se a expressão  $2^n$ , onde n é o número de bits.

A resolução radiométrica do sensor é bastante importante nas análises do sensoriamento remoto, uma vez que imagens com baixa resolução radiométrica tendem a formar agrupamentos de alvos distintos, pois não possuem a capacidade de detectá-las separadamente, uma alta resolução radiométrica aumenta a probabilidade de que os fenômenos sejam avaliados com mais exatidão (JENSEN, 2010; MOREIRA 2007). Na Figura 5, observa-se a diferença entre o número de nível de cinza empregado na discriminação de elementos da imagem.

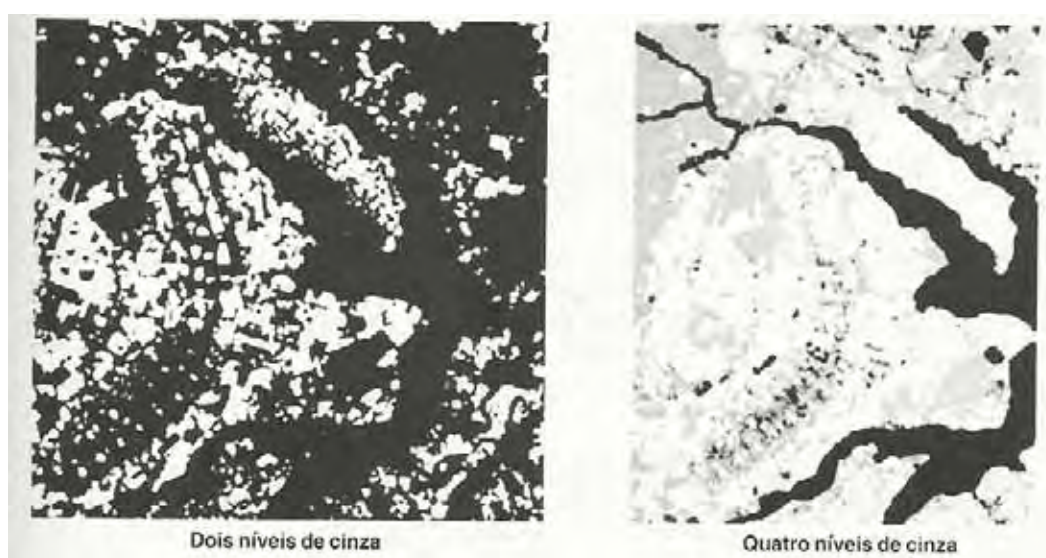


Figura 5. Mesma imagem com dois e quatro níveis de cinza.

Fonte: Moreira, 2007.

#### 4.5.2.4 Resolução Temporal

A Resolução temporal de um sistema determina o tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a mesma área (MOREIRA, 2007).

De acordo com Jensen (2010), quanto maior o requisito de resolução temporal, menor o requisito de resolução espacial, como exemplo o autor expôs o

monitoramento de furacões que necessita de resolução temporal a cada 30 minutos e a resolução espacial do satélite meteorológico NOAA GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) que registra imagens com resolução que varia de 4 x 4 a 8 x 8 km.

O satélite Landsat TM 5 tem resolução temporal de 16 dias.

#### **4.6 Número digital (ND)**

A radiação solar refletida por um objeto ou conjunto de objetos presentes na superfície terrestre são registradas por sensores orbitais na forma de um número digital (ND) (SANTOS, 2009).

A imagem digital é, portanto, uma representação numérica quantizada dos valores de radiância detectadas pelo sensor e esses valores são normalmente referidos níveis de cinza, número digital ou ainda, valores de brilho (ROSA, 1987).

Nas imagens termais os tons mais claros representam as áreas de temperatura mais elevada e os tons mais escuros representam temperaturas menores (GARCIA, 1982).

Segundo Coltri (2006), uma imagem digital constitui-se de grades de matriz bidimensional que definem o conjunto de células ou “pixels” (Picture element) e para cada pixel é denominado um número digital (ND).

Cada pixel de uma imagem da banda 6 do Landsat 5 possui dimensão de 120 x 120 m (resolução espacial), ou seja, alvos presentes em um raio de 120 m não são discriminados entre si em uma imagem com essa resolução espacial. Portanto, o valor do ND é uma média ponderada de vários elementos presentes nessa área (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

A variação dos NDs está ligada também à resolução radiométrica do sensor utilizado, ou seja, seus níveis de cinza, como pode ser observado na Figura 6.

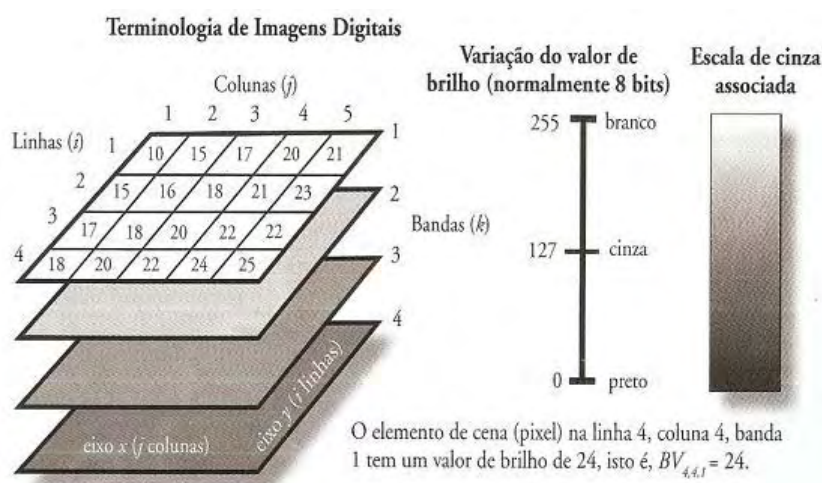


Figura 6. Matriz bidimensional dos pixels, a variação de ND e as escalas de cinza.  
Fonte: Jensen, 2010.

Cada sensor e suas diferentes bandas espectrais têm seus critérios para transformar os valores de radiância detectados através da escala de sua resolução radiométrica, por esse motivo imagens captadas pelo mesmo sensor, mas em diferentes bandas não apresentam necessariamente compatibilidade entre os NDs (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

No sensor Thematic Mapper a bordo no satélite Landsat 5, o ND é um valor numérico gerado para expressar a radiância que chega até o sensor (SANTOS, 2009).

#### 4.7 Infravermelho termal

A região do infravermelho do espectro eletromagnético é dividida em três porções: infravermelho próximo (0,7 – 3,0  $\mu\text{m}$ ), o infravermelho termal (3,0 – 20  $\mu\text{m}$ ) e o infravermelho distante (20,0 – 1000  $\mu\text{m}$ ) (NOVO, 2008).

Para o estudo e estimativa da temperatura aparente da superfície a região do infravermelho utilizada é o termal, pois trata-se de um intervalo que consegue detectar a concentração de fluxo radiante de um material, proveniente das vibrações moleculares decorrente da temperatura radiante dos corpos.

Diversos estudos tem sido desenvolvidos através de dados do infravermelho termal como estimativa de superfície oceânica (LIU,2007), detecção de

poluição de água, graus dias de estresse em plantas e diversas análises urbanas (JENSEN, 2010).

#### **4.8 Estimativa de temperatura aparente da superfície**

Segundo Fialho (2009) a temperatura obtida através da leitura de sensores a distância, é denominada temperatura aparente da superfície. E que, dependendo da resolução da imagem, seu pixel é a soma dos diversos componentes ponderados por sua superfície.

A estimativa de temperatura de superfície via satélite é bastante utilizada visto que é uma fonte de dados contínuos de alta frequência espaço-temporal, porém muito complexa (LIU, 2007).

Para a análise das ilhas de calor muitos trabalhos utilizaram a estimativa de temperatura aparente obtida através do sensoriamento remoto, porém vale ressaltar a colocação de Jardim (2007, p. 307), que aborda aspectos importantes sobre as ilhas de calor:

[...] a “ilha de calor” não representa a realidade do clima urbano, mas um de seus aspectos, traduzida por uma situação momentânea ou horária, motivada pela convergência pontual de fatores ligados às características de conformação do relevo, disposição dos equipamentos e dinâmica urbanas, sob a influência de determinados tipos de tempos, associados aos sistemas atmosféricos em dado estágio de sua evolução temporal.

Em seus trabalhos Batista (2002) e Fatigati (2009) utilizaram duas imagens de satélite cada, a fim de verificar a variação temporal da temperatura de superfície, levando em consideração na escolha das imagens a mesma estação do ano ou datas próximas para que as “condições climáticas fossem similares”, porém Jardim (2007) coloca dois pontos interessantes em seu trabalho: “(1) os valores apontados são frutos de uma evolução ou se referem a uma situação atmosférica momentânea, associada ao tipo de tempo no dia em que foram tomadas as imagens? ou (2) A grandeza do evento envolve todo o objeto imageado ou assume um caráter pontual no espaço?”

São questões que devem ser levadas em consideração a fim de que as análises não incorram a erros, pois ainda segundo Jardim (2007), “mesmo que se estabeleçam tais diferenças de temperatura, não significa que esse quadro perdure todo o tempo”.

Coltri et al (2007) utilizaram duas imagens de satélite, uma representando a estação de inverno e a época de entressafra da cana de açúcar, e outra representando a estação do outono e a época de safra. Analisando os dados verificaram que a diferença de temperatura está intimamente ligada a sazonalidade da cana de açúcar, porém com a análise de duas imagens apenas, é possível inferir tal afirmação?

As relações de causa e efeito em sistemas dinâmicos complexos, como os climáticos, nos permitem questionar determinadas conclusões, uma vez que nem todos os parâmetros ambientais são possíveis de serem controlados ou conhecidos dentro de uma pesquisa. Mesmo pequenas modificações podem acarretar em efeitos desconhecidos que podem interferir nos resultados observados de maneira relevante, e muitas vezes como não se conhece essas modificações as respostas para suas consequências acabam sendo equivocadas.

As comparações de temperatura aparente da superfície tomadas em momentos distintos podem não revelar uma variação temporal, pois cada imagem foi registrada com as condições atmosféricas daquele momento específico. Porém análises temporais de diversas imagens em estudos em diversos anos podem revelar um comportamento da variação da temperatura aparente.



## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Material**

#### **5.1.1. Descrição geral da área**

A área de estudo compreende o município de Botucatu localizado no centro oeste do Estado de São Paulo. Possui área de 1483 km<sup>2</sup> e situa-se entre as coordenadas geográficas 22° 35' a 23° 06' de latitude S e 48° 12' a 48° 52' de longitude W Gr., a uma altitude de 840 metros. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE (2010), a população do município é de 127.370 habitantes e 96,34% residem na área urbana.

O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por apresentar inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.359 mm. A temperatura média anual é de 20,7°C, a temperatura média do mês mais quente é de 24°C e do mês mais frio é de 18°C (CEPAGRI, 2011).

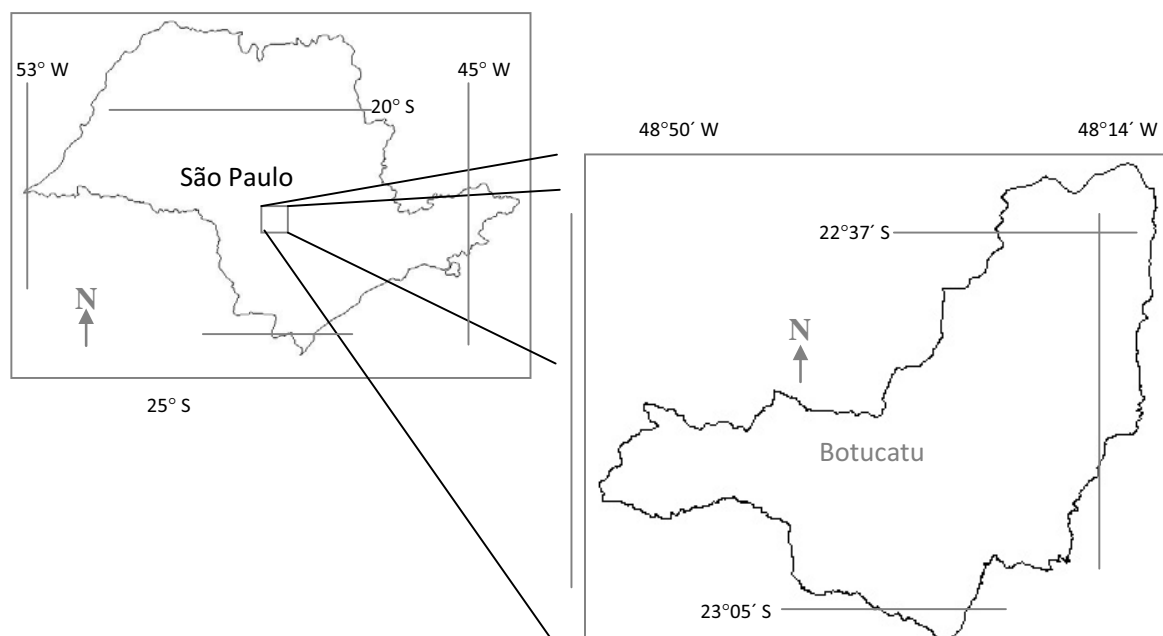


Figura 7. Localização do Município de Botucatu no Estado de São Paulo.

De acordo com Gabriel (1990), a vegetação natural em Botucatu é representada principalmente pelas espécies *Trichilia elegans*, *Chorisia speciosa*, *Patagonula americana*, *Trichilia clausseni* e *Gallesia gorazema*, sendo as famílias Meliaceae, Fabaceae e Phytolacaceae as mais abundantes. Além destas espécies nativas, características da Mata Atlântica, existem hoje, no município grandes áreas ocupadas por *Eucalyptus sp*, espécie esta que se adaptou muito bem na região e que é utilizada como matéria prima na indústria madeireira, para a fabricação de chapas de compensado, aglomerado, produção de tábuas, etc.

Piroli (2002) verificou que os solos ocorrentes no Município de Botucatu são: Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – textura média, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – textura argilosa, Latossolo Vermelho distroférrico - textura argilosa, Nitossolo Vermelho distroférrico - textura argilosa, Neossolo Quartzarênico órtico típico, Neossolo Flúvico Tb distrófico, Neossolo Litólico eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico - textura média/arenosa, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico abrupto e Gleissolo Háptico Tb distrófico.

### **5.1.2. Aplicativos computacionais utilizados**

Foram utilizados os programas computacionais Google Earth Pro 4.2 para visualização das classes de uso do solo devido sua melhor resolução e os Sistema de Informação Geográfica (SIG): Idrisi 15.0 - Andes Edition, desenvolvido pelo *Clark Labs for Cartographic Technology and Analysis*, para o geoprocessamento das imagens e ArcGis 10 desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) para vetorização de dados.

### **5.1.3 Imagens**

Foram utilizadas imagens do sensor TM (Thematic Mapper) a bordo no satélite Landsat 5. As bandas 5, 4 e 3 para composição falsa cor Red, Green e Blue (RGB) e identificação do uso do solo e a banda 6 do infravermelho termal, para obtenção da temperatura aparente da superfície. Todas as imagens correspondem à órbita 220/ponto 076, adquiridas através da página de catálogo de imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), referente à data de 19/11/2010, correspondente ao final da estação da Primavera. Esta foi escolhida em função da disponibilidade de imagens sem nuvens, o mais próximo possível do início do verão (21 de dezembro), pois segundo Coltri (2006) as ilhas de calor são mais intensas no verão do que nas demais estações do ano.

Segundo Nascimento (2011) quando se trabalha com comparações de imagens é necessário observar o dia da semana das imagens selecionadas devido à diferença no fluxo antrópico e nas atividades semanais.

Para este trabalho não houve comparação de imagens de diferentes datas, a análise e a morfologia da temperatura aparente observada são referentes a apenas uma data específica, porém a imagem selecionada é referente a uma sexta-feira, dia da semana com alto fluxo antrópico. O horário da passagem do satélite é aproximadamente 13h.

### **5.1.4 Vetores do município, da área urbana e das regiões operacionais**

O arquivo vetorial do limite do município foi obtido através do site Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e depois importado para o Idrisi, para

realização da sobreposição da imagem termal devidamente transformada em graus Celsius, para análise dos resultados.

O limite da área urbana foi confeccionado através de um arquivo disponibilizado pela prefeitura, em formato .shp que continham as quadras do município. No programa ArcGis foi vetorizado o polígono correspondente às regiões operacionais.

A divisão das regiões operacionais foi obtida na prefeitura de Botucatu, em formato DWG.

### **5.1.5 Mapa das curvas de nível (altimetria)**

Para a análise da influência da topografia na temperatura aparente da superfície foi utilizado o mapa das curvas de nível disponível do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP- Botucatu.

## **5.2. Métodos**

### **5.2.1 Importação das imagens**

No software Idrisi é necessário executar a importação das imagens do formato .tif para o formato específico do programa, .rst, através da rotina *File/Import/Desktop publishing formats/Geotiff/Tiff*. As bandas importadas foram 3, 4, 5 e 6.

### **5.2.2 Retificação Geométrica da imagem**

As imagens das bandas 3, 4, 5 e 6 foram retificadas, utilizando-se como base pontos de uma imagem já corrigida do catálogo de imagens Land Cover. Foram adquiridos aproximadamente 25 pontos controle e o erro quadrático médio não ultrapassou metade da resolução da imagem. O interpolador utilizado foi o “nearest neighbor” (vizinho mais próximo) que segundo CROSTA (1992) e WENG (2002) citado por COLTRI (2006) e NASCIMENTO (2011), não altera o valor dos níveis de cinza das imagens, pois todo pixel na imagem registrada recebe o valor de nível de cinza do pixel mais próximo na imagem original.

Para a realização da retificação geométrica foi utilizado o módulo *Reformat/Resample* do Idrisi.

### 5.2.3 Composição Red, Green, Blue (RGB)

Para a composição RGB somente as bandas 3, 4 e 5 foram utilizadas para visualização das classes de uso do solo, através da rotina *Display Menu/Composite*, com a seguinte combinação: banda 3 para a cor azul (blue), banda 4 para a cor verde (green) e banda 5 correspondente a cor vermelha (red).

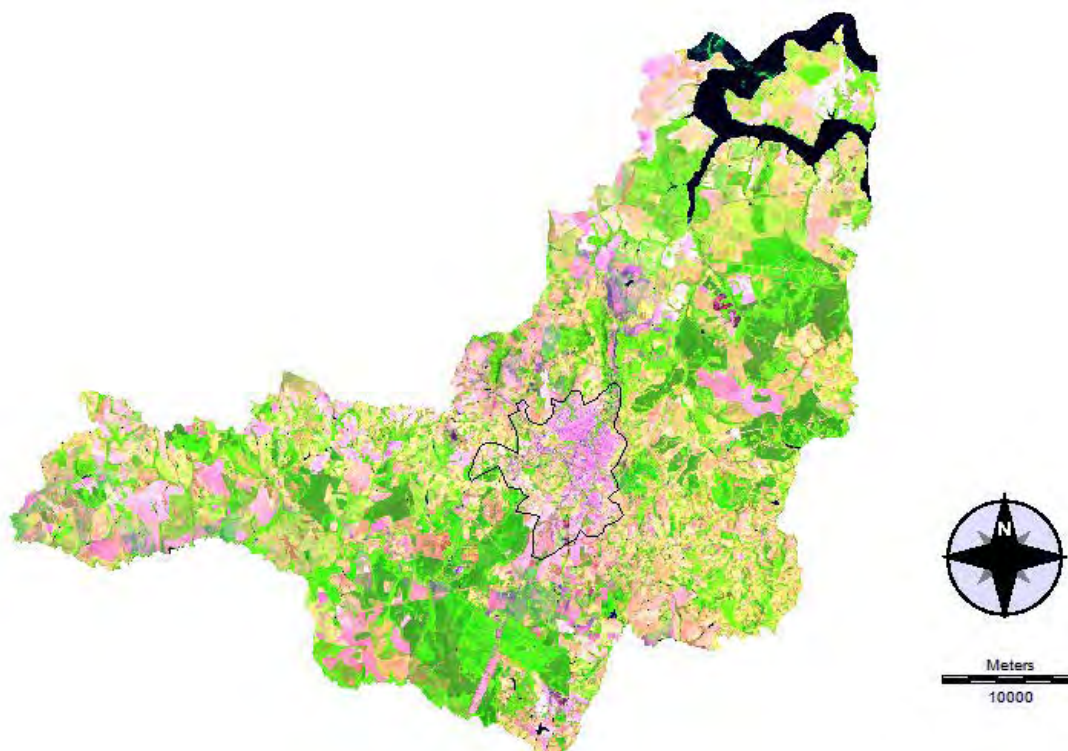


Figura 8. Composição RGB das bandas 5, 4 e 3.

### 5.2.4 Obtenção da temperatura aparente da superfície

O algoritmo de transformação do número digital (ND) para graus Celsius utilizado foi devidamente validado por Coltri (2006), através das funções *Image processing/Transformation/Thermal* para imagens do Landsat 5.

O algoritmo *Thermal* emprega o método inverso da lei de Plank na conversão dos níveis de cinza da imagem em valores de temperatura superficial.

Foi utilizada somente a imagem da banda 6 para obtenção da temperatura de superfície.

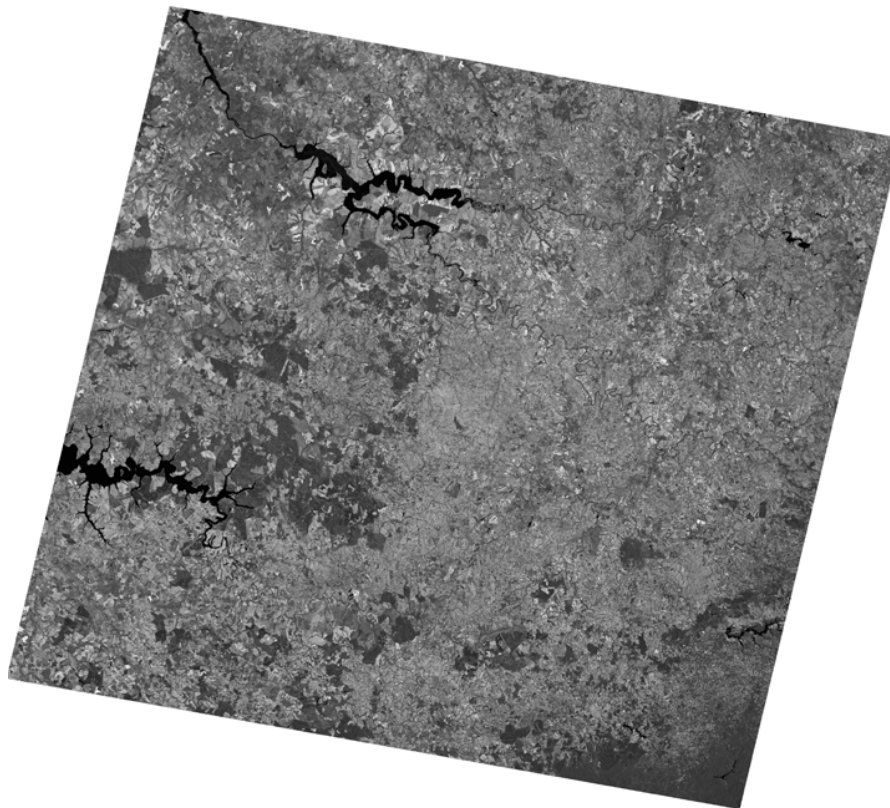


Figura 9: Imagem bruta da banda 6 do Landsat 5.

Seguindo metodologia de BIAS (2003), COLTRI (2006) e SOUSA (2007) que determinaram temperatura de superfície utilizando o software Idrisi, não foi efetuada correção para emissividade e nem correções atmosféricas, pois segundo EASTMAN (2006), para utilização do algoritmo *Thermal* são aceitos somente dados brutos da banda 6.

Após a aplicação do algoritmo houve a reclassificação da temperatura aparente em 16 faixas a fim de facilitar a análise dos dados.

### **5.2.5 Determinação das classes de uso do solo e associação com a temperatura aparente da superfície**

Através da composição falsa cor RGB das imagens Landsat e com auxílio das imagens do Google Earth Pro, pôde-se identificar os diferentes usos do solo no

município. As 5 classes identificadas foram: água, cultura do eucalipto, vegetação nativa, solo exposto e área urbana.

A classe água foi representada pelo Rio Tietê (Represa de Barra Bonita) localizado no norte do município.

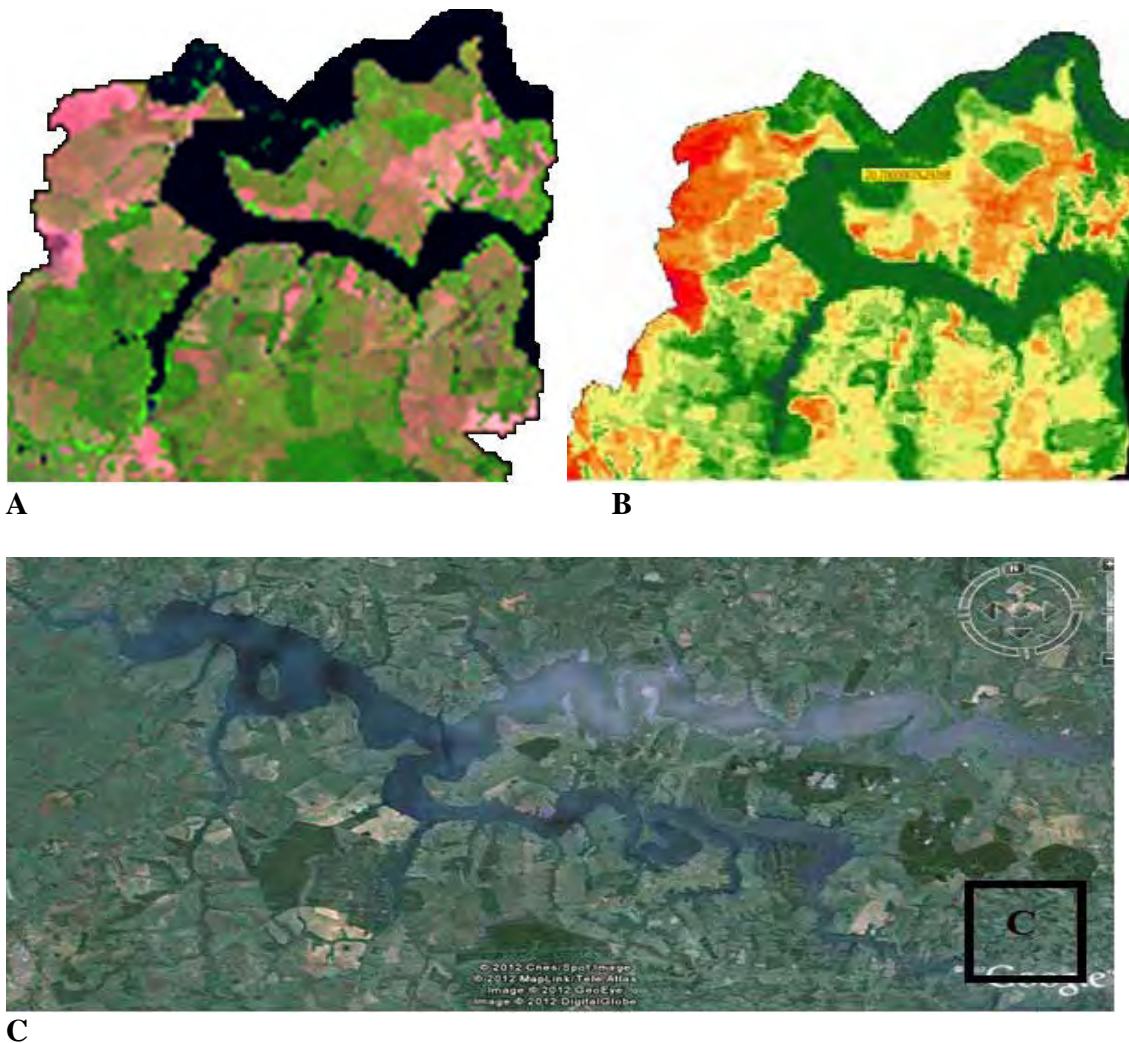


Figura 10. Imagens da classe água **A**. Classe água identificada na imagem de composição RGB; **B**. Classe água identificada na imagem Termal; **C**: Classe água identificada na imagem Google Earth Pro.

A classe Eucalipto representada por plantios de uma das empresas instaladas no município. Buscaram-se áreas que na análise visual apresentassem homogeneidade.



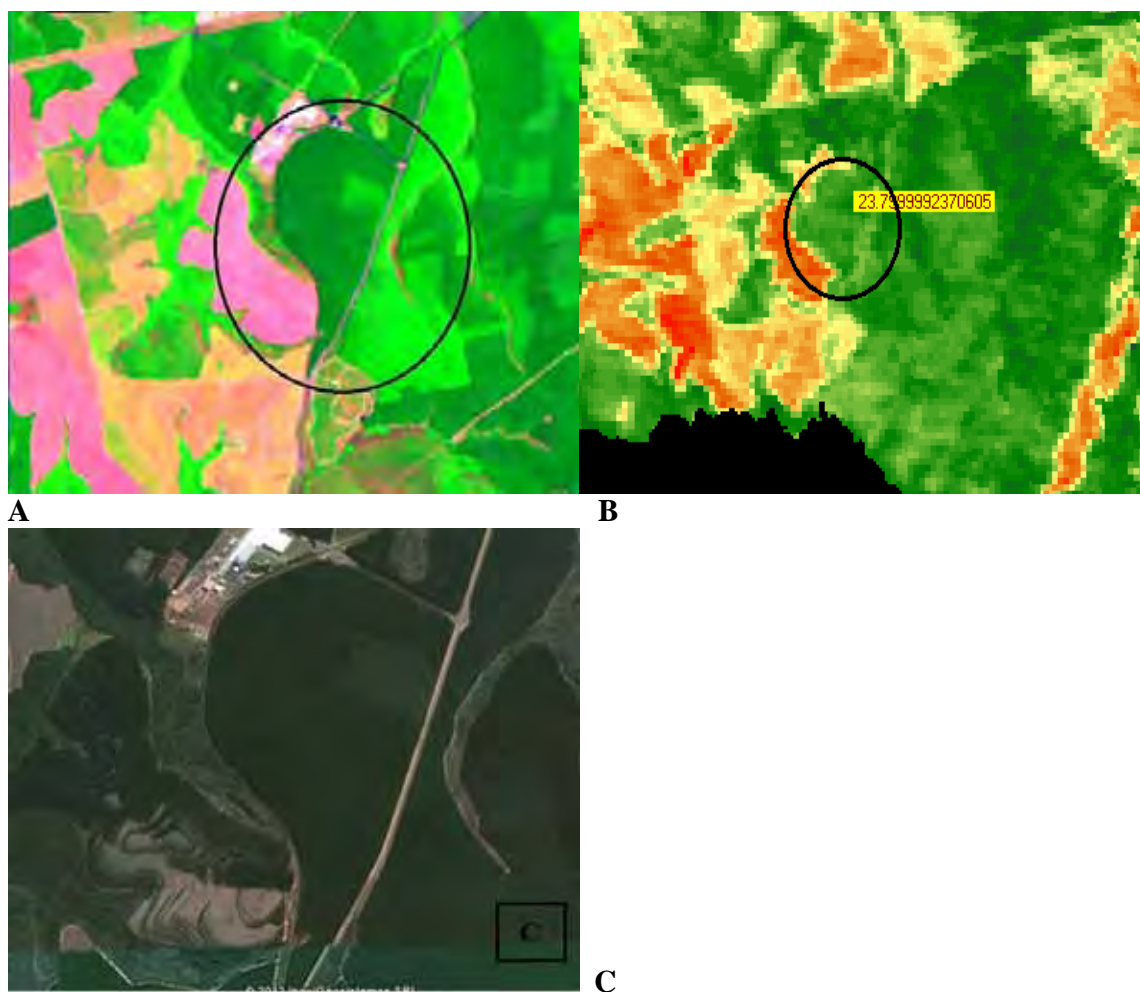


Figura 11. Imagens da classe eucalipto **A**. Classe Eucalipto identificada na imagem de composição RGB; **B**. Classe Eucalipto identificada na imagem Termal; **C**: Classe eucalipto identificada na imagem Google Earth Pro.

Para a definição da classe vegetação nativa buscou-se áreas que possuíssem árvores heterogêneas em relação à espécie, tamanho e copa. A área escolhida foi à correspondente a Fazenda Edgárdia, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP- Botucatu.



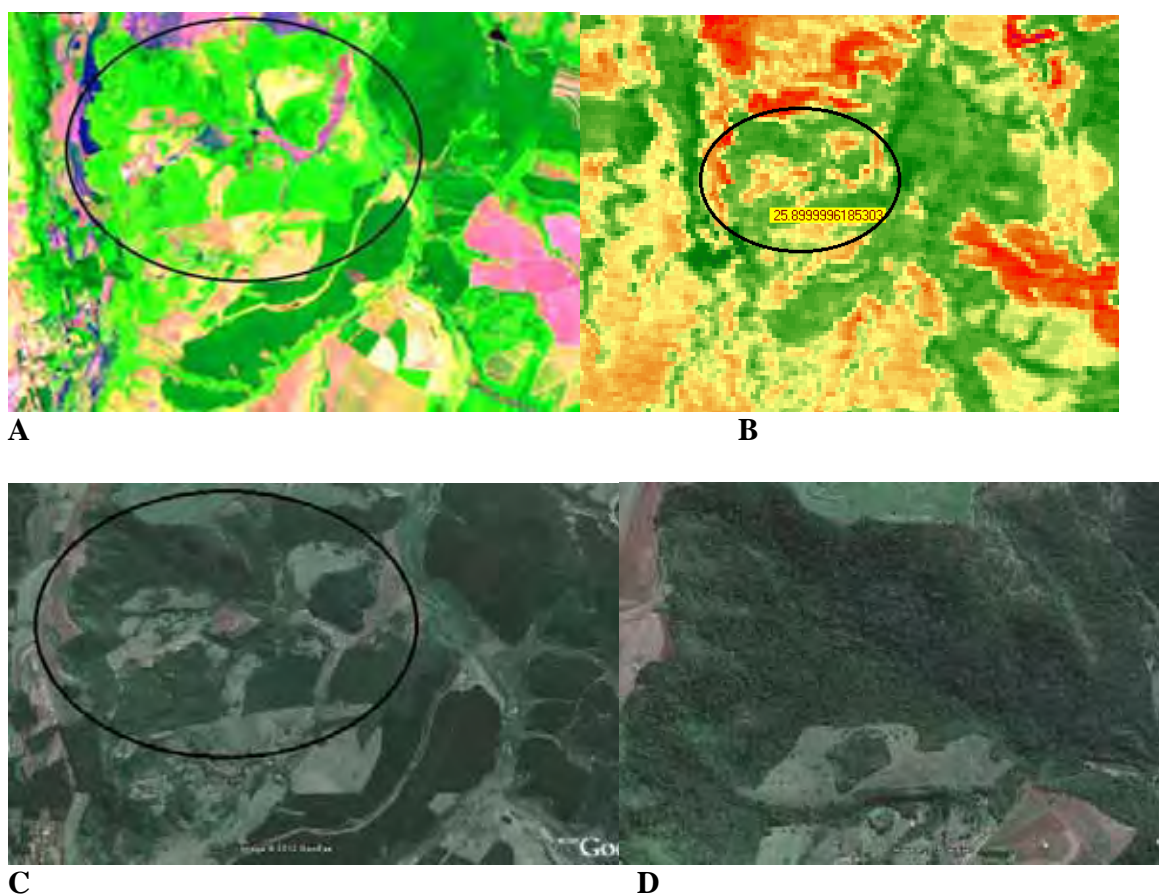


Figura 12. Imagens da classe Mata Nativa **A.** Classe mata nativa identificada na imagem de composição RGB; **B.** Classe mata nativa identificada na imagem Termal; **C:** Classe mata nativa identificada na imagem Google Earth Pro; **D.** Detalhe aproximado da textura da classe

Na classe solo exposto buscou-se áreas onde não houvesse qualquer tipo de cobertura. A área pertence a uma das empresas de produção de papel e celulose instalada no município, em que houve a colheita recente do eucalipto.

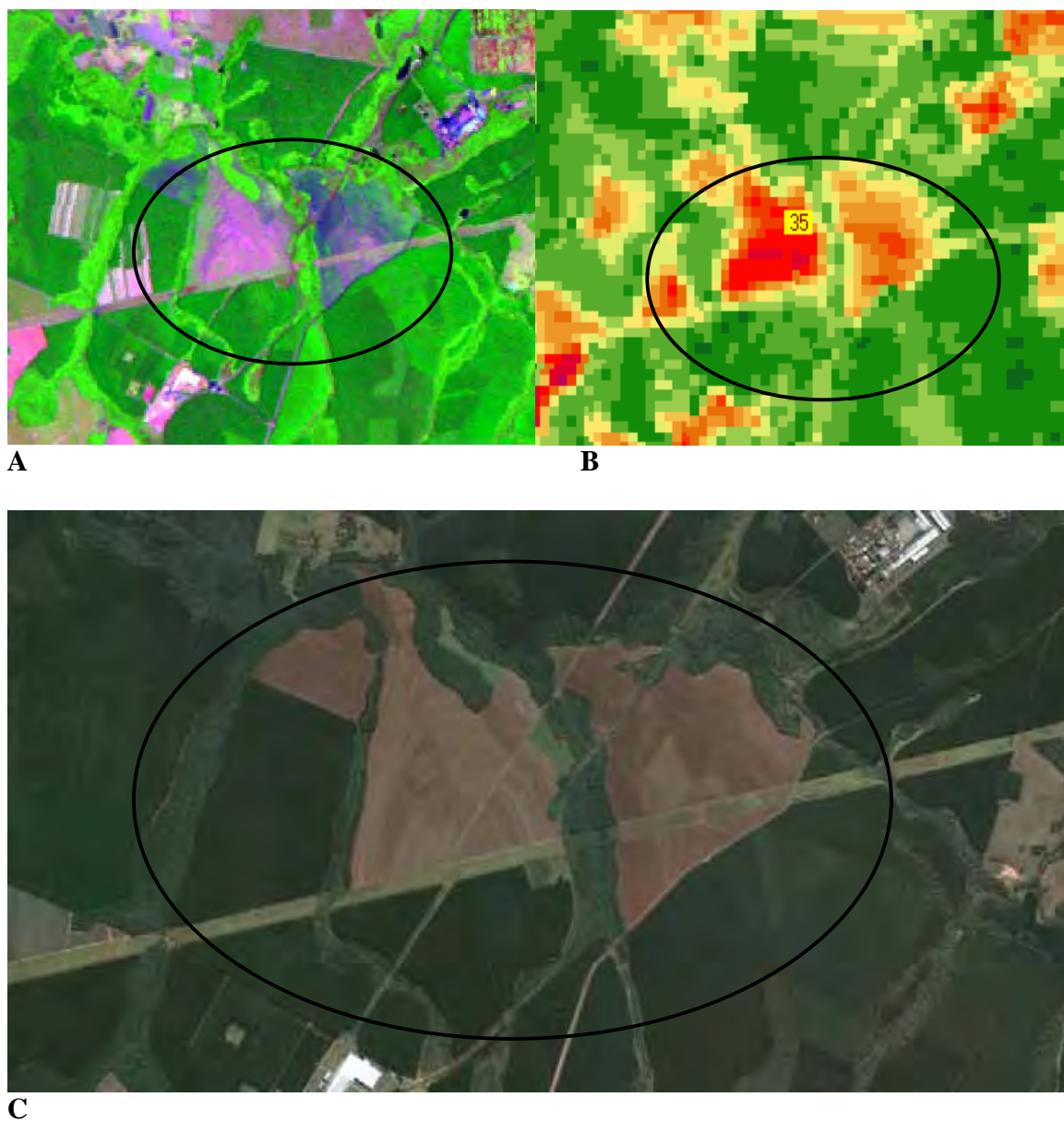


Figura 13. Imagens da classe solo exposto **A**. Classe solo exposto identificada na imagem de composição RGB; **B**. Classe solo exposto identificada na imagem Termal; **C**: Classe solo exposto identificada na imagem Google Earth Pro.

Com os polígonos de cada classe de uso foram feitos recortes no mapa da temperatura aparente através da rotina *Gis Analysis/ Mathematical Operators/Overlay*. Desta forma foi possível gerar um histograma de cada classe de uso e obter uma média da temperatura aparente, além da visualização do intervalo de temperatura aparente que cada classe compreende. Na figura 14 observa-se o histograma da classe água que mostra os

intervalos de temperatura com maior número de pixels e sua média. Para cada classe de uso foi gerado um histograma a fim de verificar a média da temperatura aparente, através da rotina *composer/Layer properties/Properties/Histogram*. Restringiu-se o intervalo de temperatura entre 14°C e 45°C.



Figura 14. Histograma gerado da classe de uso água.

### 5.2.6 Análise da área urbana e temperatura aparente da superfície

Devido a alta heterogeneidade da classe área urbana, a análise desta foi dividida em 5 setores: Norte, Sul, Leste, Oeste e Centro, e cada um desses setores foi dividido em regiões operacionais, totalizando 20 regiões que já foram pré-estabelecidas pela prefeitura. A análise por regiões operacionais se mostrou mais viável, devido ao elevado número de bairros, segundo a prefeitura o município de Botucatu apresenta 239 bairros. A baixa resolução da imagem termal também limita essa análise.

Em cada região operacional buscou-se verificar a ocorrência de temperatura aparente elevada (ilhas de calor) e com auxílio do mapa da área urbana do município verificar quais locais sofrem com as anomalias térmicas.

A média de temperatura de cada região operacional e de cada setor foi encontrada através de histogramas no programa Idrisi. Com os histogramas pôde-se verificar o intervalo da temperatura de cada setor e região operacional.

Foram determinadas isolinhas de temperatura aparente através da rotina *Surface Analysis/Feature extraction/Contour* a fim de visualizar melhor seu comportamento.

As tabelas com os Setores do município de Botucatu, suas respectivas regiões operacionais e os bairros que contemplam encontra-se nos anexos.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Morfologia do comportamento das ilhas de calor**

Após o processamento das imagens e aplicação do algoritmo *Thermal* de transformação, foi obtido o mapa com o comportamento da temperatura aparente do município de Botucatu, do dia 19/11/2010 (Figura 15). O polígono preto na imagem identifica a área urbana, que foi analisada em regiões operacionais.

Foram classificadas 16 faixas de temperatura aparente, variando entre aproximadamente 14°C, até aproximadamente 42°C. As manchas com coloração verde correspondem à temperatura aparente mais amena, enquanto que as cores avermelhadas temperatura aparente mais elevada.

Observando-se a Figura 15, verifica-se que dentro do perímetro urbano a coloração da área varia do amarelado (cerca de 28°C) até o alaranjado (cerca de 35°C), com poucos pontos verdes (temperatura aparente mais amena), porém as análises específicas serão abordadas na classe de área urbana do uso do solo.

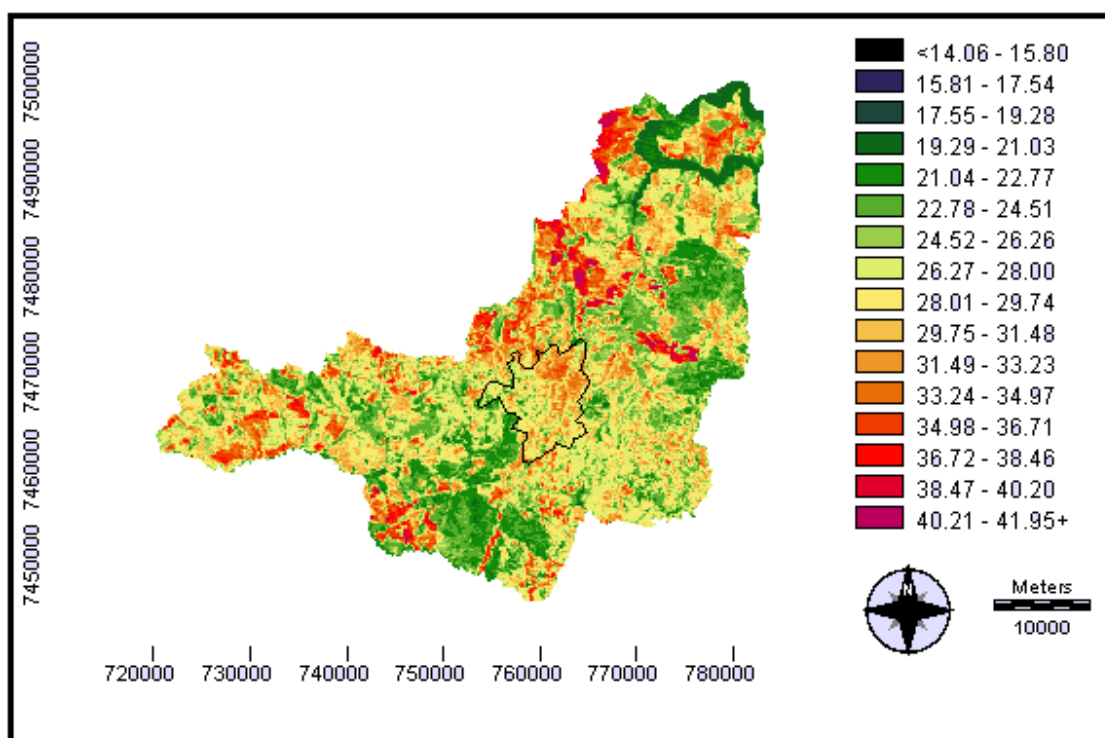


Figura 15. Comportamento da temperatura aparente no município de Botucatu, no dia 19/11/2010.

## 6.2 Classes de uso do solo e comportamento da temperatura

### 6.2.1 Classe água

A classe de uso água apresenta a menor temperatura dentre as classes verificadas, devido ao seu elevado calor específico ( $1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ), pois é necessário grande quantidade de energia para elevar sua temperatura.

A temperatura aparente média observada pelo histograma foi de  $20.9^{\circ}\text{C}$ , a menor temperatura encontrada dentre todas as classes de uso estudadas.

Temperaturas entre  $17-18^{\circ}\text{C}$  foram encontrados por BIAS et al (2005) em área caracterizada por pequena lagoa com baixa concentração de algas. SANTOS (2009) observando o fluxo de calor no solo verificou valores menores nas áreas mais úmidas como corpos hídricos e alagados e maiores nas áreas urbanas e nas áreas desprovidas de vegetação, evidenciando que com a presença de água a temperatura aparente é menor.

Corpos de água são estabilizadores térmicos, pois esfriam o ar durante o dia e irradiam calor durante a noite, diminuindo a amplitude térmica (PRIMAVESI et al, 2007).

### **6.2.2 Classe Eucalipto**

Para classe de uso Eucalipto procurou-se encontrar áreas que através da análise visual da imagem do Google Earth Pro, associada à composição RGB da imagem Landsat, fosse mais homogênea possível. Uma vez que existem diversas variações de estruturas das folhas entre espécies diferentes ou até mesmo em folhas de uma espécie que se desenvolveram em condições ambientais diferentes, que vão afetar o comportamento do processo de interação eletromagnética (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

A temperatura aparente média observada através do histograma foi de 23.8°C. Esta temperatura aparente amena se justifica pelo fato de que parte da radiação solar incidente sobre o dossel das árvores é absorvida ou refletida pelas folhas para que ocorram os diversos processos e interações físico-químicos, como a fotossíntese, por exemplo. A radiação incidente sendo utilizada nos fluxos de calor latente para a evapotranspiração e a presença de água dentro das folhas dificulta o aumento da temperatura, devido ao elevado calor específico da água.

### **6.2.3 Mata nativa**

A classe mata nativa é representada pela área da Fazenda Experimental Edgárdia pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA).

A mata nativa apresentou média de 25.5°C, temperatura aparente acima da classe Eucalipto (23.8°C). Inicialmente, supôs-se que a temperatura aparente maior encontrada na área da mata nativa ocorria pelo fato do fragmento possuir alta heterogeneidade de espécies e possuir diferentes ciclos de sucessão (pioneiras, secundárias e tardias) que levam a uma cobertura menos homogênea do dossel, permitindo a entrada da radiação e o aumento da temperatura nessas áreas.



Porém, ao observar que a área da Fazenda Edgárdia se localiza a uma altitude de aproximadamente 550 – 600 m e a área pertencente à classe eucalipto encontra-se a uma altitude mais elevada, aproximadamente 830 m, observou-se a possibilidade de que a diferença de temperatura aparente observada poderia ter relação com a altitude.

Dessa forma, foi tomada outra área que representasse a mata nativa e que se localizasse próximo a altitude verificada na área do eucalipto (Figura 16).

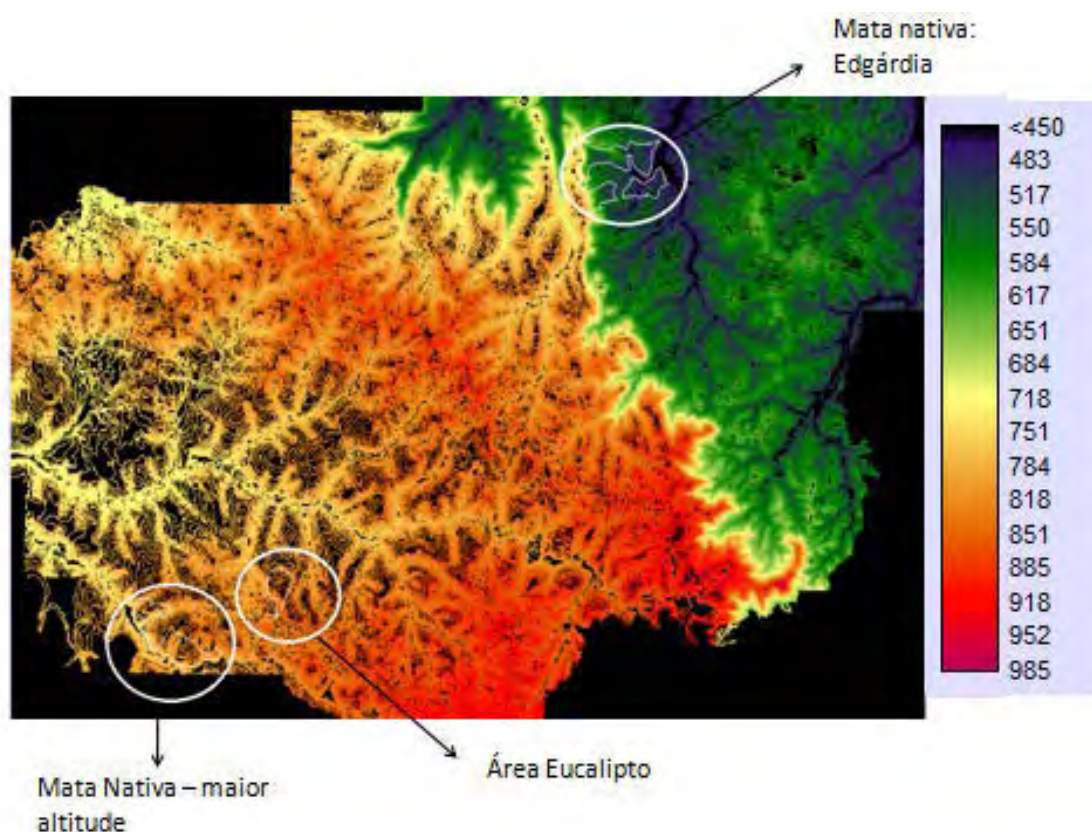


Figura 16. Localização das áreas de mata nativa e eucalipto sobre o mapa de altitude.

A segunda área escolhida para representar a classe mata nativa, com altitude de aproximadamente 800m, apresentou temperatura aparente da superfície de 23.65°C, valor bastante próximo ou equivalente a aquele encontrado na classe eucalipto, 23.8°C, evidenciando que a diferença de altitude influenciou na temperatura aparente em uma mesma classe de uso, no caso a mata nativa.



#### **6.2.4 Solo exposto**

Quando comparado as outras classes de uso, o solo exposto apresentou temperaturas mais elevadas, corroborando com os resultados encontrados por Godoy et al (2009), que analisaram a relação entre vegetação e temperatura de superfície nos parques urbanos do Distrito Federal e verificaram grande diferença de temperatura ocorrida no Parque Jardim Botânico, resultante de um incêndio onde houve exposição do solo e elevação da temperatura de superfície de 26°C em abril, para 48 °C em outubro de 2005.

A média de temperatura aparente verificada através do histograma elaborado no programa Idrisi foi 33.6°C, média próxima aos valores encontrados na classe área urbana.

O solo exposto, sem cobertura vegetal, possui alta amplitude térmica, aquecendo rapidamente durante o período de exposição solar, levando a consequente elevação de temperatura durante o dia, aumentando a irradiação de calor e a temperatura em seu entorno.

#### **6.2.5 Área Urbana**

Devido à alta heterogeneidade de material empregado na área urbana, faz-se necessário uma análise mais detalhada desta classe de uso do solo.

Analisando os cinco setores do município, observa-se que os setores Norte, Leste e Centro, são os que apresentam as maiores áreas com manchas de cor alaranjada mais intensa, como pode ser observado na figura 17. A temperatura aparente da superfície destes setores do município é de 32.7°C, 32.1°C e 31.2°C, respectivamente.

Observando os limites entre as regiões operacionais destes três setores verifica-se a proximidade e a aglomeração residencial existente, razão pela qual ocorre o acúmulo de calor nestas áreas.

O setor Oeste apresenta temperatura aparente da superfície de 28.6°C, e segundo dados de Barriquelo (2011), figura 18, este setor apresenta grande parte de sua área composta por residências populares, e somente a região operacional R19 composta por

residências de elevado padrão, como o condomínio Vale do Sol, Parque das Cascatas e Terras Altas.

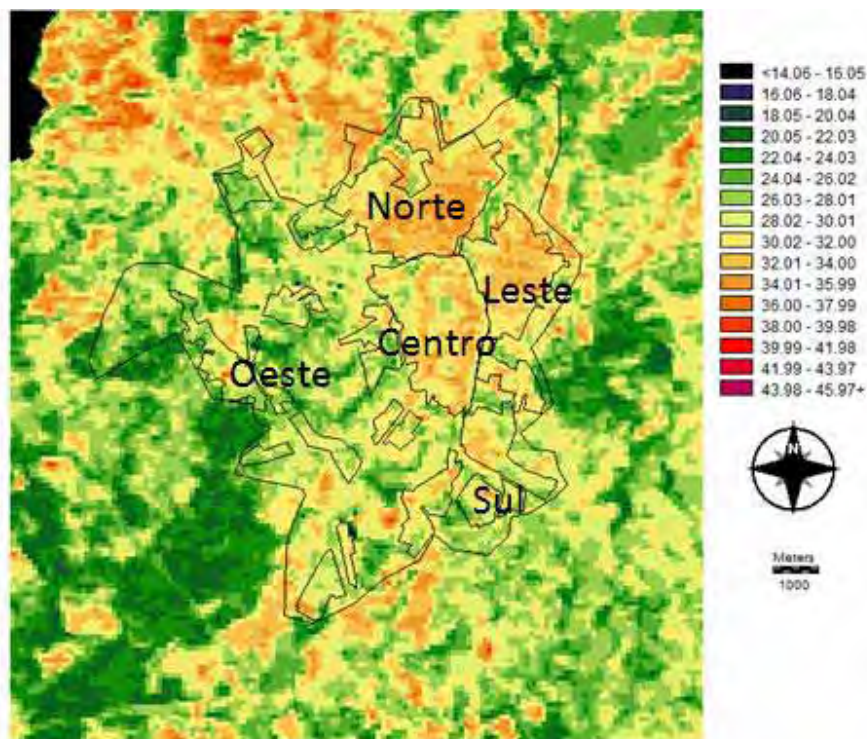


Figura 17. Limite da área urbana e polígonos dos setores sobre o mapa da temperatura aparente da superfície.

Este setor apresenta temperatura aparente menor, devido ao espalhamento das regiões operacionais. Assim como no setor Sul, que possui temperatura aparente da superfície de 29.8°C, e suas regiões operacionais não tão próximas quando comparadas aos setores com temperatura aparente mais elevada. O setor sul é composto por residências populares, o aeroporto e loteamentos.

Tabela 2. Setores do município e suas respectivas temperaturas aparente.

Setor	Norte	Leste	Centro	Sul	Oeste
T°C aparente média	32.7	32.1	31.2	29.8	28.6

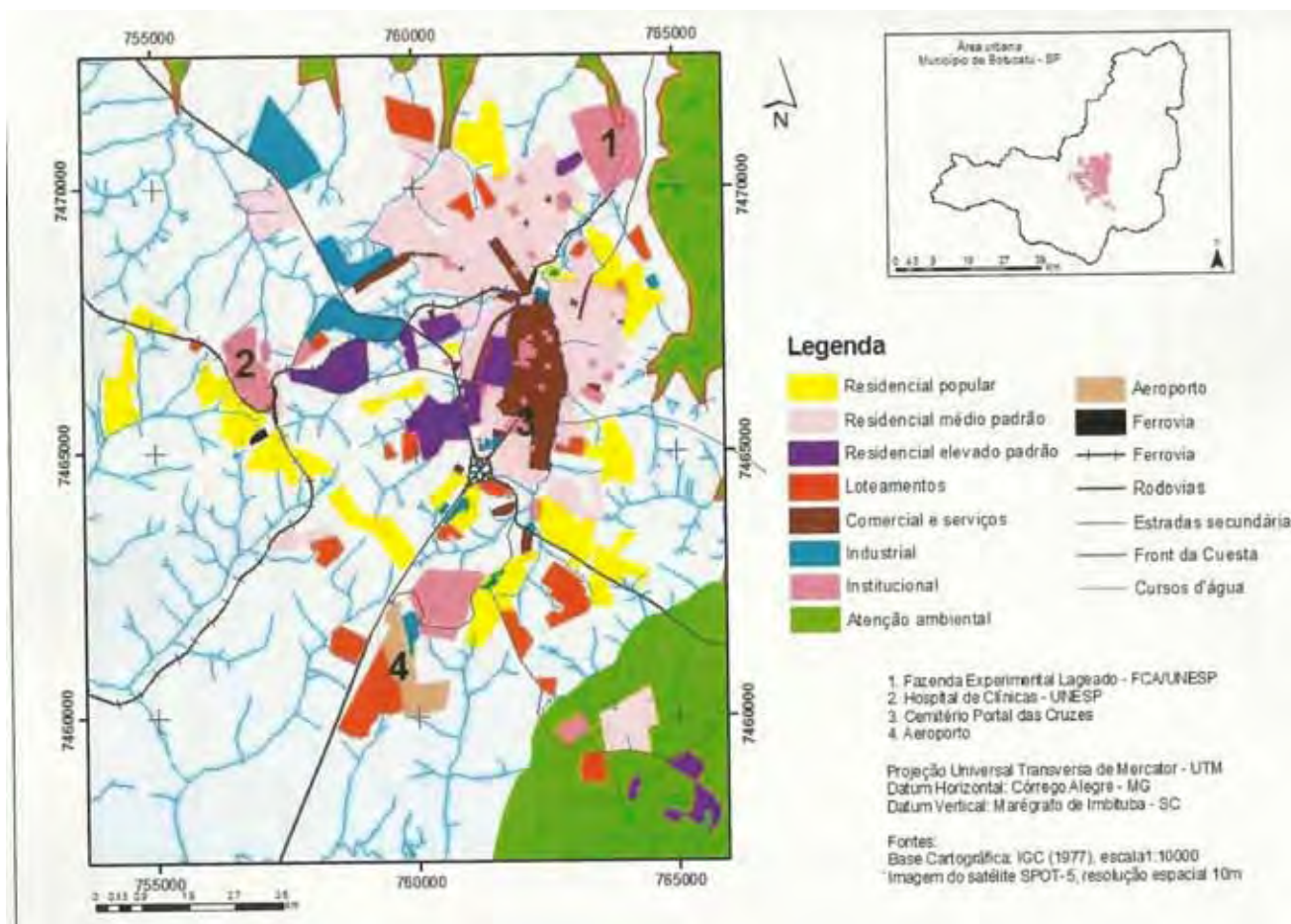


Figura 18. Uso do solo da área urbana do município de Botucatu - 2010.  
Fonte: Bariquelo, 2011.

### 6.2.5.1 Setor Norte:

O fato deste setor apresentar temperaturas elevadas justifica-se pela alta densidade populacional, e portanto, maior número de casas e edificações com elevado uso de materiais que tendem a absorver calor, aumentando a temperatura.

Somente o setor Norte abrange 8 regiões operacionais (R5, R6, R7, R8, R9, R10, R22 e R23) e 59 bairros. Lembrando que para a análise destes resultados as regiões operacionais R22 e R23 correspondente aos bairros de Vitoriana e Rio Bonito/Mina respectivamente, não foram avaliados.

Analisando os dados de termografia em relação às regiões operacionais do setor Norte, observa-se através da figura 19, uma mancha significativa na Região

Operacional R10, onde se localizam os bairros Colinas do Paraíso, Jd. Altos do Paraíso, Jd. Paraíso II e Jardim Mirante, com temperatura aparente de superfície de 33°C.

Outra região que possui sua área coberta pela cor alaranjada, segundo a figura 18, é a região operacional R5, onde se localizam os bairros Vl. dos Lavradores, Vl. São João, Vl. Rodrigues, Vl. Carmelo, entre outros. Esta região apresenta temperatura de 34°C, a maior temperatura verificada de todos os setores observados.

Segundo dados de Bariquelo (2011), o setor Norte apresenta maior parte de sua área composta por residências de médio padrão e uma área comercial e de prestação de serviços com alto fluxo antropogênico, localizado na região operacional R5, em um dos bairros que fazem parte da primeira geração de bairros botucatuenses formados no final do século XIX: a Vila dos Lavradores. Que ainda, segundo Donato (1985) citado por Bariquelo (2011), teve seu crescimento impulsionado pelo desenvolvimento ferroviário.

O setor Norte também inclui bairros com elevada especulação imobiliária devido a proximidade com a Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/FCA).

Neste setor, a região operacional que apresenta menor temperatura aparente é a R7, que compreende as áreas do Distrito Industrial 1 e 3, que se localizam próximos à Rodovia Marechal Rondon.

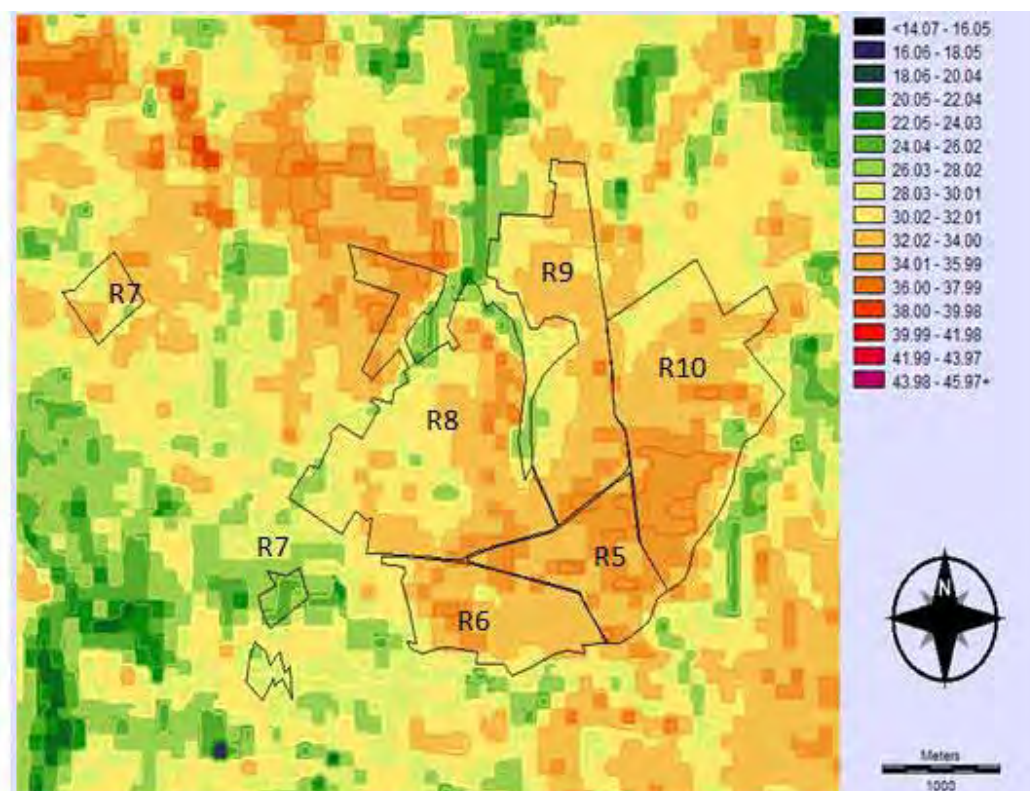


Figura 19. Setor Norte e suas Regiões operacionais

Tabela 3. Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Norte.

Região	R5	R6	R7	R8	R9	R10
T°C	34.0	32.8	29.7	31.7	32.1	33.0

### 6.2.5.2 Setor Leste

O setor Leste engloba três regiões operacionais (R11, R12 e R13) e 31 bairros. Observa-se na figura 20 que as manchas de maior temperatura aparente estão espalhadas principalmente pela região operacional R12 (33°C), onde se localizam os bairros de padrão popular, caracterizado por conjuntos habitacionais. As regiões operacionais R11 e R13 apresentam temperatura de 31.4°C e 31.9°C, respectivamente e incluem residencial de médio padrão, apenas.



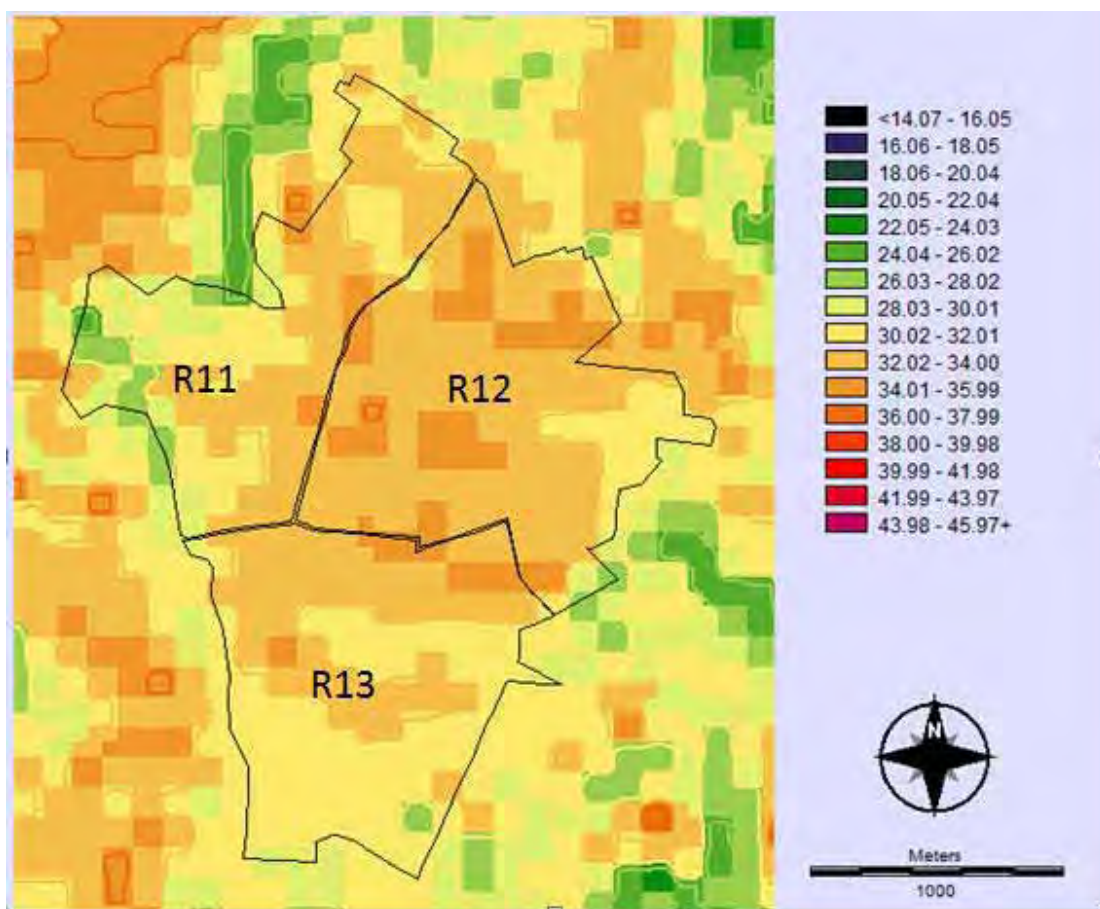


Figura 20. Setor Leste e suas Regiões operacionais.

Tabela 4. Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Leste.

Região	R11	R12	R13
T°C	31.4	33.0	31.9

### 6.2.5.3 Setor Central

No setor Central do município de Botucatu englobam-se quatro regiões operacionais (R1, R2, R3 e R4) e 48 bairros, basicamente composta pelo setor de comércio e serviço e também com parte de residencial de elevado e médio padrão.

Na figura 21 observa-se o comportamento da temperatura aparente nas regiões operacionais, e as regiões que apresentam maiores temperaturas aparente neste setor são R1, que concentra o setor de comércio e serviços principal da cidade, e R2 que divide

parte da sua área com este setor de comércio e serviços e parte com residencial de médio padrão.

Nascimento e Barros (2009) verificaram que a região central do município de Goiânia apresenta temperatura aparente de aproximadamente 32°C, a mais alta dentre os outros usos do solo observados. No município de Botucatu, o setor central apresenta temperatura aparente de 31.2°C, essa temperatura aparente é menor que aquelas verificadas nos setores Norte e Leste.

Assim como observado no trabalho de Coltri (2006), onde a região central do município de Piracicaba apresentou a temperatura menor (23.79°C) quando comparada aos outros bairros do município.

A presença de residências de elevado padrão na região central se deu pelo fato da proximidade da rodovia Domingos Sartori com o distrito de Rubião Junior, onde se encontra o campus da UNESP (Universidade Estadual Paulista), devido à facilidade de acesso à rodovia surge o primeiro bairro de elevado padrão: a Vila São João (Vila dos Médicos) (BARIQUELO, 2011).

As regiões operacionais que contemplam as residências de alto padrão são R3 e R4, com temperatura aparente de 31.3°C e 30.3°C, respectivamente. R4 engloba os quatro bairros já em R3 englobam-se 21 bairros, e, portanto um maior aglomerado populacional, ocasionando o aumento da temperatura aparente observada. Em R4 também há maior quantidade de áreas verdes entorno dos bairros.

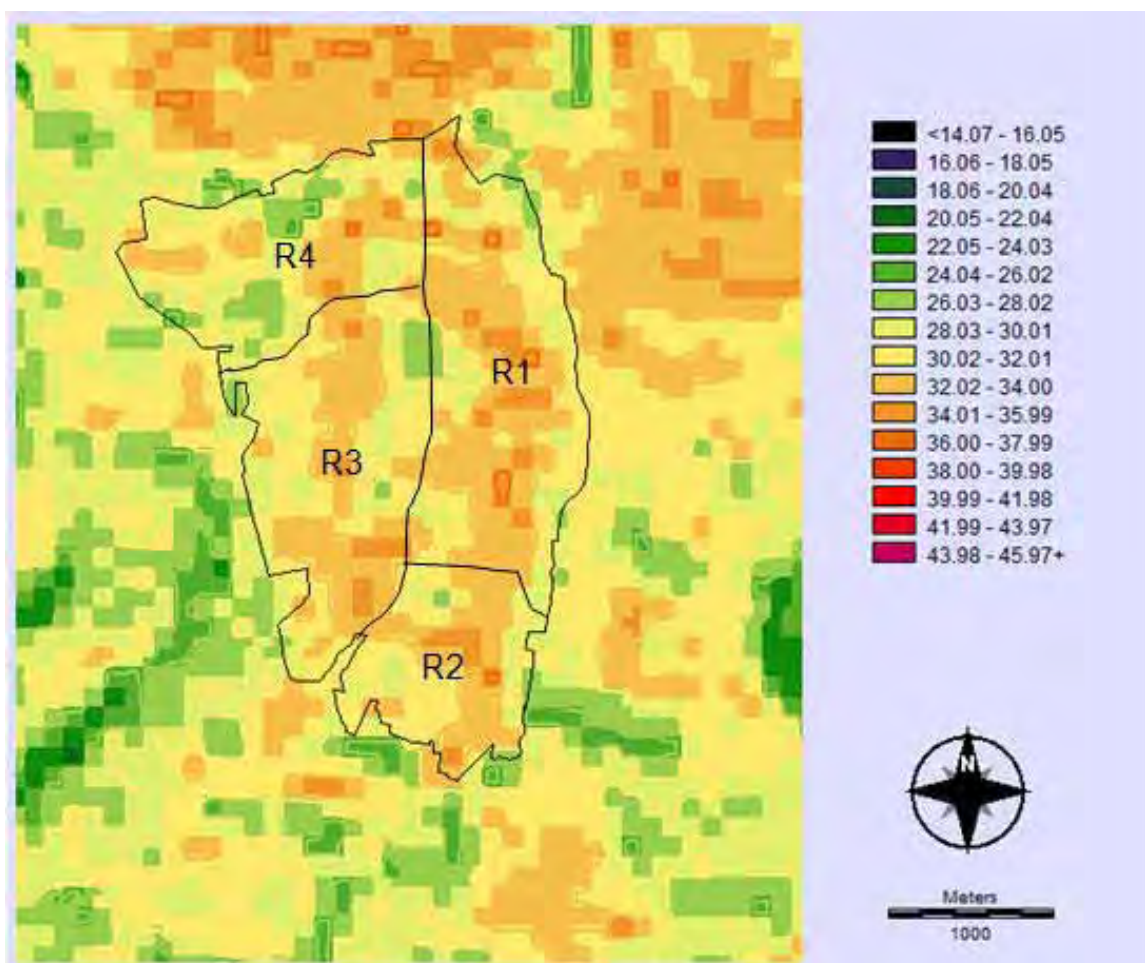


Figura 21. Setor Central e suas regiões operacionais.

Tabela 5. Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Central.

Região	R1	R2	R3	R4
T <sup>o</sup> C	31.6	31.7	31.3	30.3

#### 6.2.5.4 Setor Sul

O setor Sul do município de Botucatu engloba três regiões operacionais (R14, R15 e R16) e 23 bairros, composto por residências populares e de médio padrão, loteamentos e onde se encontra o aeroporto. A Região operacional R25 (área rural que contempla áreas da Demétria, Santa Maria e Cascata da Marta) também faz parte deste setor, porém não foram analisadas neste estudo.



A região operacional R14 é constituída pelos conjuntos habitacionais Clemente J. Roncari (Cohab 5) e Antônio Delmanto (Cohab 6). Também incluem os conjuntos habitacionais Joaquim Vernini, Roque Ortiz Filho, Leandro Alarcão e José Bicudo Filho, conhecidos como Comercíários 1, 2, 3 e 4, que juntos representam a maior temperatura aparente observada no setor Sul, 30.2 °C.

Segundo trabalho realizado por Lima, Liesenberg e Souza (2009) em relação ao crescimento urbano do município de Blumenau/SC e seu campo térmico nos anos de 1990, 1997 e 2004, constatou-se o aumento das áreas urbanas dentro do período, juntamente com a supressão da vegetação, a instalação de novas atividades econômicas e o surgimento de conjuntos habitacionais levaram a um aumento significativo das manchas de calor que podem ser observadas nas imagens termais do trabalho.

Bariquelo (2011) estudou a análise da expansão urbana no município de Botucatu entre os anos de 1962 e 2010 e verificou que os conjuntos habitacionais proliferaram entre os cenários de 2000 e 2010, principalmente nos setores Oeste e Sul fugindo dos setores saturados do município e buscando novas áreas. Possivelmente se este cenário observado na década 2000-2010 continuar haverá um possível aumento da temperatura aparente nestas áreas da cidade também, que ainda são amenas.

Observando a região operacional R15 na figura 22, verifica-se uma mancha laranja bastante evidente, que significa que essa área possui temperatura aparente maior que os outros bairros dessa mesma região. Esta área corresponde à localização do Conjunto Habitacional Humberto Popolo (Cohab 1).

Em R16 verificou-se temperatura aparente pouco mais amena dentro o setor Sul, 29.4°C. Observa-se através da figura 22, que há maior distribuição dessa região operacional, não havendo concentração em pontos e aglomerados.

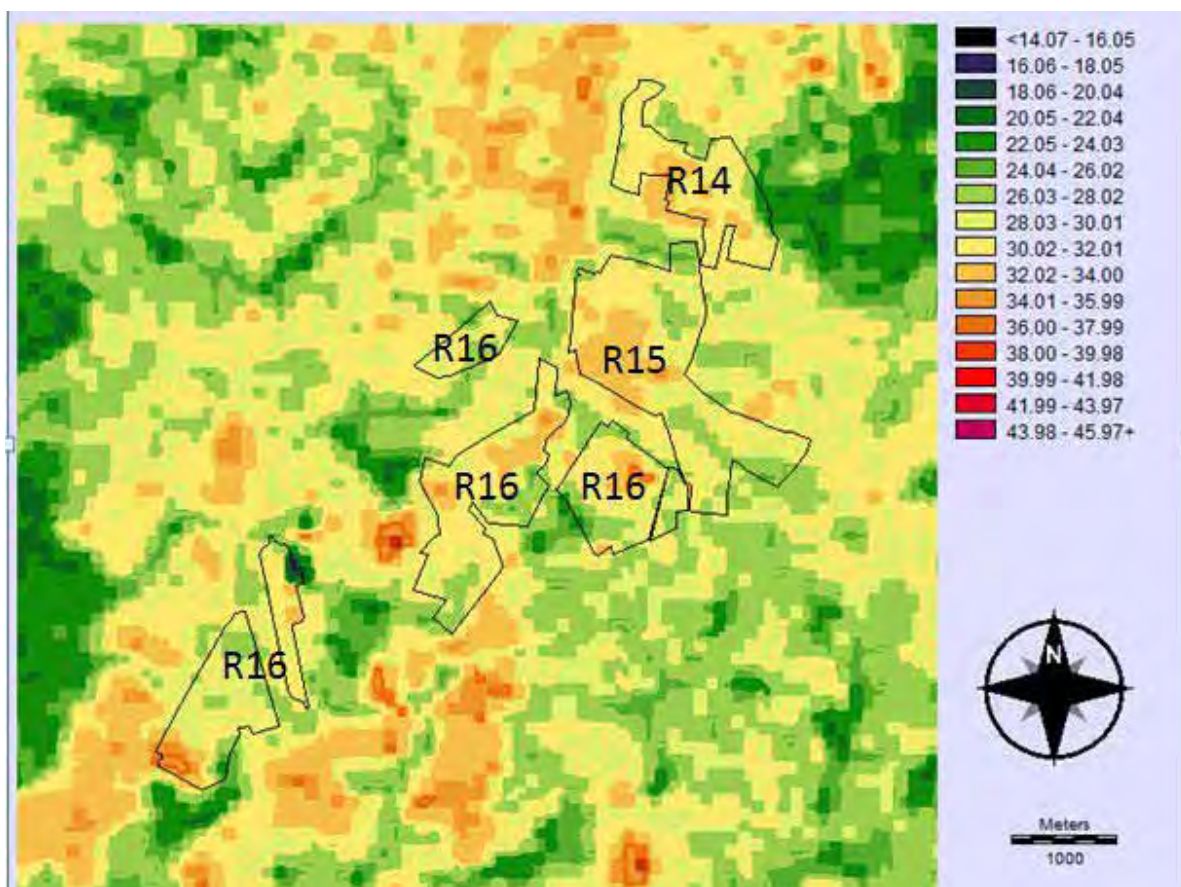


Figura 22. Setor Sul e suas regiões operacionais.

Tabela 6. Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Sul.

Região	R14	R15	R16
T°C	30.2	29.8	29.4

#### 6.2.5.5 Setor Oeste

O setor Oeste abrange quatro regiões operacionais (R17, R18, R19 e R20) e contém 29 bairros, se divide entre residências de alto padrão, mais próximas às rodovias e vias de acesso, enquanto as residências populares encontram-se nas áreas periféricas do setor.

A distribuição dos bairros nos setores Oeste e Sul não são adensados como nos setores Norte e Centro, por exemplo.

Pode-se observar nas figuras 22 e 23 a distribuição das regiões operacionais do setor Sul e Oeste e que há distancia considerável entre regiões diferentes e até mesmo entre bairros de uma mesma região operacional.

A região R20 do setor Oeste é a que apresenta menor temperatura aparente, 27.9°C, devido a sua proximidade com áreas de plantio de eucalipto e presença de mata ciliar (figura 24). Concentra bairros de padrão popular próximo ao Campus de Rubião Júnior da UNESP (Universidade Estadual Paulista).

A região R17 é a que apresenta maior temperatura aparente 29.9 °C, composta por residências populares e indústrias às margens da Rodovia Professor João Hipólito Martins.

As regiões R18 e R19 apresentam temperatura aparente variando entre 28.3°C e 28.5°C. A região R19 se caracteriza com residências de alto padrão, próximo às matas, já R18 é composta por residências de padrão popular (Jd. Santa Elisa e Jd. Riviera) e pequena porção por área de loteamento e residência de médio padrão (Recanto Árvore Grande).

Segundo dados de Bariquelo (2011) a tendência é que, com a construção do prédio do novo Fórum e do shopping, haja um crescimento bastante significativo na região R18.

Tabela 7. Temperatura aparente das regiões operacionais do setor Oeste.

Região	R17	R18	R19	R20
T°C	29.9	28.3	28.5	27.9

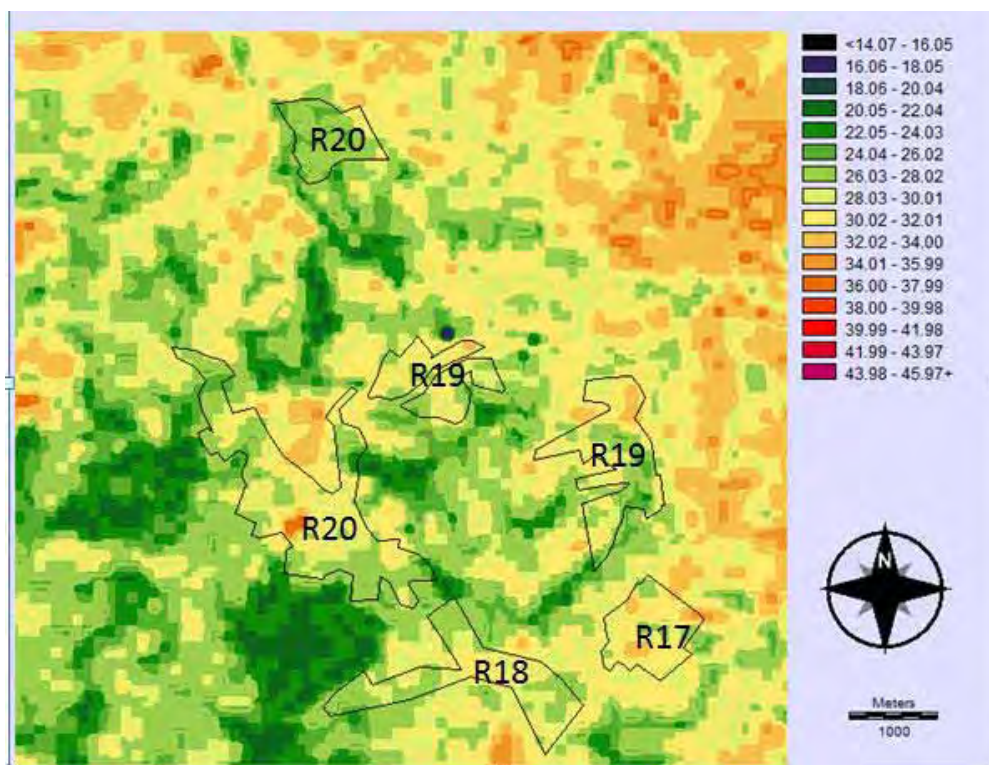


Figura 23. Setor Oeste e suas regiões operacionais.



Figura 24. Detalhe da região operacional R20.

## 7 CONCLUSÕES

A utilização do sensoriamento remoto aliado aos Sistemas de Informação Geográfica permitiu a visualização e a interpretação da morfologia da temperatura aparente da superfície do município de Botucatu para a data de 19/11/2010.

As diferentes coberturas do solo influenciaram diretamente na temperatura aparente observada nas imagens.

Dentre as classes de uso do solo estudadas (água, eucalipto, mata nativa e solo exposto), a classe água apresentou menor temperatura aparente, 20.9°C e o solo exposto à maior temperatura aparente, 33.6°C.

A diferença de altitude influenciou na temperatura aparente da classe de uso mata nativa.

O meio urbano heterogêneo aliado a baixa resolução espacial do sensor da banda 6 do Landsat- 5 dificultou a análise e interpretação dos dados. A utilização de imagens com melhor resolução possibilitaria uma visualização e análise mais precisa dos dados.

O setor Norte apresentou a maior temperatura aparente, 32.7°C, seguido do Setor Leste que apresentou 32.1°C e do Centro com 31.2°C. Diferente do perfil clássico das ilhas calor que se caracterizam pela alta temperatura nos centros urbanos, porém

corroborando com o encontrado por Coltri (2006). Os setores Oeste e Sul apresentaram as temperaturas mais amenas, devido à distribuição dos setores operacionais.

A distribuição dos bairros e a presença de vegetação tiveram influencia significativa na diminuição da temperatura aparente da superfície independente do padrão residencial (popular, médio ou alto) em todos os setores observados.

Os dados de temperatura aparente mostraram uma diferença de até 4°C entre regiões operacionais do mesmo setor, no caso o Norte, evidenciando a necessidade de uma intervenção por parte da prefeitura com o planejamento de implantação de vegetação a fim de amenizar o efeito da absorção de calor por parte dos materiais empregados na construção urbana.

## **8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ABREU, L.V. Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/Arquitetura e Construção). Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP. 2008. 154f.

**ARAÚJO, T.L. Estimativa da temperatura e do saldo de radiação á superfície terrestre em Macéio-AL utilizando imagens TM LANDSAT.** 2006. Dissertação (Mestrado em Metereologia). Instituto de Ciências Atmosféricas. Universidade Federal de Alagoas. 2006. 88f.

**BAPTISTA, G.M.M. Estudo Multitemporal do fenômeno Ilhas de Calor no Distrito Federal.** *Revista Meio Ambiente*, n. 02, p. 03-17, 2002.

**BARBIRATO, G.M.; SOUZA, L.C.L.; TORRES, S.C. Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos.** Macéio: EDUFAL, 2007. 164 p.



BARBOSA, A.P. **Comparação de métodos de classificação de imagens, visando o gerenciamento de áreas citrícolas.** 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.65f.

BARIQUELO, L. M. P. **Geotecnologia aplicada à análise da expansão urbana de Botucatu –SP (1962 – 2010).** 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.128f.

BIAS, E.S.; BAPTISTA, G.M.M.; LOMBARDO, M.A.; **Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003. Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p.1741 – 1748.

CEPAGRI - **Centro de Pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura.**

Disponível em: [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_060.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_060.html).

Acesso em 07 Jan 2011.

COLTRI, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: Análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto.** Piracicaba. 2006. 166p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz/USP.

COLTRI, P.P; VELASCO, G.N. POLIZEL, J.L.; DEMETRIO. V.A.; FERREIRA, N.J. **Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5151-5157.

COLTRI, P.P; JUNIOR, C.M; VELASCO, G.N.; FERREIRA, N.J.; FREITAS, S. **Influência do Uso e Cobertura do Solo nas Ilhas de Calor Local e Regional no Município de Piracicaba, São Paulo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 639-646.



COSTA, D.F.; PERES, L.F.; SILVA, H.R. **Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 647-653.

EASTMAN, J.R. **Idrisi ANDES Guide to GIS and Image Processing.** Worcester, MA: Clark University, 2006.

FATIGATI, F. L. **Estudo da variação da temperatura da superfície do município de São Paulo no período 1991–2006, com a utilização de imagens termais do satélite LANDSAT-5 TM.** . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 655-662.

FIALHO, E. S. **Ilha de Calor em cidade de pequeno porte: Um caso de Viçosa, Zona da Mata Mineira.** São Paulo, 2009. 259p. Tese (Doutorado em Geografia/Geografia Física) – Universidade de São Paulo.

FIALHO, E. S.; AZEVEDO, T. R. **Refletindo sobre o conceito de ilha de calor.** In: Simpósio brasileiro de geografia física aplicada, 13, 2009, Viçosa: UFV, 2009. V. 1. Disponível em [http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos\\_expandidos/eixo8/008.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos_expandidos/eixo8/008.pdf) acesso em: 06 fev. 2012.

FUCKNER, M.A. **Aplicação de imagens aster no estudo do ambiente urbano de São Paulo e Rio de Janeiro.** São José dos Campos, 2008. 230p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto de Pesquisas Espaciais/INPE.

GABRIEL, J. L. C. **Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arbóreo de mata mesófila semidecídua de encosta, no município de Botucatu, SP.** Rio Claro, 1990. 198p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto - princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982. 357p.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248p.

GODOY, L. B; BAPTISTA, G. M. M; ALMEIDA, T. **Relação entre vegetação e temperatura de superfície nos parques urbanos do Distrito Federal, por meio de dados ASTER**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 699 – 705.

GOUVÊA, M.L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. São Paulo, 2007. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas/ Meteorologia aplicada). Universidade de São Paulo/USP.

GUSSO, A.; FONTANA, D.C.; GONÇALVES, G.A. **Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.2, p.231-237, fev. 2007.

**IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.**

Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

Acesso em 07 Jan. 2011.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) Pós Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Campinas, 2007. 357p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos/SP: Parênteses editora, 2009. 597p.

LIMA, G.S.; LIESENBERG, V.; SOUZA, C.M.M. **Evolução do Crescimento urbano em Blumenau (Santa Catarina) e a sua relação com o aumento do Campo Térmico com dados TM/Landsat.** . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1409 – 1415.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande/MS. Editora UNIDERP, 2007. 881p.

LOMBARDO, M.A. **Ilha de Calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo: Editora Hucitec, 1985. 244p.

MODNA, D.; VECCHIA, F. **Calor e Áreas Verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP.** In: Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído (ENCAC), 3, 2003. Curitiba.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed. atual ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986-2010).** 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, 2011. 98p.

NASCIMENTO, D.T.F.; BARROS, J.R.; **Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia – GO/2001.** Boletim Goiano de Geografia. V29. N1. p. 119-134, 2009.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363 p.

OKE, T.R. Technical note n.134: **Review of urban climatology**. World Meteorological Organization. Geneva, WMO, 1974. p.168-1973.

OKE, T.R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observation**. Journal of climatology, New York, v.01, n. 03, p. 237-254, 1981.

OLIVEIRA, F.G. **Diagnóstico da expansão da cultura canvieira e dos conflitos ambientais de uso do solo no município de Barra Bonita/SP**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.57f.

PACHÊCO, A. P. **Emissividades de superfícies naturais no infravermelho termal ( 8 – 12 mm )**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 1998, Santos. Anais... , São José dos Campos: INPE, 1998. p. 1307-1313.

PIROLI, E.L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu – SP**. Botucatu, 2002, 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2009.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M.S.; **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. — (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 70). Disponível em:  
<<http://www.cppse.embrapa.br/servicos/publicacao gratuita/documentos/Documentos70pdf/vie w>>. Acesso em 28 out. 2010.

ROSA, R. **Influência das condições de iluminação solar nos dados TM/Landsat**. 1987. 91p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

ROSÁRIO, N. M. E. **Comparação de profundidades ópticas espectrais do aerossol obtidas para São Paulo a partir de um Multifilter Rotating Shadowband Radiometer e do fotômetro solar da AERONET**. 2005. 137p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

SANTOS, T. V. **Fluxos de calor na superfície e evapotranspiração diária em áreas agrícolas e de vegetação nativa na bacia do Jacuí por meio de imagens orbitais**. 2009. 85p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SAYÃO, A. C. **Estudo da variabilidade sazonal da profundidade óptica do aerossol em São Paulo a partir de radiômetros MFRSR**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

SOUSA, J. L. **Análise do campo térmico de cidades de médio porte: estudo de caso do pólo têxtil de Americana-SP**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Pós-graduação em Geografia- Organização do espaço. 2007. 347p.

SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. **Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – Landsat 5**. Revista Brasileira de Geofísica (2005) 23(4): 349-358.

## ANEXO

Tabela 1.1: Setor Central, suas regiões operacionais e seus bairros.

R1	Centro Vl. Caricati Vl. Padovan	Chácara Milanesi Vl. Cariola Vl. Sto Antônio	Chácara Trench Vl. Garzezi Vl. Silvinha	Jardim Leonor Vl. Moreira
R2	Chácara Lavapés Vl. Caricati Vl. Irajá Vl. Santa Terezinha	Pq. São Domingos Vl. Cintra Vl. Jardim Vl. Santo Antônio	Vl. Assunção Vl. Glória Vl. Juliana	Vl. Assunta Vl. Guimarães Vl. Longo
R3	Ch. Dona Constancia  Jardim Dona Carolina Vl Padovan I Vl. Santana Vl. São Judas Tadeu	Ch. Floresta  Vl. Ana Maria Vl. Paraíso Vl. São Benedito Vl. Sônia I	Conj. Hab. CECAP  Vl. Nogueira Vl. Pinheiro Vl. São João	Jardim Bom Pastor  Vl. Nossa Sra. da Penha Vl. Santa Luzia Vl. São José
R4	Recanto Azul	Vl. São Lúcio	Vl. São Luiz	Vl. Sorocabana

Tabela 1.2: Setor Norte, suas regiões operacionais e seus bairros.

R5	Ch. Calori Jd. Mauá  Vl. dos Lavradores  Vl. Piozzi Vl. Teixeira Pinto	Ch. Martim Vl. Bardela  Vl. Foglia  Vl. Rodrigues	Jd. Montagna Vl. Carmelo  Vl. Líria  Vl. São João	Ch. Suman Vl. Casa Branca Vl. Nossa Senhora de Fátima Vl. Spadotto
R6	Jd. Dom Henrique Vl. Bela	Jd. Shangrilá Vl. Ferroviária	Jd. Universitário	Vl. Antártica
R7	Distrito Industrial I	Distrito Industrial II		
R8	Jd. Continental Jd. Panorama Vl. Nova Botucatu	Jd. Eldorado Jd. Planalto Vl. Paulista	Jd. Ipê Jd. Real Park	Jd. Itamarati Vl. Di Capri
R9	Jd. Ch. dos Pinheiros  Jd. Itália Vl. Bela	Jd. Ch. Pinheiro Machado Jd. Santa Teresa Vl. Esperança	Jd. Flamboyant  Monte Mor Vl. Pinheiro	Jd. Iolanda  Vl. Angela Vl. Pinheiro Machado
R10	Vl. Santa Cruz Ch. Barros Jd. Paraíso II	Jd. Altos do Paraíso Lageado	Jd. Mirante Parque Primavera	Jd. Paraíso I

R22	Vitoriana		
R23	Alvorada da Barra	Porto Said	Rio Bonito – Mina

Tabela 1.3: Setor Sul, suas regiões operacionais e seus bairros.

R14	Ch. Lavapés Conj. Hab. – Comerciários 3 Vl. Cidade Jardim	Conj. Hab. - COHAB 6 Conj. Hab. – Comerciários 4 Vl. Lavapés	Conj. Hab. - Comerciários 1 Conj. Hab. Souza Santos Vl. Santa Catarina	Conj. Hab. – Comerciários 2 Pq. Santa Inês
R15	Ch. Recreio do Havaí Jd. Reflorenda –	Conj. Hab.- COHAB 1 Vl. Longo	Convívio Parque Residencial Parque dos Pinheiros	Jd. Palos Verdes
R16	Conj. Hab. Francisco Blasi Lívia	Jd. Aeroporto Portal das Brisas	Jd. Altos da Serra	Jd. Santa Cecília

Tabela 1.4: Setor Leste, suas regiões operacionais e seus bairros.

R11	Jd. Cristina Resid. Arlindo Durante	Pq. Resid. Nazaré Resid. Ch. Santo Antônio	Pq Resid. Serra Negra Vl. Ema	Vl. Jaú Vl. Maria
R12	Conj. Hab. H. Delledove Jd. Brasil Jd. Vista Linda	Conj. Hab. Arnaldo L. Mello Jd. Ciranda Vl. Mariana	Jd. Alvorada Jd. Ipiranga Vl. Solange	Jd. Bandeirantes Jd. Peabiru Vl. Operária
R13	Bairro Alto Vl. Bela Vista Vl. Rodrigues Alves	Conj. Resid. Indamar Vl. Cotin Vl. Santa Clara Vl. Zeugner	Jd. Dona Nicota Vl. Eden	Vl. Auxiliadora Vl. Eni

Tabela 1.5: Setor Oeste, suas regiões operacionais e seus bairros.

R17	Ch. Reunidas Vista Alegre Vl. Real	Pq. Imperial	Pq. Marajoara	Pq. Tupy
R18	Jd. Riviera	Jd. Santa Elisa	Recanto árvore grande	
R19	Jd. Tropical	Parque das Cascatas	Vale do Sol	

---

R20	Ch. Capão Bonito	Ch. Recreio Vista Alegre	Jd. Alvorada	Jd. América
	Jd. Bons Ares	Jd. Centenário	Jd. Dona Marta	Jd. Neusa Maria
	Jd. N. S. das Graças	Jd. Sto Inácio	Jd. São José	Jd. Saúde
	Pq. Bela Vista	Pq. Sto. Ant. da Cascatinha	Vl. Paraíso	Vl. Sta Ignês
	Vl. Sueleny			

---