

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

**IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS TÉRMICAS POR
SENSORIAMENTO REMOTO EM CUIABÁ/MT**

PABLINNE CYNTHIA BATISTA DA SILVA E SILVA

PROF.^a DR.^a NADJA GOMES MACHADO
Orientadora

**Cuiabá, MT
Maio/2016**

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

**IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS TÉRMICAS POR
SENSORIAMENTO REMOTO EM CUIABÁ/MT**

PABLINNE CYNTHIA BATISTA DA SILVA E SILVA

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

PROF.^a DR.^a NADJA GOMES MACHADO
Orientadora

**Cuiabá, MT
Maio/2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586i Silva, Pablinne Cynthia Batista da Silva e.
Identificação de anomalias térmicas por sensoriamento remoto em Cuiabá/MT /
Pablinne Cynthia Batista da Silva e Silva. -- 2016
66 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Nadja Gomes Machado.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Urbanização. 2. Clima urbano. 3. Ocupação do solo. 4. Temperatura da
superfície. I. Título.

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

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

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS TÉRMICAS POR
SENSORIAMENTO REMOTO EM CUIABÁ - MT

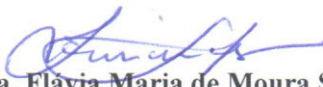
AUTORA: PABLINNE CYNTHIA BATISTA DA SILVA E SILVA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 27 de maio de 2016, pela
comissão julgadora:



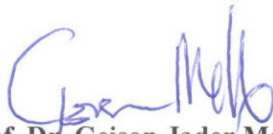
Prof. Dra. Nadja Gomes Machado
Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT



Prof. Dra. Flávia Maria de Moura Santos
Examinadora Interna

Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia - UFMT



Prof. Dr. Geison Jader Mello
Examinador Externo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT

DEDICATÓRIA

A Deus pela vida, a minha mãe Genessi
pelo amor, carinho e paciência.

A todos os outros familiares e amigos
que de alguma forma contribuíram com
meus estudos.

AGRADECIMENTOS

A Prof.^a Dr.^a Nadja Gomes Machado, pela orientação, apoio e confiança, ingredientes que possibilitaram a realização desta dissertação;

Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes pelas orientações que auxiliaram na realização desta dissertação;

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, pelo grande trabalho feito para a realização deste curso de mestrado;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, que compartilharam seus conhecimentos;

Ao meu amigo Lucas Peres Angelini por seu carinho, apoio e incentivo pessoal e profissional;

A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, pelos momentos de alegria no convívio, e em especial a Natallia Sanches e Souza, Marcos Alves Fausto, Keylyane Santos da Silva, Dalila Morgana de Souza Mützenber, Danielle Christine Stenner Nassarden, Vagner Marques Pavão, Larissa Leite Pavão e Victor Hugo Danelichen.

Aos meus amigos de convívio pessoal pelo carinho, apoio e incentivos, em especial a André Luiz, Luiza Raquel Souza e Silva e a Juliana Barbosa da Silva Lotufo.

À Soilce e Cesário pela colaboração nos serviços da secretaria que auxiliam o desenvolvimento do mestrado;

A minha mãe, Genessi Maria Batista pelo amor, apoio e ensinamentos que foram fundamentais para a conclusão do mestrado;

Aos meus familiares que compreenderam minhas ausências por causa da necessidade de dedicação ao mestrado;

Agradeço o CNPq pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.3 HIPÓTESES	3
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo Geral	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 EXPANSÃO URBANA DE CUIABÁ - MT.....	4
2.2 CARACTERÍSTICAS DO CLIMA URBANO	6
2.3 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS A ANÁLISE DE ANOMALIAS TÉRMICAS URBANAS	8
2.3.1 Estimativas de parâmetros biofísicos para análise do clima urbano	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 ÁREA DE ESTUDO	14
3.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS	17
3.3 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS	19
3.3.1 Índice de Vegetação.....	19
3.3.2 Índice de Área Construída	19
3.3.3 Índice de Umidade.....	19
3.3.4 Índice de Solo Exposto	20
3.3.5 Modificação do Índice de umidade.....	20
3.4 CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA DO SOLO	20
3.5 AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA CLASSIFICAÇÃO.....	21
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	23
4. RESULTADOS.....	24
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO	24
4.2 MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO E ANÁLISE TEMPORAL	

E ESPACIAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE.....	27
5. DISCUSSÃO.....	35
5.1 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA COBERTURA DO SOLO	35
5.2 RELAÇÃO ENTRE A COBERTURA DO SOLO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	38
6. CONCLUSÕES	41
7. RECOMENDAÇÕES	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização de Cuiabá, MT, Brasil e a distribuição das diferentes regiões no perímetro urbano de Cuiabá.	14
FIGURA 2 – Região Norte e seus abairramentos	15
FIGURA 3 – Região Sul e seus abairramentos	16
FIGURA 4 – Região Leste e seus abairramentos.....	16
FIGURA 5 – Região Oeste e seus abairramentos	17
FIGURA 6 – Fluxograma ilustrando as etapas de processamento de classificação da cobertura do solo	18
FIGURA 7 – Classificação da cobertura do solo de 1985 a 2011.....	28
FIGURA 8 – Espacialização das classes de temperatura da superfície em Cuiabá - MT em 1985.....	31
FIGURA 9 – Espacialização das classes de temperatura da superfície em Cuiabá – MT em 2011.....	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Composição das bandas do satélite Landsat 5 TM e suas aplicações.	10
TABELA 2 – Descrição da utilização dos diferentes índices com referências	12
TABELA 3 – Classes, regras e condições para classificação de cobertura do solo para imagens de satélite de 1985 e 2011	21
TABELA 4 – Matriz de confusão.	22
TABELA 5 – Medidas de precisão da classificação de cobertura do solo derivada da matriz de confusão.	22
TABELA 6 – Padrão de precisão de acurácia da acurácia da classificação.....	23
TABELA 7 – Dimensionamento das áreas de cobertura do solo.....	24
TABELA 8 – Estimativa de acurácia da classificação da cobertura do solo em Cuiabá - MT.	25
TABELA 9 – Média da temperatura da superfície (intervalo de confiança de $\pm 95\%$) por cobertura do solo em Cuiabá em 1985.....	29
TABELA 10 – Classes de temperatura da superfície por região em Cuiabá em 1985.	29
TABELA 11 – Média da temperatura da superfície (intervalo de confiança de $\pm 95\%$) por cobertura do solo por região em Cuiabá em 1985.	32
TABELA 12 – Classes de temperatura da superfície por região em Cuiabá em 2011.	32
TABELA 13 – Média da temperatura da superfície (intervalo de confiança de $\pm 95\%$) por cobertura do solo por região em Cuiabá em 2011.	34

LISTA DE ABREVIATURAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ICU	Ilha de Calor Urbana
ICUS	Ilha de Calor Urbana Superficial
T_s	Temperatura da Superfície
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDBI	Índice de Área Construída por Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Umidade por Diferença Normalizada
NDBaI	Índice de Solo Exposto por Diferença Normalizada
MNDWI	Modificação do índice de umidade por diferença normalizada
AVD	Áreas de vegetação densa
AVA	Áreas de vegetação arbustiva
AVR	Áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto
ACO	Áreas construídas
ACA	Áreas de corpos d'água
TM	Mapeador térmico
Landsat	Programa de satélite de observação da Terra
ρ_1	Refletância banda 1
ρ_3	Refletância banda 3
ρ_4	Refletância banda 4
ρ_5	Refletância banda 5
ρ_6	Refletância banda 6

RESUMO

SILVA, P.C.B.S. Identificação de anomalias térmicas por sensoriamento remoto em Cuiabá/MT, 66 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Os grandes aglomerados de áreas urbanas acabam criando um clima próprio, decorrentes da substituição da vegetação nativa por superfícies artificiais, entre outros fatores. Os impactos gerados pela ação antrópica sobre o meio ambiente em Cuiabá/MT foram responsáveis por mudanças na cobertura do solo, e consequentemente nas alterações do microclima urbano, propiciando a formação de anomalias térmicas. O sensoriamento remoto é uma ferramenta alternativa e efetiva para o monitoramento do clima urbano, pois fornece um amplo conjunto de dados espaço-temporal do ambiente urbano. O objetivo geral deste trabalho foi identificar anomalias térmicas e sua relação espaço-temporal com as diferentes ocupações do solo por meio de sensoriamento remoto em Cuiabá/MT de 1985 a 2011. A temperatura da superfície apresentou variação temporal significativa, resultantes do acelerado crescimento urbano presenciado nos anos. A substituição de áreas vegetadas por áreas antropizadas afetou negativamente o balanço térmico da superfície. Foram identificadas predominantemente anomalias térmicas nas regiões norte e leste da cidade, causadas pelo aumento de áreas construídas e tecidos urbanos. O mapeamento de cobertura do solo juntamente com estimativas de temperatura da superfície é adequado para avaliação espaço-temporal dos diferentes parâmetros biofísicos. Os parâmetros discutidos nesse estudo são de primordial importância para avaliação dos impactos causados pela urbanização. Diante disto, as análises dos efeitos da cobertura do solo sob a formação de anomalias térmicas por sensoriamento remoto indicaram ser adequadas para estudos de microclimas urbanos permitindo um possível apoio a tomada de decisão quanto a melhoria do planejamento urbano.

Palavras-chave: Urbanização; Clima urbano; Cobertura do solo; Temperatura da superfície.

ABSTRACT

SILVA, P.C.B.S. Identification of thermal anomalies by remote sensing in Cuiabá/MT, 66 f. Dissertation (Masters in Environmental Physics), Physics Institute, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

The large agglomerates of urban areas end up creating a new own climate through the replacement of native vegetation with artificial surfaces, among others. The impacts caused by human action on the environment in Cuiabá / MT were responsible for changes in the ground cover, and consequently the climatic variations, leading to formation of thermal anomalies. Remote sensing is an alternative and effective tool for monitoring the urban climate, providing information of spatio-temporal environment. The aim of this study was to identify thermal anomalies and their spatio-temporal relationship with the different ground cover by remote sensing in Cuiabá/MT 1985 to 2011. The surface temperature showed significant temporal variation resulting from rapid urban growth witnessed in years. The replacement of vegetated areas for anthropic areas negatively affects the heat balance of the surface. Predominantly were identified thermal anomalies in the north and east of the city, caused by the increase in built and urban fabric areas. The mapping of ground cover with the surface temperature estimates are adequate for spatial and temporal assessment of the different biophysical parameters. The parameters discussed in this study are of prime importance to assess the impacts of urbanization. In view of this, the analysis of the effects of ground cover of urban microclimate pointing thermal anomalies indicated for remote sensing is adequate to urban microclimates studies contributing to the decision making regarding the planning of urban spaces.

Keywords: Urbanization; Urban climate; Ground Cover; Surface temperature.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Atualmente, a maior parte da população mundial concentra-se em áreas urbanas. No Brasil, estima-se que a população brasileira crescerá cerca 30 milhões nos próximos 30 anos, dos quais a grande maioria habitará cidades. A urbanização beneficia o bem-estar econômico da população, no entanto, a sua intensificação provoca graves impactos socioambientais a cidade.

O desenvolvimento urbano frequentemente está associado à substituição de ambientes naturais por áreas construídas, que em geral acontece de forma desordenada e sem diretrizes, gerando graves impactos ambientais. Sendo assim, a urbanização é um dos fenômenos mais estudados nos últimos anos, pois a sua intensificação tem exercido crescente influência sobre o clima local e tem afetado significativamente o ecossistema terrestre.

As áreas urbanas são superfícies heterogêneas constituídas por uma mistura de áreas naturais e construídas em diferentes densidades e arranjos. A heterogeneidade da superfície urbana gera alterações nas trocas de energia e massa entre superfície-atmosfera, causando o surgimento de diferentes tipos de clima em uma mesma cidade. Os materiais presentes em áreas urbanas têm maior capacidade de armazenamento de energia solar, que por sua vez será dissipada na forma de calor sensível, contribuindo para o aumento da temperatura do ar no meio urbano.

Desta forma, pesquisas tem demonstrado que as alterações nos parâmetros biofísicos têm afetado diretamente o microclima, causando o aumentando a temperatura, afetando o ciclo de chuvas, o fluxo de vento e a umidade relativa do ar. A diferenciação nos valores de temperatura existentes entre a cidade e seu entorno, aliado às atividades humanas e as alterações na atmosfera urbana, geram a formação de “ilhas de calor urbana”. As ilhas de calor urbanas são um dos principais produtos gerados pelas alterações da cobertura do solo e um dos mais importantes problemas ambientais do século XXI.

Com o advento da tecnologia geoespacial, tornou-se possível monitorar remotamente as variáveis biofísicas, correlacionando as alterações na cobertura do solo com a variação da temperatura urbana. Portanto, o sensoriamento remoto surge como uma técnica alternativa e de custo relativamente baixo para análise espaço-

temporal das características superfícies do solo e na identificação de anomalias térmicas em áreas urbanas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A urbanização é uma das principais alterações produzidas pelo homem nos últimos anos. As atividades antropogênicas tem transformado quase um terço da superfície terrestre, sendo a urbanização a mais estudada nos últimos anos, devido a sua importante e crescente influência sobre o clima local e possíveis impactos aos ecossistemas terrestres.

A substituição dos ambientes naturais por áreas urbanas gera o aumento das temperaturas em escala local. Este fenômeno ocorre em função de vários fatores, tais como a diminuição das áreas verdes, a canalização dos córregos, o aumento das indústrias que liberam poluentes na atmosfera entre outras atividades inerentes à vida nas cidades. Estudos para analisar a correlação do crescimento urbano com as variações na distribuição espacial da temperatura se mostram fundamentais, considerando os impactos socioambientais gerados.

Os ambientes urbanos são constituídos por superfícies heterogêneas que formam diferentes arranjos, resultando em um ambiente complexo e difícil monitoramento por estações convencionais. No Brasil, existem poucas estações meteorológicas disponíveis, em consequência do alto custo para sua implementação e manutenção.

Devido à baixa disponibilidade de estações convencionais, o sensoriamento remoto tem se tornado nos últimos anos uma ferramenta viável e efetiva para o mapeamento e monitoramento de áreas urbanas. Fornecendo conjuntos de dados espacialmente consistentes que cobrem grandes áreas com alto detalhe espacial e alta frequência temporal, a um menor custo.

Portanto, novas fontes de dados espaciais e técnicas inovadoras de geoprocessamento oferecem o potencial significativo na análise, compreensão e representação da dinâmica urbana. A combinação de novos dados e métodos de estudos do clima urbano permitirá o apoio a tomada de decisão e melhor planejamento urbano.

1.3 HIPÓTESES

- i. A intensificação da urbanização causa importantes e crescente influência sobre o microclima urbano;
- ii. A substituição de ambientes naturais por áreas antropizadas, aliadas as atividades humana e as alterações ocasionadas nos fluxos de calor da superfície geram diferenciações térmicas na cidade, propiciando a formação de anomalias térmicas;
- iii. Áreas antropizadas apresentam maiores valores de temperatura da superfície em relação as áreas vegetadas;

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

- Identificar anomalias térmicas e sua relação espaço-temporal com as diferentes coberturas do solo por meio de sensoriamento remoto em Cuiabá/MT.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analisar as diferenciações na cobertura do solo entre 1985 e 2011;
- Verificar se o mapeamento de cobertura do solo por sensoriamento remoto em áreas urbanas são adequados;
- Avaliar a correlação das alterações na cobertura do solo com a temperatura da superfície;
- Analisar as regiões que apresentam maiores valores de temperaturas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EXPANSÃO URBANA DE CUIABÁ - MT

O processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma intensiva a partir da segunda metade do século XX, com o processo tardio de industrialização e inovações tecnológicas. A industrialização e a modernização atraíram enormes contingentes de migrantes em busca de oportunidades de trabalho, caracterizando uma rápida e desordenada expansão populacional em áreas urbanas (SANTOS, 1996).

Foram criadas a partir de 1960, políticas de incentivos à exportação agroindustrial e créditos rurais, que teve como consequência a expansão das fronteiras agrícolas, a concentração da propriedade e o êxodo rural no país (BERNARDES, 2007). Neste contexto, o estado de Mato Grosso passou por uma rápida e crescente expansão demográfica impulsionada pelos programas de desenvolvimento do agronegócio (CUIABÁ, 2007).

O município de Cuiabá - MT torna-se a partir de então um pólo de apoio aos fluxos migratórios cada vez mais intensos, aumentando sua população de aproximadamente 50 mil habitantes em 1960 para mais de 500 mil em 2010 (IBGE, 2010; FILHO, 2013). Devido ao intenso crescimento populacional ocorrido nos últimos anos, Cuiabá - MT teve seu perímetro urbano ampliado diversas vezes, passando de 4,50 km² em 1960 para 254,57 km² em 2007 (CUIABÁ, 2007).

A (re)produção do espaço urbano do município de Cuiabá - MT com a construção de novas áreas residenciais, comerciais e industriais, trouxeram novas incorporações territoriais a cidade. Até a década de 1970 a área urbana abrangia-se até a Avenida Miguel Sutil, a partir de então, houve um rápido processo de descentralização urbana, surgindo novos eixos de crescimento populacional (ROMANCINI, 2011).

Como reflexo do processo de descentralização a partir de 1970, houve a criação de atrativos em regiões pouco povoadas como a Universidade Federal de Mato Grosso e o Centro Político Administrativo que teve como consequência o aumento de bairros periféricos (ROMANCINI, 2011). A dispersão do município passa a ocorrer em todas as porções urbanas (leste, oeste, norte e sul), causando a ampliação do seu perímetro urbano (SILVA & ROMERO, 2013).

A expansão da cidade esteve relacionada a intensificação das especulações imobiliárias e a ampliação dos recursos habitacionais, com a criação de programas de crédito pelo governo federal (SILVA & ROMERO, 2013). Diante disso, a expansão urbana não ocorreu de forma ordenada e amparada por legislação, provocando uma série de alterações na estrutura da paisagem, fragmentando os espaços naturais e reduzindo drasticamente a cobertura vegetal (VILANOVA & MAITELLI, 2009).

As áreas de vegetação urbana são de extrema importância pela minimização da poluição atmosférica, redução da poeira em suspensão, atenuação de ruídos, equilíbrio solo-planta-atmosfera e melhoria da estética urbana (PAULA & FERREIRA, 2014). Sendo assim, a urbanização beneficia o bem-estar econômico da sociedade, no entanto, a perda de vegetação, com aumento de áreas construídas e abertas, juntamente com a expansão dos tecidos urbanos, altera completamente o clima local da cidade (SHAMAR et. al. 2013).

A cidade de Cuiabá-MT antes conhecida como “Cidade Verde” pelos extensos fragmentos de cerrado presentes em toda a área urbana, vem sendo fragmentado pela intensificação do crescimento urbano (MACHADO et. al., 2013). Atualmente, a cidade possui poucas áreas de vegetação nativa, como pode-se citar os parques urbanos: Parque Dante de Oliveira, Parque Mãe Bonifácia, Morro da Luz, Parque Massairo Okamura, Parque Zé Bolo Flô, além de outras áreas vegetadas em meio a áreas construídas como praças e de influência de superfícies líquidas como rios e lagoas.

A diminuição permanente e crescente das áreas verdes no espaço urbano decorrentes do processo de urbanização, aliadas a falta de políticas públicas eficazes, tem afetado consideravelmente o clima local e a qualidade de vida da população (LONDE & MENDES, 2014). A substituição da cobertura natural altera drasticamente os fluxos de energia na superfície e da atmosfera próxima, provocando um aumento das temperaturas da superfície e do ar acima dos ambientes urbanos (OKE, 1982). Sendo assim, pode-se afirmar que, aumento de temperatura, a redução na umidade relativa do ar e o desconforto térmico são as expressões mais significativas das alterações climáticas causada pela intensificação da urbanização e a diminuição das áreas verdes urbanas (GOMES & QUEIRÓZ, 2013).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO CLIMA URBANO

A urbanização é uma das atividades antropogênica mais importante dos últimos anos, pois a sua intensificação tem causado consideráveis modificações ao microclima das cidades. A substituição dos ambientes naturais por áreas urbanas gera o aumento das temperaturas em escala local e a redução da umidade relativa, dando origem a um clima particular, denominado clima urbano (LIMA & AMORIM, 2010).

O crescimento desordenado provoca a diminuição da qualidade de vida nas cidades e a alteração das trocas de energia entre superfície, vegetação e atmosfera (MOREIRA et al. 2013). No Brasil a partir da década de 1960, a preocupação com a queda da qualidade ambiental das grandes cidades brasileiras foi um dos fatores que impulsionaram o surgimento de vários estudos relacionados ao clima urbano no país (MONTEIRO, 1976; LOMBARDO, 1985; BRANDÃO, 2003). Em Mato Grosso e em Cuiabá – MT não foi diferente, o clima urbano também passou a ser tema de vários estudos a partir da década de 1990 devido a intensificação do processo de urbanização ocorrido nos últimos anos (MAITELLI, 1994; CALLEJAS et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

O acelerado crescimento urbano gera um fenômeno conhecido como Ilha de Calor Urbana (ICU). A ICU é definida como anomalia térmica, caracterizada pelo aumento da temperatura do ar nas áreas centrais de uma cidade em relação à temperatura das áreas periféricas (PENG et al. 2012). As ICU referem-se ao aquecimento da atmosfera urbana detectado por sensores meteorológicos fixos ou móveis, enquanto as medidas realizadas através de sistemas de sensoriamento remoto avaliam a Ilha de Calor Urbana Superficial (ICUS) (OKE & VOOGT, 2003).

A ICUS é uma medida indireta da temperatura e exige a correção das propriedades da superfície radiativa que iram influenciam a emissão e reflexão da radiação de comprimentos de ondas espectrais detectadas pelo sensor (VOOGT e OKE, 2003). A diferenciação de temperatura em determinados pontos da cidade é em função do tipo de cobertura do solo existente, ou seja, superfícies que possuem maior capacidade de armazenamento de calor sensível terão maiores valores temperaturas (ARAÚJO & SOUZA, 2010). Os diferentes tipos de material de cobertura da superfície, estruturas urbanas, fontes de calor e umidade antropogênica irá influenciar

no balanço de energia, resultando em mudanças dos valores de temperatura e umidade relativa do ar (ARMANI et al. 2015).

A substituição da vegetação nativa por superfícies com alto potencial de armazenamento de calor como os tecidos urbanos, áreas construídas e abertas causam mudanças significativas no balanço de energia. O balanço de radiação se baseia na primeira lei da termodinâmica, onde toda energia absorvida pela superfície irá aquecer o ar acima da superfície ou será evaporada com a umidade ou será armazenada nos materiais em forma de calor (GARTLAND, 2010). Então, para compreender as mudanças no balanço de energia em áreas urbanas, é necessário primeiramente compreender as alterações no balanço de radiação.

A quantidade de radiação que será absorvida e refletida por determinada superfície irá depender de seus fatores termo-físicos, expresso pelo albedo, emissividade, rugosidade da superfície, condutibilidade, difusividade e efusividade térmicas da superfície (CALLEJAS et al. 2015). Áreas urbanas são constituídas por uma complexa troca de energia, massa e momentum, ocasionada pelos diferentes tipos de materiais que a compõe. São formadas por uma complexa estrutura de blocos de construção, que produzem um mosaico de superfícies iluminadas e sombreadas (FREY et al., 2007).

A radiação de onda curta incidente em áreas urbanas não é igualmente distribuída em consequência do sombreamento e exposição dos edifícios que provocam divergência vertical da densidade de fluxo de radiação (CHRISTEN E VOGT, 2004). No entanto, a radiação de onda longa incidente aumenta em áreas urbanas por causa do aumento do calor da atmosfera urbana e/ou da emissividade atmosférica provocada pela presença de partículas e gases poluentes (SUCKLING, 1981; OKE, 1982; ESTOURNEL et al., 1983; CHRISTEN & VOGT, 2004). São as partículas e os gases poluentes que absorve e dispersam a radiação de ondas curtas e a radiação de onda longa, criando uma perda de calor na superfície e um aquecimento da camada poluída (CHRISTEN & VOGT, 2004).

Áreas antropizadas possuem maior capacidade de reter calor (GRIMMOND & OKE, 1999; GRIMMOND e OKE, 1995) e menor quantidade de energia destinada à evapotranspiração (ATWATER, 1971). Sendo assim, a maior parte da energia disponível é empregada ao aquecimento do ar e do solo em áreas urbanas, sendo

dominada pelo calor sensível, que armazena grandes quantidades de calor durante o dia e liberadas durante a noite (OKE et al., 1999).

Áreas urbanas apresentam maior magnitude de radiação de onda longa em relação a áreas rurais (CHRISTEN & VOGT, 2004). Essas diferenças entre reflexão de ondas curtas e emissão de ondas longas responsáveis pelo aumento da temperatura, estão relacionadas à quantidade de cobertura vegetal existente (WHITE et al., 1978; OKE, 1987). A vegetação influencia diretamente o fluxo de calor da radiação térmica ao bloquear a radiação solar direta, reduzindo a temperatura da superfície, a radiação de onda longa reemitida pelo solo e folhas e no aumento da umidade que é liberado pelas folhas (FREY et al., 2007; DURANTE & NOGUEIRA, 2013; OLIVEIRA et al. 2013).

Diante disso, pode-se afirmar que a vegetação desempenha um papel fundamental para a melhoria da qualidade ambiental na cidade em virtude da atenuação da radiação, diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar (OLIVEIRA, et al. 2013). Portanto, os estudos sobre a identificação de anomalias térmicas são adequados para melhoria na qualidade ambiental e da população, diante inúmeros impactos que sua formação pode causar (ANJOS et al. 2012).

2.3 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS A ANÁLISE DE ANOMALIAS TÉRMICAS URBANAS

As pesquisas com o intuito de compreender a dinâmica espacial da temperatura em áreas urbanas nos últimos anos, são motivadas pelas alterações crescentes e irreversíveis na cobertura do solo. As transformações ocorridas em áreas urbanas alteram os parâmetros biofísicos, promovendo o desenvolvimento de ICU e a degradação a saúde socioambiental nas cidades (SHARMA et al., 2013). As ICU ocorrem principalmente em cidades de elevado grau de urbanização, resultando no aumento das temperaturas médias das regiões urbanas em comparação com as zonas rurais e são provindas principalmente da ação antrópica (MORAIS et al., 2013).

As características biofísicas das superfícies irão determinar as trocas energéticas e os regimes térmicos do solo (GOMES et al., 2013). Sendo assim, as alterações na cobertura natural do solo e o incremento de massa edificadas, dentre outros fatores, irão alterar o balanço de energia no sistema superfície-atmosfera

resultando na modificação do clima urbano em escala local (SOUZA et al., 2016). Os processos radiativos e energéticos na superfície interferem significativamente na redistribuição de umidade, calor no solo e na atmosfera, que por sua vez afetam o tempo e o clima (BASTIAANSEN et al., 1998; ROERINK et al., 2000).

O monitoramento do clima urbano tem se tornado um desafio para os pesquisadores, devido à complexidade dos processos atmosféricos urbanos, tornando-se impossível medições adequadas de variáveis climáticas apenas por sensores *in situ* (MULLER et al., 2013). Então, nos últimos anos, o sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta viável devido a boa acurácia e baixo custo para análise de padrões espaciais de temperaturas em áreas urbanas (GALLO & XIAN, 2014). Vários estudos têm utilizado o sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para classificação da cobertura do solo e identificação de ICU (STREUTKER, 2003; XIAN, 2008; MA et al. 2010; CALLEJAS et al. 2011; LUCENA et al. 2012; SHARMA et al., 2013; SOUZA et al. 2016).

Ressalta-se que o estudo de ICU refere-se ao aquecimento da atmosfera urbana, que tem como principal parâmetro a temperatura e a umidade do ar, enquanto que as ICUS, medidas por sensoriamento remoto avaliam a temperatura da superfície (T_s ou LST) (VOOGT & OKE, 2003; CALLEJAS et al., 2011). A T_s é determinada pela radiação de ondas longas emitidas na faixa do infravermelho termal captada pelo sensor térmico (GUSSO et al., 2007). Sendo assim, a radiação é parâmetro físico que está relacionado a Lei de Planck, que determina que toda superfície a uma dada temperatura emite radiação a sua quarta potência e sua emissividade depende de sua composição e características físicas (LI et al., 2012).

O princípio básico de funcionamento dos sensores remotos é a captura da energia refletida ou emitida pela superfície em diferentes faixas espectrais (MENESES et al., 2012). Os satélites da família Landsat são comumente utilizadas para estudos ambientais, sendo o Landsat 5 o mais utilizado devido à grande série temporal de dados, a acessibilidade e gratuidade de suas imagens (DEMARCHI et al. 2011; BIUDES et al. 2014; GIANNINI et al. 2015; TARTARI et al. 2015).

O Landsat 5 é constituído por 7 bandas das quais as três primeiras são do visível, a quarta do infravermelho próximo, a quinta e a sétima do infravermelho, sendo a sexta a banda termal (SHARMA et al. 2013). O satélite tem uma resolução

espacial de 30 m, com exceção da banda 6 (banda termal) com 120 m e cada banda espectral fornece uma resposta (assinatura espectral) dos objetos sobre a superfície terrestre (TABELA 1).

TABELA 1 – Composição das bandas do satélite Landsat 5 TM e suas aplicações

Banda	Detalhe espectral; Comprimento de onda (μm)	Resolução espacial (m)	Aplicações
TM1	Azul (0,45–0,52)	30	Apresenta grande penetração em corpos de água, permitindo estudos batimétricos.
TM2	Verde (0,52–0,6)	30	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão. Boa penetração em corpos de água.
TM3	Vermelho (0,63–0,69)	30	Apresenta sensibilidade a vegetação permitindo contraste nos diversos usos do solo. Permite a visualização da mata galeria e cursos de rios. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana.
TM4	Infravermelho próximo (0,76–0,9)	30	Mapeamento de redes de drenagem e delineamento de corpos d'água.
TM5	Infravermelho médio (1,55–1,75)	30	Por meio da umidade das plantas, permite a observação do estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico.
TM6	Infravermelho termal (10,40–12,5)	120	Observa os contrastes térmicos, detectando propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
TM7	Infravermelho distante (2,08–2,35)	30	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno.

FONTE: Adaptado de INPE

São muitas as aplicações das imagens fornecidas pelo Landsat, que vão desde o acompanhamento de usos do solo, monitoramento da vegetação, estimativas de balanço de radiação e energia até estudos da dinâmica da urbanização (LIU, 2007). As principais aplicações do sensoriamento remoto para o estudo de áreas urbanas estão na relação entre a estrutura espacial dos padrões térmicos e as características da superfície, o que pode ajudar posteriormente no planejamento urbano (CHEN et al., 2006; DELGADO et al. 2012).

Dessa forma, técnicas de sensoriamento remoto permitem monitorar em escala regional a interação da T_s e o meio ambiente, se embasando nas equivalências com vários parâmetros ambientais. Assim, muitos estudos têm sido feitos correlacionando T_s à cobertura vegetal (WENG et al., 2004; JULIEN & SOBRINO, 2009; SON et al., 2012; ORHAN et al. 2014), sendo que nos últimos anos, novos parâmetros biofísicos

têm sido inseridos para análise da T_s e sua relação com a cobertura do solo (CHEN et al 2006; UDDIN et al 2010; SHARMA et al. 2013).

Portanto, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para análises espaço-temporal das mudanças na cobertura do solo devido a perturbações naturais ou antrópicas são adequadas, diante complexidade dos meios urbanos. O sensoriamento remoto fornece conjuntos de dados espacialmente consistentes que cobrem grandes áreas com alto detalhe espacial e alta frequência temporal (HEROLD et al., 2003) a um menor custo (HU & WENG, 2009).

2.3.1 Estimativas de parâmetros biofísicos para análise do clima urbano

No intuito de compreender a complexa dinâmica do clima urbano e sua relação com os diferentes parâmetros biofísicos, muitos estudos têm sido realizados utilizando o sensoriamento remoto para o mapeamento espaço-temporal dos parâmetros biofísicos. O mapeamento espaço-temporal dos diferentes parâmetros biofísicos já foram realizados em muitos estudos para o monitoramento e identificação das possíveis alterações na cobertura do solo e a sua influência sob as diferenciações térmicas encontrada no meio urbano (OLIVEIRA et al., 2012).

A determinação de parâmetros biofísicos por técnicas e ferramentas avançadas de sensoriamento remoto, vem sendo aplicada em distintos ecossistemas e tem demonstrado boa acurácia na identificação de superfícies heterogêneas como as áreas urbanas (TEIXEIRA et al., 2009; LOPES et al., 2010). Nas últimas décadas têm sido propostos algoritmos para estimativa de parâmetros biofísicos levando-se em consideração a variabilidade espacial dos componentes espectrais e energéticos à superfície, que ocorrem na interface solo-vegetação-atmosfera (BEZERRA et al., 2014).

Neste contexto, em estudos mais recentes alguns parâmetros biofísicos como o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), índice de área construída por diferença normalizada (*Normalised Difference Built-up Index* - NDBI), índice de umidade por diferença normalizada (*Normalised Difference Water Index* - NDWI), índice de solo exposto por diferença normalizada (*Normalised Difference Bareness Index* - NDBaI) e o índice modificado do NDWI (*Modified Normalised Water Index* - MNDWI) foram estimados de forma

simples e eficaz utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto com imagens TM Landsat 5 (TABELA 2).

TABELA 2 – Descrição da utilização dos diferentes índices com referências

Índices	Aplicações	Referências
NDVI	Estudos de vegetação (cobertura vegetal fracionada, índice de área foliar, fenologia da planta, produtividade e densidade de clorofila), estimativa de cobertura vegetal, dossel, monitoramento de secas, estimativa de biomassa e urbanização como indicador de ICUS	Anyamba & Tucker (2005); Weiss et al. (2004); Zhou et al. (2004); Gallo et al. (1995); Carlson and Ripley (1997); Jong et al. (2011); Yuan and Bauer (2007); Li and Fox (2012).
NDBI	Utilizado para identificação de áreas construídas e estudos de ICUS	Zha et al. (2003); Zhang et al. (2009).
NDWI	Utilizado em estudos de vegetação para estimativa da quantidade de água na vegetação	Gao (1996); Gabor and Jombach (2009); Maki et al. (2004).
NDBaI	Utilizado na identificação de solo exposto com baixo teor de umidade	Chen et al. (2006)
MNDWI	Mapeamento de áreas cobertas por água e diminuição dos ruídos no demais índices	Xu (2006); Sharma et al. (2013)

FONTE: Adaptado de SHARMA et al., 2013

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Foi o primeiro índice de vegetação, desenvolvido e proposto por Rouse et al. (1974), onde seus valores variam de -1 a 1, para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 a 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero (ESTEVES et al., 2012; PONZONI et al., 2012).

O NDBI é um índice desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas, tendo como base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio (MOREIRA & AMORIM, 2016). Foi proposto por Zha et al., (2003) e seus valores variam de -1 a 1, onde para superfície sem construções os valores apresentam-se negativos.

O NDWI é também um importante índice nos estudos da cobertura vegetal, seus valores variam de -1 a 1 e diferentemente do NDVI que é sensível a clorofila da vegetação, o NDWI estima a quantidade de água líquida presente na vegetação (FERREIRA et al., 2012). É um índice avalia vigor da vegetação, alterações na biomassa e o estresse hídrico das plantas, onde áreas com vegetação seca apresentam

valores negativos e áreas com vegetação verde apresentam valores positivos (OLIVEIRA et al., 2010). O MNDWI foi proposto por Xu (2006) para melhorar a eficiência na identificação de corpos d'água e na diminuição de ruídos produzidos por áreas construídas, vegetadas e de solo exposto, e sua inserção foi proposta recentemente por Sharma et al., 2013.

O NDBaI foi criado também para melhoria no mapeamento da cobertura do solo, pois suas características espectrais são altamente consistentes para identificação de áreas sem vegetação (CHEN et al., 2006). Sendo assim, NDBaI tem sido incluso em muitos estudos de mapeamento urbano, em consequência do aumento dessas áreas, fruto da intensificação da urbanização (ASSYAKUR et al., 2012; PINHEIROS & LARANJEIRA, 2013; SHARMA et al., 2013).

As áreas de solo exposto são divididas em três grupos: o primário, que são aqueles solos sem nenhuma vegetação, distribuídos principalmente encostas de rios; o secundário, que são aqueles influenciados por fatores antropogênicos; e ainda o de pousio, relacionados a agricultura (ZHAO & CHEN, 2005). Diante disso, o NDBaI é utilizado, juntamente com outros índices, para diferenciar os tipos de solo em uma determinada área de estudo e analisar a sua correlação com a temperatura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Cuiabá - MT ($15^{\circ}35' S$ e $56^{\circ}06' W$), possui uma população estimada de 551.480 habitantes (IBGE, 2010), está localizado no Centro Geodésico da América do Sul, na região centro-oeste do país. O município possui uma área de 3.538,17 km² onde 254,57 km² corresponde a macrozona urbana (Lei n° 4.719/04) e 3.283,60 Km² à área rural (CUIABÁ, 2010). Os seguintes municípios fazem limite com Cuiabá - MT: Acorizal, Rosário Oeste, Chapada dos Guimarães, Santo Antônio de Leverger e Várzea Grande, que faz divisa urbana com Cuiabá (FIGURA 1).

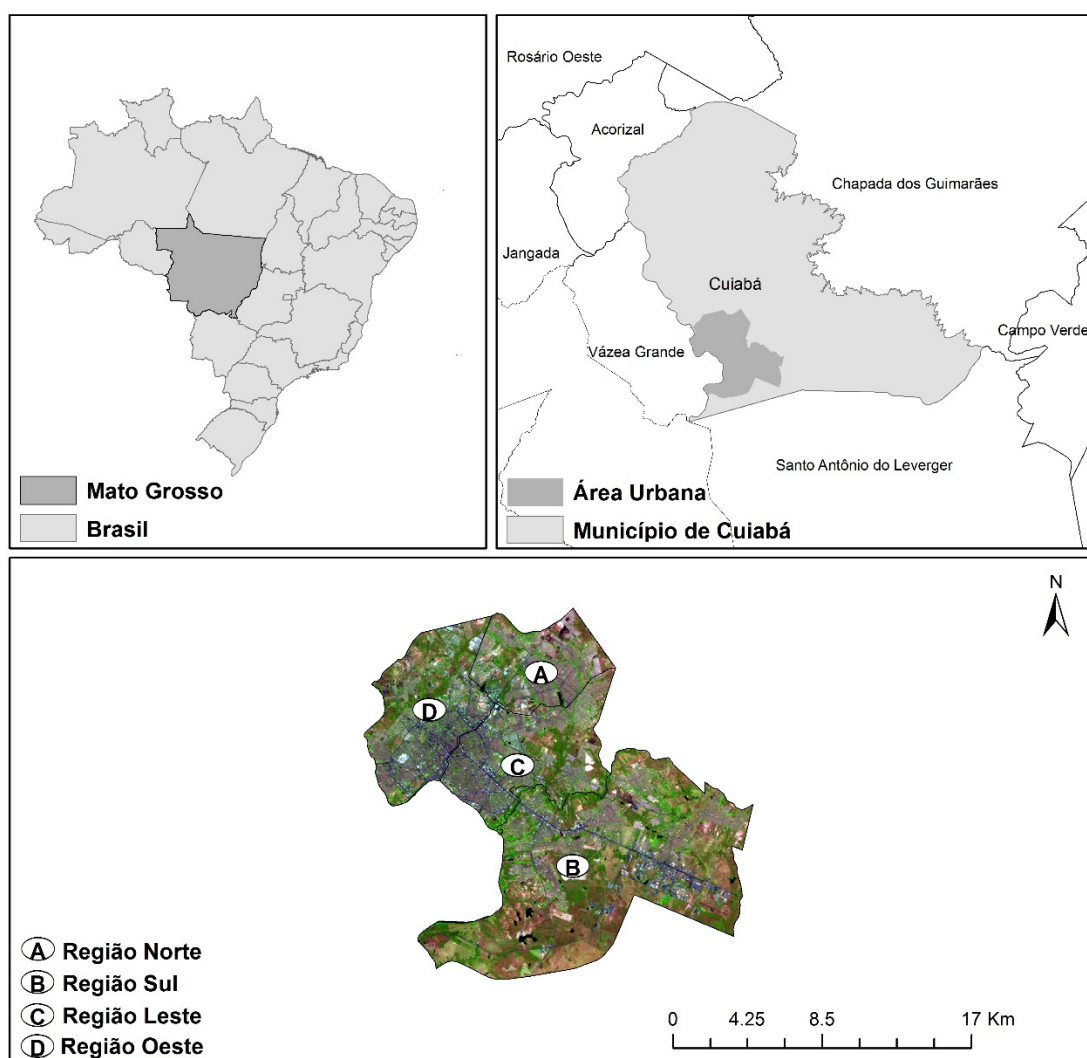


FIGURA 1 – Localização de Cuiabá, MT, Brasil e a distribuição das diferentes regiões no perímetro urbano de Cuiabá.

O clima regional é Aw de acordo com a classificação de Köppen, que representa um clima tropical semi-úmido, com duas estações bem definidas (BRASIL, 1997). A média anual de precipitação é de 1335 mm e seu regime apresenta dois períodos distintos, sendo uma estação seca de maio a setembro (outono-inverno) e uma estação chuvosa de outubro a abril (primavera-verão) (CHIARANDA et al., 2012). As temperaturas médias anuais oscilam entre 25 °C e 26 °C (BARROS & DE MUSIS, 2013).

A altitude média da cidade é de 200 metros, com um relevo suavemente ondulada, sendo drenado pelo Rio Cuiabá e seus afluentes, dos quais se destaca o Rio Coxipó e inúmeros córregos tais como: córrego da Prainha, Ribeirão da Ponte, Manoel Pinto, Moinho, Barbados, Gambá e São Gonçalo (MAITELLI, 2010). A cobertura vegetal é constituída por remanescentes de cerrado, cerradão, matas ciliares e por vegetação introduzida cultivadas em quintais e praças (GUARIM NETO, 1991).

A macrozona urbana de Cuiabá – MT é dividida em quatro grandes regiões administrativas: Região Norte, Região Sul, Região Leste e Região Oeste, criadas pela Lei 3.262 de 1994 (CUIABÁ, 2010). A região norte é composta por 10 bairros, cuja expansão teve início na década de 70, onde destaca-se o bairro Morada da Serra, mais conhecido como CPA, com 56.903 habitantes e uma densidade populacional de 7.580,14hab/km² (FIGURA 2). Atualmente, o bairro Morada da Serra apresenta-se como uma nova centralidade em relação a cidade (VASCONCELOS & ZAMPARONI, 2011).

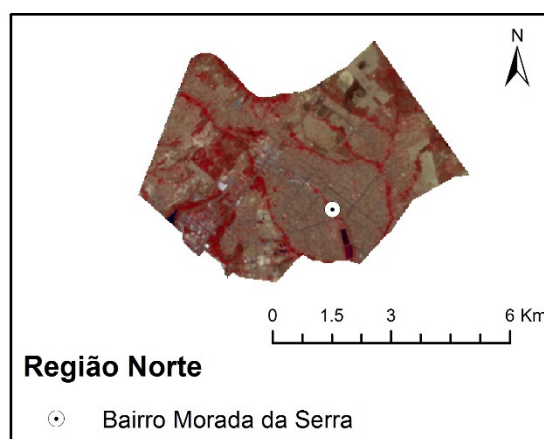


FIGURA 2 – Região Norte e seus abairramentos

A região sul, com maior área territorial, é composta por 34 bairros, destacando-

se o bairro Pedra 90 com 21.181 habitantes, sendo esse o mais populoso da região, a densidade populacional é de 3.194,72hab/km². O segundo bairro mais populoso é o Tijucal, com 15.124 habitantes e uma densidade populacional de 8.131,18hab/km² (FIGURA 3) (CUIABÁ, 2009).

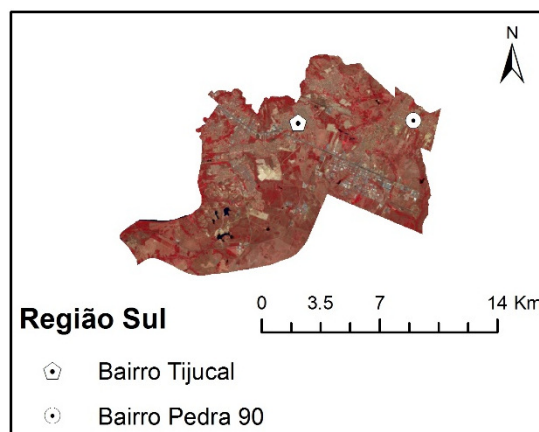


FIGURA 3 – Região Sul e seus abairramentos

A região leste apresenta a maior concentração populacional de Cuiabá – MT com um total de 155.295 habitantes. Nesta região estão localizados o centro histórico e os bairros mais antigos, por ser a região onde se iniciou o processo de ocupação da cidade. O bairro Dom Aquino destaca-se por concentrar a maior população da região com 11.708 habitantes e densidade de 6.614,69hab/km² (CUIABÁ, 2009) (FIGURA 4).

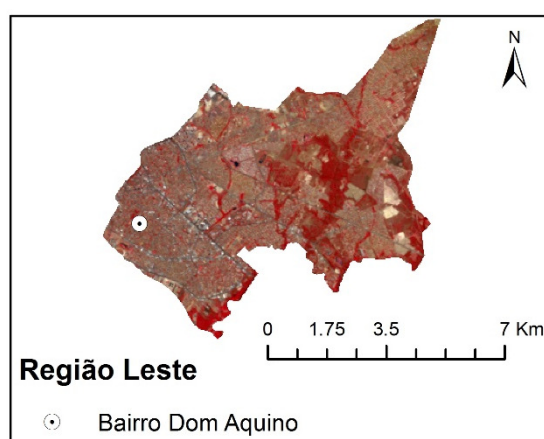


FIGURA 4 – Região Leste e seus abairramentos

A região oeste é composta por 24 bairros e um total de 42.219 habitantes, dentre os bairros existentes, destaca-se o bairro Alvorada por concentrar a maior população da região com 14.065 habitantes e uma densidade populacional de

6.036,48hab/km² (CUIABÁ, 2009) (FIGURA 5).

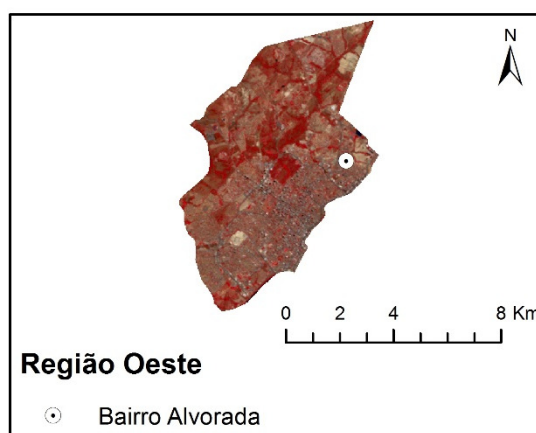


FIGURA 5 – Região Oeste e seus abairramentos

A região oeste apresenta-se com uma expansão populacional tardia em relação as demais regiões. Foi a partir da instalação do *Shopping Goiabeiras*, no final de 1980 e da implementação do Parque Mãe Bonifácia no final de 1990, que houve um expressivo aumento populacional nessa região, em consequência do aumento das especulações imobiliárias (ROMANCINI, 2011).

3.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Foram utilizadas imagens do satélite TM Landsat-5, órbita 226 e ponto 71 entre os anos de 1985 e 2011, com amostragem, aproximadamente, a cada dez anos de cenas do período de seca, datadas de: 03/07/1985, 28/07/1994, 07/07/2004 e 12/08/2011. As imagens reprojetadas para o sistema de coordenadas UTM (WGS 84, Zona 21S), com as refletâncias corrigidas aos efeitos da atmosfera foram baixadas pela plataforma ESPA [[http:// http://espa.cr.usgs.gov/](http://espa.cr.usgs.gov/)] do serviço geológico americano (USGS).

A plataforma ESPA disponibiliza as imagens com as refletâncias corrigidas aos efeitos atmosféricos para as bandas TM1 a TM 7, com exceção da banda TM6 que corresponde a banda termal. O processamento das imagens, desde a composição das bandas espectrais, recorte da área de estudo, estimativa dos parâmetros biofísicos, mapeamento e classificação da cobertura do solo foram realizados no software ERDAS imagine 2014. As cartas de classificação da cobertura do solo foram geradas aplicando as seguintes etapas descritas na Figura 6.

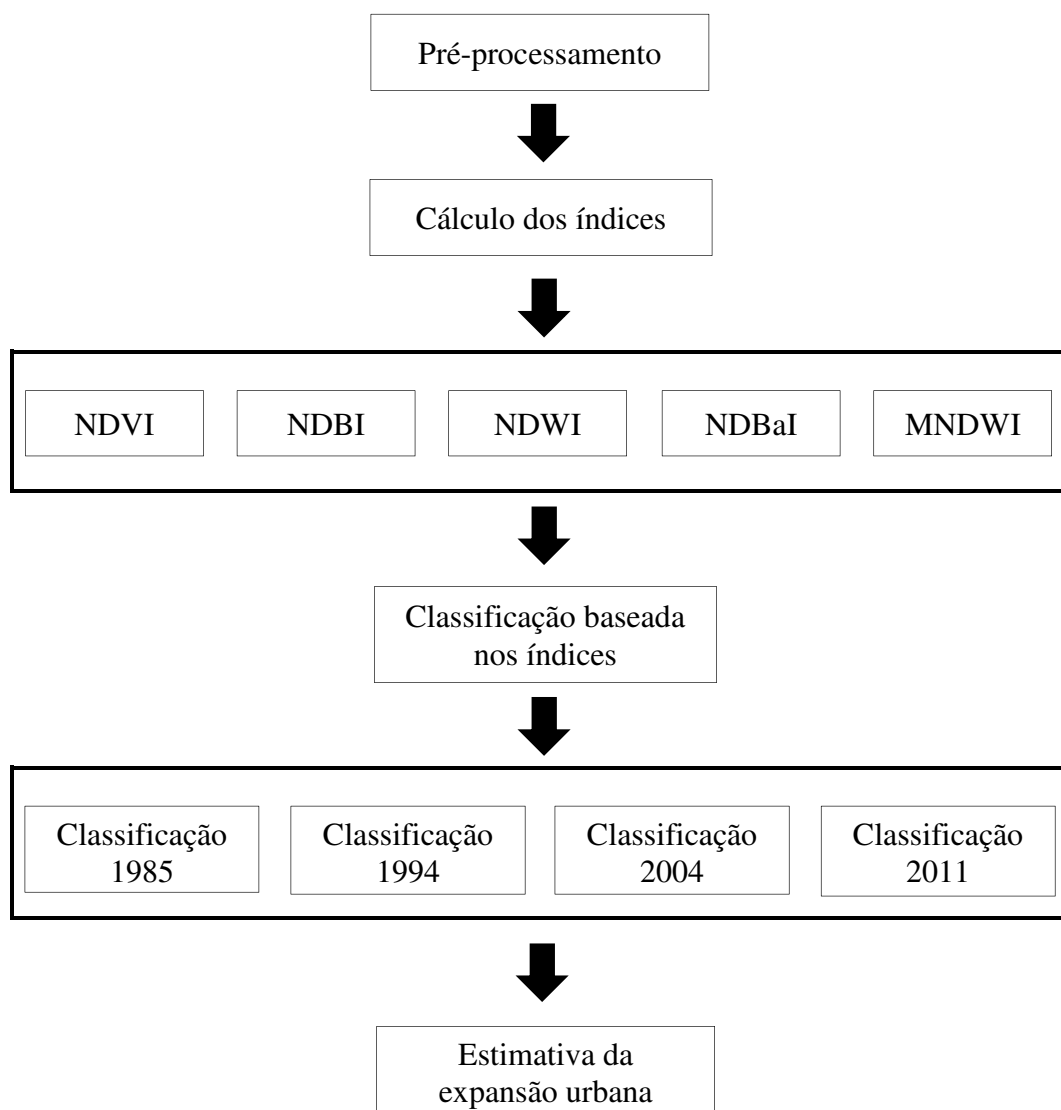


FIGURA 6 – Fluxograma ilustrando as etapas de processamento de classificação da cobertura do solo

Os diferentes parâmetros biofísicos foram utilizados para a classificação da cobertura do solo, onde a partir de suas alterações ao longo dos anos de estudo foi possível estimar a expansão urbana do município, assim como a diminuição de áreas vegetadas em função desse avanço. Os valores de temperatura da superfície foram extraídos a partir da banda termal e sua classificação foi realizado no software R, onde foram estabelecidos intervalos de classe para todas as temperaturas da superfície.

3.3 ESTIMATIVA DOS PARAMÊTROS BIOFÍSICOS

3.3.1 Índice de Vegetação

O índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é a razão das diferenças de refletividade para a banda do infravermelho próximo (ρ_4) e a banda do vermelho (ρ_3) por sua soma (ALLEN et al., 2002), utilizado por Li & Fox (2012).

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde ρ_4 e ρ_3 correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do sensor TM Landsat 5.

3.3.2 Índice de Área Construída

O índice de área construída por diferença normalizada (*Normalised Difference Built-up Index* - NDBI) é a razão das diferenças de refletividade para a banda do infravermelho médio (ρ_5) e a banda do infravermelho próximo (ρ_4) por sua soma (ZHA et. al., 2003).

$$NDBI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde ρ_5 e ρ_4 correspondem, respectivamente, as bandas 5 e 4 do sensor TM Landsat 5.

3.3.3 Índice de Umidade

O índice de umidade por diferença normalizada (*Normalised Difference Water Index* - NDWI) é a razão das diferenças de refletividade para a banda do infravermelho próximo (ρ_4) e a banda do infravermelho médio (ρ_5) por sua soma (MCFEETERS, 1996; GAO, 1996).

$$NDWI = \frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde ρ_4 e ρ_5 correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 5 do sensor TM Landsat 5.

3.3.4 Índice de Solo Exposto

O índice de solo exposto por diferença normalizada (*Normalised Difference Bareness Index* - NDBaI) é a razão das diferenças de refletividade para a banda do infravermelho médio (ρ_5) e a banda termal (ρ_6) por sua soma (CHEN et al., 2006).

$$\text{NDBaI} = \frac{\rho_5 - \rho_6}{\rho_5 + \rho_6} \quad \text{Eq. (4)}$$

onde ρ_5 e ρ_6 correspondem, respectivamente, as bandas 5 e 6 do sensor TM Landsat 5.

3.3.5 Modificação do Índice de umidade

O índice modificado do NDWI (*Modified Normalised Water Index* - MNDWI) substitui a banda do infravermelho (ρ_4) pela banda do azul (ρ_1) sendo obtido pela seguinte equação (SHARMA et al., 2013):

$$\text{MNDWI} = \frac{\rho_1 - \rho_5}{\rho_1 + \rho_5} \quad \text{Eq. (5)}$$

onde ρ_1 e ρ_5 correspondem, respectivamente, as bandas 1 e 5 do sensor TM Landsat 5.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA DO SOLO

Foram identificadas por interpretação visual das imagens cinco categorias para o mapeamento de cobertura do solo, sendo elas definidas como: (1) Áreas de vegetação densa (AVD), que inclui parques urbanos, mata ciliar e de galeria; (2) Áreas de vegetação arbustiva (AVA), que são formadas por uma composição mista de gramíneas e árvores de pequeno porte, sendo essas tipicamente encontradas em regiões de cerrado e em meio a áreas urbanas; (3) Áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto (AVR), que são as áreas de solo totalmente exposto ou com alguma presença de gramíneas; (4) Áreas construídas (ACO), sendo composta por características urbanas e estruturas impermeáveis como asfalto e concreto; e (5) Áreas de corpos d'água (ACA), sendo formadas por rios e armazenamento de água de pequeno porte.

Técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas para categorizar as imagens de satélite em diferentes coberturas do solo. Foi construído um algoritmo de

decisão hierárquico, baseando-se em inúmeros testes, para estabelecer regras e condições para o processamento e obtenção de uma classificação mais próxima ao real. Sendo assim, a partir dos parâmetros biofísicos foi estabelecida uma condicional para cada classe, onde cada condição foi inferida e processadas para geração das cartas de saída (TABELA 3). Devido à alta eficiência do MNDWI na identificação de pixels de água, este índice foi utilizado sozinho para extração de corpos d'água.

TABELA 3 – Classes, regras e condições para classificação de cobertura do solo para imagens de satélite de 1985 e 2011

Classes	Regra	Condições
AVD	Vegetação de maior porte e com maiores valores de NDVI	$NDVI \geq 0,5 \ \&\& \ 0,197 \geq NDWI \geq -0,0 \ \&\& \ -0,3 \geq NDBaI \geq -0,48 \ \&\& \ -0,07 \geq NDBI \geq -0,19$
AVA	Vegetação urbana e árvores de pequeno porte	$0,499 \geq NDVI \geq 0,45$
AVR	Solo totalmente desnudo e/ou com a presença de gramíneas	$0,449 \geq NDVI \geq 0,261 \ \&\& \ MNDWI \leq -0,5 \ \&\& \ NDBaI \geq -0,3$
ACO	Áreas construídas, composta por telhados, asfalto e concreto	$0,26 \geq NDVI \geq 0,08 \ \&\& \ 0,3 \geq NDBI \geq -0,25 \ \&\& \ -0,146 \geq NDBaI \geq -0,2 \ \&\& \ MNDWI \leq -0,05$
ACA	Rios e outros corpos d'água	$MNDWI \geq -0,27$

3.5 AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DA CLASSIFICAÇÃO

A representação da acurácia da classificação foi realizada a partir de uma matriz quadrada ou também chamada matriz de confusão de números definidos em linhas e colunas. A matriz de confusão é a forma de representação da qualidade obtida de uma classificação digital de imagem, sendo expressa por meio da correlação de informações dos dados de referência (compreendido como verdadeiro) com os dados classificados (FIELDING & BELL, 1997). A construção foi realizada a partir de uma tabulação cruzada simples, onde as colunas representaram os dados de referência (Real), enquanto as linhas representaram a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto (Estimados) (FOODY, 2002) (TABELA 4).

Os mapas de cobertura do solo gerados a partir dos diferentes parâmetros biofísicos foram utilizados para a construção da matriz de confusão. Assim, novas

cartas foram geradas para cada cobertura do solo, onde cada classe estimada foi substituída pelo valor 1 e para os pixels que estavam fora da classe em análise foi aplicado o valor 0.

TABELA 4 – Matriz de confusão.

Estimado	Real	
	1	0
1	a	b
0	c	d

Foram gerados 50 pontos aleatoriamente para cada classe devidamente distribuídos por toda área de estudo, obedecendo uma distância mínima de 120 m para cada ponto. A análise geral da precisão de cada ponto foi realizada visualmente com a sobreposição da imagem de satélite original e com o auxílio do Google Earth, onde foi possível verificar os acertos e os erros na aplicação do método. Diante disso, os valores de “a” foram definidos como os verdadeiros positivos, isto é, foram os pixels classificados com valor 1 que em comparação ao real são verdadeiramente 1.

Os valores de “b” foram definidos como os falsos positivos, onde os pixels classificados com valor 1 não são verdadeiramente 1 em comparação ao real. Os valores de “c” foram definidos como os falsos negativos, onde os pixels classificados com valor 0 equivale ao valor 1 em comparação com o real e os valores de “d” foram definidos como os verdadeiros negativos, isto é, foram os pixels classificados como 0 que são verdadeiramente 0 em comparação com o real.

TABELA 5 – Medidas de precisão da classificação de cobertura do solo derivada da matriz de confusão.

Estimativas	Cálculo
Taxa de classificação correta	$(a + d)/N$
Sensibilidade	$a/(a + c)$
Especificidade	$d/(b + d)$
Kappa	$[(a + d) - (((a + c)(a + b) + (b + d)(c + d))/N)]/[N - (((a + c)(a + b) + (b + d)(c + d))/N)]$

A partir da matriz de confusão pode ser calculado uma variedade de medidas

de erro e de precisão para a avaliação da confiabilidade da classificação estabelecida. Portanto, neste estudo, foram utilizadas as estimativas de taxa de classificação correta, sensibilidade, especificidade e o coeficiente Kappa (TABELA 5). Os resultados obtidos pelas estimativas variam de 0 a 1, sendo que quando mais próximo de 1, melhor a acurácia da classificação (TABELA 6).

TABELA 6 – Padrão de precisão de acurácia da acurácia da classificação.

Estimativa	Desempenho
<0	Péssimo
$0,0 < \text{Estimativa} \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < \text{Estimativa} \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < \text{Estimativa} \leq 0,6$	Bom
$0,6 < \text{Estimativa} \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < \text{Estimativa} \leq 1,0$	Excelente

O confidente Kappa é a estimativa mais utilizadas em análises de confiabilidade de classificações, pois o seu cálculo incorpora a informação mal classificados e não apenas o bem classificado como a taxa de classificação correta (CONGALTON, 1991; CONGALTON & GREEN, 1999).

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O intervalo de classe utilizado para a temperatura da superfície foi pela regra de Sturge (VIEIRA, 1991):

$$K = 1 + 3,322 \log(n) \quad \text{Eq. (6)}$$

onde K corresponde ao número das classes e n a quantidade de dados.

As estimativas do intervalo de confiança ($\pm 95\%$) foram calculadas por bootstrapping com reamostragem de 1000 iterações (EFROM & TIBSHIRANI, 1993). O intervalo de confiança é uma alternativa ao teste de hipóteses, porque ele fornece informações sobre a probabilidade do efeito do sinal (BERRY, 1986; GARDNER & ALTMAN, 1986; BRANDSTÄTTER & LINS, 1999). O intervalo de confiança foi calculado pelo pacote ‘boot’ do programa R (R CORE TEAM, 2015).

4. RESULTADOS

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO

As áreas de vegetação densa apresentaram uma redução de 65% de 1985 a 2011. Áreas de vegetação arbustiva apresentaram uma expansão de 141% de 1985 a 1994, no entanto, a partir de 1994 essas áreas apresentam uma redução acentuada, chegando a 132% em 2011 (TABELA 7). As áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto apresentaram uma redução de 152% de 1985 a 1994, sendo que a partir de 1994 essas áreas apresentaram uma expressiva expansão, chegando a 136% em 2011.

TABELA 7 – Dimensionamento das áreas de cobertura do solo

Classificação	Área em hectares			
	1985	1994	2004	2011
Vegetação densa	5276,52	5026,05	3357,00	3190,23
Vegetação arbustiva	4137,12	9998,1	8502,12	4304,34
Vegetação rasteira e/ou solo exposto	11220,57	4447,8	6989,31	10507,86
Áreas construídas	5092,56	6294,42	6828,03	7763,13
Corpo d'água	64,62	60,21	147,42	74,43

As áreas construídas apresentaram uma expansão de 52% de 1985 a 2011. No entanto, os anos que apresentaram maior expansão foi de 1985 a 1994, chegando a aproximadamente 24%. Nos anos de 1994 a 2004 as áreas construídas não apresentaram alterações relevantes em sua expansão, no entanto, de 2004 a 2011 as áreas urbanizadas apresentaram uma expansão de aproximadamente 14%. As áreas de corpos d'água não apresentaram expressivas alterações ao longo dos anos, sendo que de 1985 a 2011 essas áreas apresentaram uma expansão de apenas 15%.

As estimativas de erro e de precisão da classificação de cobertura do solo apresentaram valores diferenciados para cada classe analisada. As estimativas de taxa de classificação correta apresentaram valores altos para áreas de vegetação densa, arbustivas, rasteiras e/ou solo exposto e de corpos d'água, oscilando de 0,94 a 1 para o ano de 1985. Em áreas construídas no ano de 1985 a taxa de classificação correta apresentou valores mais baixos em relação as outras classes (TABELA 8).

TABELA 8 – Estimativa de acurácia da classificação da cobertura do solo em Cuiabá - MT.

Estimativas	1985					1994					2004					2011				
	Classificação					Classificação					Classificação					Classificação				
	AVD	AVA	AVR	ACO	ACA	AVD	AVA	AVR	ACO	ACA	AVD	AVA	AVR	ACO	ACA	AVD	AVA	AVR	ACO	ACA
Taxa de classificação correta	0,98	0,98	0,94	0,84	1	0,98	0,98	0,90	0,86	0,86	0,98	0,90	0,92	0,90	0,98	0,98	0,90	0,92	0,90	0,98
Sensibilidade	0,96	0,96	1	0,77	1	0,96	0,96	0,92	0,78	0,78	1	0,86	0,92	0,86	0,96	0,96	0,88	0,96	0,88	0,96
Especificidade	1	1	0,89	0,95	1	1	1	0,88	1	1	0,96	0,95	0,92	0,95	1	1	0,92	0,89	0,92	1
Kappa	0,96	0,96	0,88	0,68	1	0,96	0,96	0,80	0,72	0,72	0,96	0,80	0,84	0,80	0,96	0,96	0,80	0,84	0,80	0,96

As estimativas de sensibilidade que é função dos verdadeiros positivos, apresentaram valores altos para a classificação de 1985. Os níveis de sensibilidade oscilaram de 0,96 a 1 para áreas de vegetação densa, arbustivas, rasteiras e/ou solo exposto e corpos d'água. No entanto, a estimativa de sensibilidade demonstrou valor baixo para a classificação de áreas construídas em 1985.

As estimativas de especificidade que é em função dos verdadeiros negativos apresentaram valores que oscilaram de 0,89 a 1 para a classificação de 1985, sendo que os valores mais altos foram em áreas de vegetação densa, arbustivas, construídas e de corpos d'água. O coeficiente Kappa apresentou alta concordância para as classificações de áreas de vegetação densa, arbustiva, rasteira e/ou solo exposto e corpos d'água. Por outro lado, em áreas construídas o coeficiente Kappa apresentou baixa concordância para a classificação de 1985.

As estimativas de taxa de classificação correta apresentaram valores altos para áreas de vegetação densa, arbustivas, rasteiras e/ou solo exposto, oscilando de 0,90 a 0,98 para classificação de 1994, no entanto, em áreas construídas e de corpos d'água os valores foram mais menores em relação as outras áreas. As estimativas de sensibilidade apresentaram valores altos para áreas de vegetação densa, arbustivas, rasteiras e/ou solo exposto para a classificação de 1994, no entanto, para áreas construídas e de corpos d'água os valores foram menores em relação as outras classes.

A classificação de 1994 apresentou valores altos de especificidade para todas as classes. Por outro lado, o coeficiente Kappa apresentou maiores valores de concordância em áreas de vegetação densa, arbustivas, rasteiras e/ou solo exposto, oscilando de 0,80 a 0,96. Por outro lado, em áreas construídas e de corpos d'água o coeficiente Kappa apresentou valores de 0,72.

As estimativas de taxa de classificação correta apresentaram valores altos para todas as classes em 2004, oscilando de 0,90 a 0,98. As estimativas de sensibilidade apresentaram valores altos para áreas de vegetação densa, rasteira e/ou solo exposto e corpos d'água que oscilaram de 0,92 a 1, no entanto, áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto e áreas construídas apresentaram valores de 0,86. As estimativas de especificidade para 2004 apresentaram valores superiores ou igual a 0,92 para todas as classes, no entanto, o coeficiente Kappa apresentou valores que oscilaram de 0,80 a 0,96.

A classificação de 2011 apresentou valores altos de taxa de classificação correta, oscilando de 0,90 a 0,98. As estimativas de sensibilidade e especificidade também apresentaram valores altos para a classificação de 2011. O coeficiente Kappa oscilou de 0,80 a 0,96, no entanto, áreas de vegetação arbustiva e construídas apresentaram valores mais baixos em relação as outras classes (TABELA 8).

4.2 MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO E ANÁLISE TEMPORAL E ESPACIAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Os mapas de cobertura do solo apresentaram uma expressiva redução das áreas vegetadas de 1985 a 2011 (FIGURA 7). As áreas vegetação densa em 1985 encontravam-se predominantemente próximas aos rios e na região sul da cidade (FIGURA 7A), no entanto, observa-se uma redução acentuada de sua área a partir de 1994, sendo que em 2011 observa-se poucas áreas com essas características (FIGURA 7D).

Houve um aumento na expansão da vegetação arbustivas de 1985 a 1994 em todas as regiões da cidade, mas predominantemente na região sul (FIGURA 7B). Áreas anteriormente constituídas por vegetação rasteira e/ou solo exposto, foram substituídas por vegetação arbustiva de 1985 a 1994. No entanto, observa-se que a partir de 1994 houve uma redução das áreas de vegetação arbustiva e uma expansão de áreas com vegetação rasteira e/ou solo exposto (FIGURA 7D).

Os mapas de cobertura do solo apresentaram maior concentração de áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto na região sul da cidade em todos os anos de estudo. Por outro lado, a região oeste da cidade foi a que apresentou maior quantidade de áreas arborizadas em todos os anos de estudo. O mapeamento demonstrou maior adensamento urbano nas áreas centrais da cidade de 1985 a 2011.

Os mapas demonstraram que a expansão urbana de 1985 a 1994 ocorreu principalmente nos eixos leste - norte da cidade (FIGURA 7B), sendo que a partir de 1994 os mapas apresentaram uma expansão dessas áreas para regiões periféricas da cidade. Por outro lado, ainda se observa maior adensamento urbano em regiões centrais ao longo dos anos de estudo (FIGURA 7D).

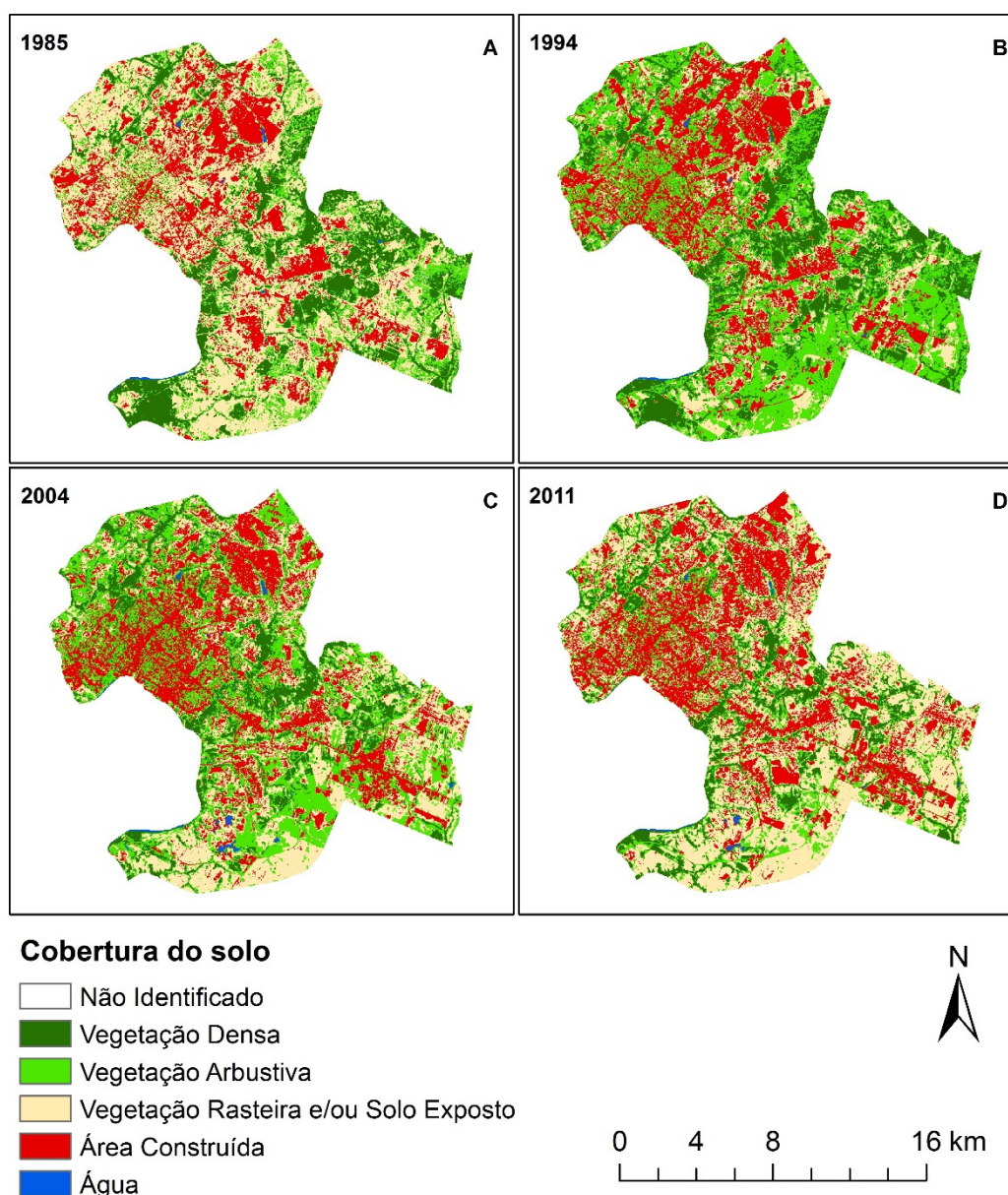


FIGURA 7 – Classificação da cobertura do solo de 1985 a 2011.

A região sul apresentou uma acentuada expansão de áreas construídas a partir de 1994. As áreas classificadas como corpos d'água foram as que sofreram menores alterações no decorrer dos anos de estudo. Os mapas apresentaram poucas áreas cobertas por água, sendo essas representadas por lagoas ou tanques, podendo ser visualizadas na região norte e sul da cidade.

As temperaturas da superfície se diferiram estatisticamente para todas as ocupações do solo de 1985 a 2011. As áreas construídas apresentaram os maiores valores de temperatura da superfície para todos os anos de estudo, seguido das áreas

de vegetação rasteira e/ou solo exposto. As áreas de corpo d'água apresentou os menores valores de temperatura da superfície, seguido das áreas de vegetação densa e arbustiva. As temperaturas da superfície em áreas vegetadas se diferiram estatisticamente em até 2°C de áreas construídas (TABELA 9).

TABELA 9 – Média da temperatura da superfície (intervalo de confiança de $\pm 95\%$) por cobertura do solo em Cuiabá em 1985.

Usos do solo	1985	2011
Vegetação densa	22,11 $\pm$ 0,02	30,33 $\pm$ 0,03
Vegetação arbustiva	22,75 $\pm$ 0,03	31,80 $\pm$ 0,02
Vegetação rasteira e/ou solo exposto	23,26 $\pm$ 0,02	32,83 $\pm$ 0,02
Área construída	24,25 $\pm$ 0,03	33,17 $\pm$ 0,01
Corpo d'água	21,74 $\pm$ 0,18	26,86 $\pm$ 0,21

As temperaturas da superfície foram estatisticamente menores em áreas de corpo d'água e áreas cobertas por vegetação para os anos de 1985 e 2011. Por outro lado, as áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto e áreas construídas apresentaram os maiores valores de temperatura da superfície.

TABELA 10 – Classes de temperatura da superfície por região em Cuiabá em 1985.

Temperaturas (°C)	Classe	1985			
		Região Norte	Região Sul	Região Leste	Região Oeste
15,592 - 16,285	1	0	4	0	41
16,285 - 16,977	2	0	24	11	78
16,977 - 17,670	3	0	202	85	497
17,670 - 18,362	4	0	137	59	549
18,362 - 19,055	5	0	316	473	2582
19,055 - 19,747	6	0	238	263	2094
19,747 - 20,440	7	13	1757	755	4049
20,440 - 21,132	8	23	3278	865	2976
21,132 - 21,825	9	132	15644	2396	9115
21,825 - 22,517	10	1995	33881	4658	12919
22,517 - 23,209	11	3049	20679	4542	5540
23,209 - 23,902	12	8136	28135	14705	7031
23,902 - 24,594	13	10941	25091	15022	3578
24,594 - 25,287	14	4847	7411	3081	316
25,287 - 25,979	15	4501	8474	2860	119
25,979 - 26,672	16	889	3418	1388	26
26,672 - 27,364	17	40	474	60	0
27,364 - 28,057	18	24	412	93	0
28,057 - 28,749	19	0	155	8	0
28,749 - 29,441	20	0	51	0	0

No ano de 1985 as regiões norte e leste apresentaram os maiores valores de temperaturas da superfície com a maior concentração dos pixels entre as temperaturas que vão de 23,2°C a 25,9°C em 1985. Por outro lado, a região norte apresentou maiores valores de temperaturas em relação a região leste, pois 82% do total de seus pixels concentram-se entre as temperaturas de 23,2 °C a 25,9 °C, sendo que na região leste a concentração dos pixels nessas classes não ultrapassa 69% (TABELA 10).

A região norte apresentou a maior concentração de pixel, com 31,63% do seu total, situados entre as temperaturas de 23,9°C e 24,6°C. A região sul apresentou a maior concentração de pixel, com 22,6% do seu total entre as temperaturas 21,8°C e 22,5°C. A região leste apresentou a maior concentração de pixel, com 29,3% do seu total situados entre as temperaturas de 23,9°C e 24,6°C. A região oeste apresentou a maior concentração de pixel, com 25% do seu total entre as temperatura de 21,8°C e 22,5°C. Sendo assim, a concentração dos pixels demonstraram que a região norte e leste obtiveram valores maiores em relação as outras regiões.

As temperaturas da superfície apresentaram uma amplitude térmica de 15,5°C a 29,4°C para o ano de 1985. As regiões leste e sul foram as que apresentaram a maior heterogeneidade nos valores de temperatura, sendo que a região sul apresentou a maior amplitude térmica em relação as demais regiões. A amplitude térmica nas regiões leste e sul é facilmente visualizada ao se observar a carta de temperatura da superfície, onde observa-se áreas com cores azuladas de baixas temperaturas e áreas com temperaturas muito elevadas com cores mais avermelhadas (FIGURA 8).

As regiões norte, sul e leste apresentaram em 1985, áreas com elevados valores de temperatura da superfície com uma variação de 26,7 °C a 29,4 °C, sendo que a região sul apresentou o maior número de pixels situados em temperaturas mais elevadas. O aumento expressivo das temperaturas da superfície em algumas áreas das regiões norte, sul e leste propiciou a formação de anomalias térmicas.

A região oeste da cidade apresentou os menores valores de temperatura da superfície em 1985 com a maior concentração dos pixels entre as temperaturas que vão de 15,5°C a 23,9°C. As áreas de menor temperatura na região oeste são facilmente visualizadas com a carta de temperatura da superfície de 1985, onde destaca-se a maior quantidade de áreas com cores azuladas (FIGURA 8).

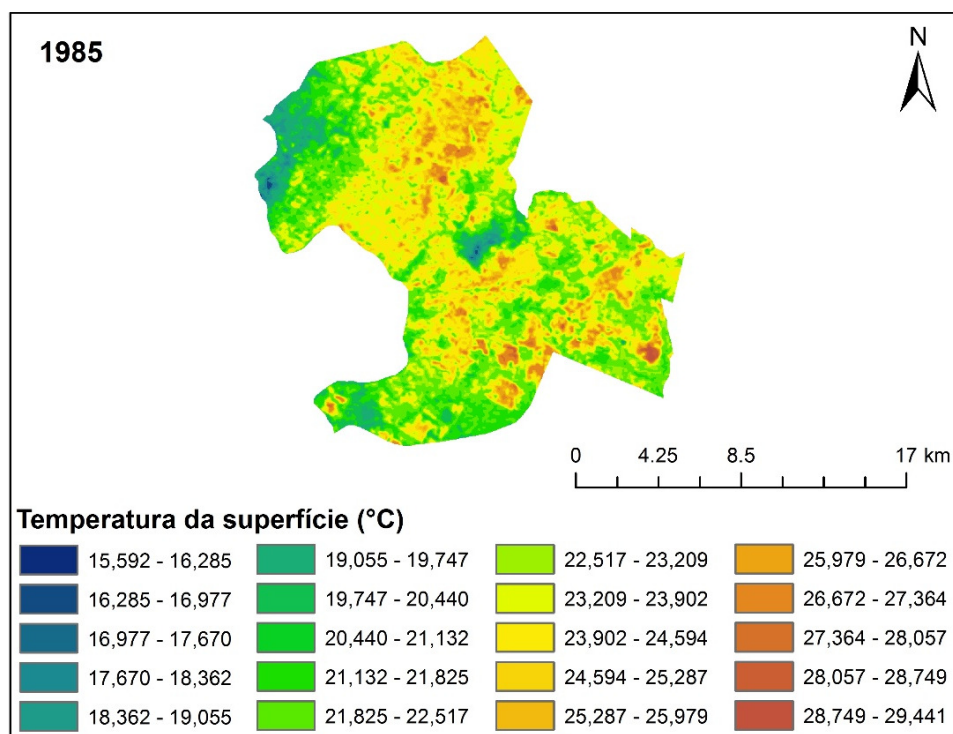


FIGURA 8 – Espacialização das classes de temperatura da superfície em Cuiabá - MT em 1985.

As regiões norte e sul apresentaram diferenças significativas de temperatura da superfície para todas as ocupações do solo em 1985. As regiões leste e oeste não apresentaram diferença significativa de temperatura da superfície para áreas de vegetação densa, arbustiva com áreas cobertas por água. Por outro lado, essas regiões apresentaram diferenças significativas de temperatura da superfície para áreas construídas e de vegetação rasteira e/ou solo exposto (TABELA 11).

As áreas construídas apresentaram estatisticamente os maiores valores de temperatura da superfície, seguido pelas áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto. As áreas cobertas por água e por vegetação densa apresentaram os menores valores de temperatura da superfície, seguido por áreas de vegetação arbustiva. As regiões norte, sul e leste apresentaram estatisticamente os maiores valores de temperatura da superfície, se diferenciando em até 2°C da região oeste.

A região oeste apresentou os menores valores de temperatura da superfície em relação às outras regiões. As regiões norte, sul e leste apresentaram os maiores valores estatisticamente de temperatura da superfície para áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto.

TABELA 11 – Média da temperatura da superfície (intervalo de confiança de $\pm 95\%$) por cobertura do solo por região em Cuiabá em 1985.

Cobertura do solo	1985			
	Região Norte	Região Sul	Região Leste	Região Oeste
Vegetação densa	23,03 $\pm$ 0,06	22,10 $\pm$ 0,03	22,36 $\pm$ 0,05	21,38 $\pm$ 0,07
Vegetação arbustiva	23,63 $\pm$ 0,05	22,83 $\pm$ 0,03	23,08 $\pm$ 0,06	21,59 $\pm$ 0,08
Vegetação rasteira e/ou solo exposto	24,06 $\pm$ 0,03	23,56 $\pm$ 0,02	23,79 $\pm$ 0,03	21,72 $\pm$ 0,04
Área construída	24,77 $\pm$ 0,03	24,91 $\pm$ 0,03	24,40 $\pm$ 0,04	22,40 $\pm$ 0,06
Corpo d'água	22,44 $\pm$ 0,31	21,38 $\pm$ 0,22	22,56 $\pm$ 0,96	21,29 $\pm$ 0,47

A distribuição espacial dos pixels ao longo do perímetro urbano em 2011 apresentou os maiores valores de temperatura da superfície situados nas regiões norte e leste da cidade, devido a maior concentração de pixels entre as temperaturas de 31,2°C e 34,5°C. A região norte apresentou 6% do seu total de pixels com temperaturas muito elevadas, oscilando de 34,5°C a 38,6°C (TABELA 12).

TABELA 12 – Classes de temperatura da superfície por região em Cuiabá em 2011.

2011					
Temperaturas (°C)	Classe	Região Norte	Região Sul	Região Leste	Região Oeste
23,017 - 23,839	1	0	2	0	0
23,839 - 24,660	2	0	41	0	0
24,660 - 25,481	3	9	127	0	5
25,481 - 26,302	4	15	277	1	14
26,302 - 27,123	5	40	417	49	42
27,123 - 27,944	6	41	379	164	24
27,944 - 28,766	7	155	4227	666	403
28,766 - 29,587	8	426	6689	1110	1626
29,587 - 30,408	9	1334	12149	2679	4026
30,408 - 31,229	10	1125	9072	1973	3015
31,229 - 32,050	11	6318	31585	10474	15034
32,050 - 32,871	12	7895	28227	15509	15430
32,871 - 33,692	13	8574	26095	12922	8037
33,692 - 34,514	14	6461	17340	4421	2532
34,514 - 35,335	15	1120	8268	984	981
35,335 - 36,156	16	525	3844	266	278
36,156 - 36,977	17	301	860	72	63
36,977 - 37,798	18	219	153	34	0
37,798 - 38,619	19	32	24	0	0
38,619 - 39,440	20	0	5	0	0

A região norte apresentou a maior concentração de pixel, com 25% do seu total entre as temperaturas de 32,8°C a 33,7°C. A região sul apresentou a maior concentração de pixel, com 21% do seu total entre 31,2°C a 32,0°C. A região leste apresentou a maior concentração de pixel, com 30% do seu total entre as temperaturas de 32,0°C a 32,8°C e a região oeste também apresentou 30% do seu total de pixel neste intervalo. As regiões leste e oeste apresentaram a maior concentração de pixel no mesmo intervalo, no entanto, diferentemente da região oeste, a região leste apresentou 25% do seu total entre as temperaturas de 32,8°C a 33,7°C. Sendo assim, as concentrações dos pixels demonstraram que as regiões norte e leste apresentaram os maiores valores de temperatura.

A região sul apresentou temperatura da superfície predominantemente entre 31,2°C e 34,5°C, no entanto, observa-se que 22% dos pixels estão localizados entre as temperaturas que vão de 23,0°C a 31,2 e 9% estão entre 34,5°C e 39,4°C. A variação de temperaturas da superfície na região sul identificada na distribuição de seus pixels demonstra a maior amplitude térmica da região. As oscilações das temperaturas da superfície na região sul, podem ser observadas ao analisar a carta de temperatura da superfície de 2011 (FIGURA 9).

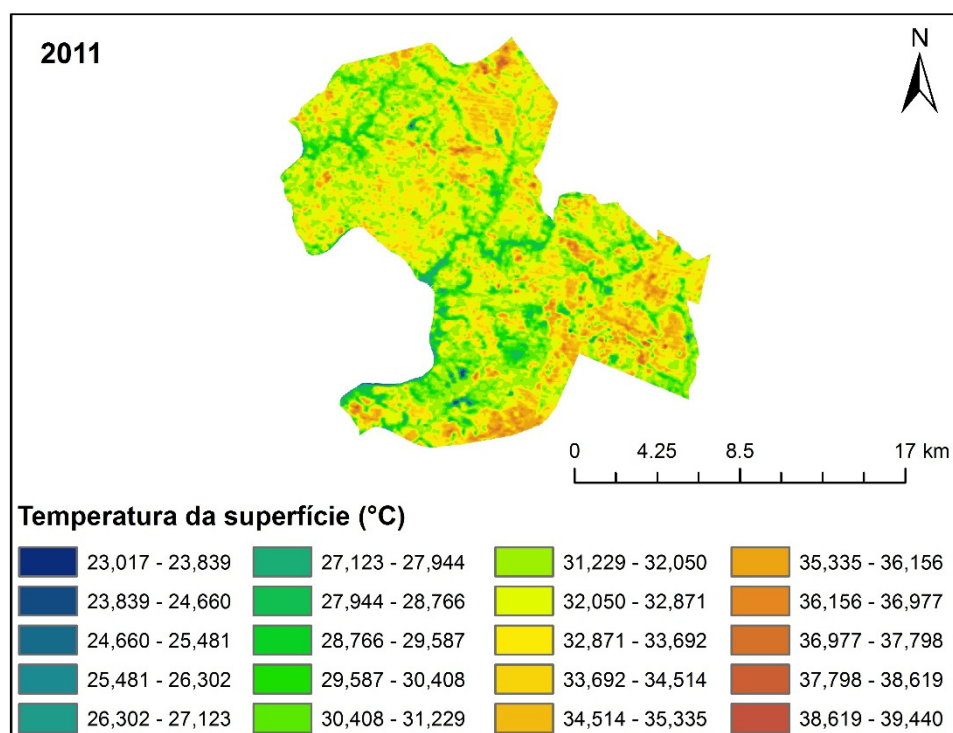


FIGURA 9 – Espacialização das classes de temperatura da superfície em Cuiabá – MT em 2011.

As temperaturas da superfície se diferiu estatisticamente para a maior parte das ocupações do solo para todas as regiões em 2011, apenas áreas cobertas por água e vegetação densa na região leste, não apresentaram diferença significativa (TABELA 13).

TABELA 13 – Média da temperatura da superfície (intervalo de confiança de $\pm 95\%$) por cobertura do solo por região em Cuiabá em 2011.

Cobertura do solo	2011			
	Região Norte	Região Sul	Região Leste	Região Oeste
Vegetação densa	30,98 $\pm$ 0,09	30,20 $\pm$ 0,03	30,43 $\pm$ 0,07	30,49 $\pm$ 0,06
Vegetação arbustiva	32,10 $\pm$ 0,08	31,62 $\pm$ 0,04	32,18 $\pm$ 0,05	31,81 $\pm$ 0,05
Vegetação rasteira e/ou solo exposto	32,81 $\pm$ 0,04	32,93 $\pm$ 0,02	32,73 $\pm$ 0,04	32,47 $\pm$ 0,03
Área construída	33,61 $\pm$ 0,04	33,28 $\pm$ 0,03	33,06 $\pm$ 0,03	32,72 $\pm$ 0,03
Corpo d'água	27,73 $\pm$ 0,44	26,52 $\pm$ 0,24	29,14 $\pm$ 1,33	27,50 $\pm$ 0,91

As regiões norte, sul e leste apresentaram estatisticamente os maiores valores de temperatura da superfície, sendo que a região oeste apresentou valores inferiores as máximas dessas regiões. A região norte apresentou os maiores valores de temperatura da superfície para áreas construídas e a região oeste o menor valor. A região sul apresentou os maiores valores de temperaturas da superfície para áreas de vegetação rasteira e/ou solo exposto em comparação as demais regiões.

5. DISCUSSÃO

5.1 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA COBERTURA DO SOLO

As estimativas de áreas vegetadas apresentaram uma redução de 1985 a 2011, podendo ser explicada pela intensificação do crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas. A ausência de planejamento urbano resultou em ocupações ilegais de áreas periféricas, aglomerações centrais e invasões de áreas remanescentes (ROMANCINI, 2011; BARROS et al., 2013; SILVA & ROMERO, 2013). O mapeamento de cobertura do solo demonstrou a substituição de grande parte de áreas vegetadas por áreas construídas ou por áreas de vegetação rasteira e/ solo exposto, corroborando com o mapeamento realizado por Callejas et al. (2011) para os municípios de Cuiabá - MT e Várzea Grande - MT.

Houve uma expressiva expansão de áreas arbustivas no ano 1994, essa expansão pode estar associada aos elevados valores pluviométricos do ano, que possibilitou o acréscimo de biomassa (ROSA et al., 2007). Por outro lado, observa-se uma acentuada expansão de áreas com vegetação rasteira e/ ou solo exposto de 1985 a 2011, localizadas principalmente na região sul da cidade. Essa expansão pode ser explicada pelo desmatamento indiscriminado de cerrado, ignorando-se a legislação ambiental ratificada no Plano Diretor Urbano (CALLEJAS et al., 2011).

A expansão de áreas de vegetação de rasteira e/ou solo exposto a partir de 1994 pode ser justificado pelos estudos de Romancini (2011) onde foram identificados o aumento de loteamentos urbanos. A partir de 1994 esses loteamentos começaram a surgir sem que houvesse regras urbanísticas que orientasse a produção desse tipo de assentamento, que tem privilegiado a privatização dos espaços públicos e a expansão da cidade fragmentada,

A maior expansão de áreas construídas de 1985 a 1994 pode ser justificada pelo aumento populacional compreendido entre os anos de 1961 a 1990, resultando na maior ocupação urbana do município, atingindo diferente pontos da capital nos anos de estudo (FILHO & AMARAL, 2014). O aumento populacional ocorrido a partir da década de 80 foi corroborado pela instalação de grandes empresas agropecuárias no Estado, tornando Cuiabá - MT um polo de apoio a ocupação da Amazônia meridional brasileira (CUIABÁ, 2010).

Destaca-se ainda que, a maior expansão de áreas construídas em 1985 foi apresentada nas regiões leste e norte da cidade corroborando com estudos já realizados em Cuiabá - MT por Romancini (2011), Vasconcelos & Zamparoni (2011) e Jesuz & Santos (2015). A região leste destaca-se por ser a região pioneira no povoamento do município de Cuiabá - MT, no entanto, esta região não suportava o acelerado aumento do contingente populacional o que corroborou para a expansão da cidade para outras regiões.

O crescimento urbano apresentado para outras regiões a partir da década de 80, foi impulsionado pela criação de novos atrativos que propiciaram o surgimento de novos eixos de crescimento urbano (CUIABÁ, 2010). O surgimento de novos eixos de crescimento urbano foi observado no mapeamento de cobertura do solo, onde a partir de 1994 observa-se a expansão de áreas construídas no sentido norte, sul e oeste da cidade.

As décadas de 1980, 1990 e 2000 são caracterizadas pela intensificação da verticalização na cidade e pela construção de novos condomínios residenciais, principalmente com a chegada de construtoras que atuam e atuavam no âmbito nacional. A expansão visualizada a partir da década de 80 para as outras 3 regiões da cidade pode ser justificada na região oeste pela criação do *Shopping* no final do ano de 1980 e pela implementação no final de 1990 do Parque Mãe Bonifácia, que promoveu a valorização do seu entorno, levando a intensificação das especulações imobiliárias e consequentemente provendo a expansão de áreas construídas nessa região (ROMANCINI, 2011).

A expansão de áreas construídas visualizada no mapa de cobertura do solo em direção ao Bairro Coxipó da Ponte e região sul da cidade, pode ser justificada pela valorização da Avenida Fernando Corrêa com a implantação da Universidade Federal de Mato Grosso em 1970, e do Distrito Industrial, em 1977. A partir de 1990 outro ponto de destaque para expansão dos eixos de crescimento foi a construção do *Shopping*, fomentando a valorização ao seu entorno, propiciando a expansão de áreas construídas para essas regiões (ROMANCINI, 2011). A expansão de áreas construídas na região norte a partir da década de 80, pode ser justificada pela construção do Centro Político e Administrativo (CPA) e dos conjuntos habitacionais, como o bairro Morada

da Serra, construídos pela Cohab-MT (VILANOVA & MAITELLI, 2009; VASCONCELOS & ZAMPARORI, 2011).

O setor imobiliário tem desenvolvido suas atividades de forma intensa nos últimos anos, promovendo mudanças na dinâmica da produção e reprodução do espaço e na configuração espacial da cidade. O setor imobiliário expande-se especialmente em torno das áreas consideradas “nobres”, próximas a *Shoppings Center* e próximas ao seu entorno, mas também tem se expandido para áreas afastadas, promovendo a expansão do perímetro urbano ao longo dos anos (SILVA, 2016).

A expansão de áreas cobertas por água de 1985 a 2011 pode ser justificada pelo aumento de tanques de criação de peixe, estimulados pelos incentivos fiscais para a criação, industrialização e comércio de pescado provenientes da aquicultura, pela isenção da cobrança do imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). A maior expansão ocorrida de 1985 a 2004 pode ser justificada pela falta de fiscalização e legislação para essas atividades, que após a criação da Lei Estadual no 8.464/06, pode justificar a diminuição dessas áreas a partir de 2004 (DIÁRIO OFICIAL, 2006; BARROS et al., 2011).

As estimativas de exatidão da classificação de cobertura do solo de 1985 a 2011 apresentaram bons resultados em comparação aos encontrados por Sharma et al. (2013), Callejas et al. (2011) e Celinski & Zimback (2010). As estimativas apresentaram melhor desempenho para áreas vegetadas, rasteiras e/ou solo exposto e para áreas de corpo d’água, no entanto, para o ano de 1994 a classificação de áreas de corpo d’água apresentou valores menores. A diminuição da exatidão na classificação de áreas de corpo d’água para o ano de 1994 pode ser explicada pela intensificação de chuvas naquele ano (ROSA et al., 2007), causando uma possível alteração nos valores numéricos dos pixels.

As estimativas de exatidão na classificação de cobertura do solo apresentaram os menores valores para áreas construídas. As diminuições na exatidão da classificação de uso do solo podem estar relacionadas aos critérios de separação das diferentes classes, na semelhança espectral existentes entre os alvos, em pequenas variações nos valores numéricos dos pixels, na existência de sobreposição entre classes e devido à baixa resolução dos sensores (AMARAL et al., 2009; SILVA et al., 2014).

5.2 RELAÇÃO ENTRE A COBERTURA DO SOLO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

A diferença média entre a temperatura da superfície em áreas vegetadas em comparação as antropizadas passam de 10 °C entre 1985 e 2011. Áreas vegetadas apresentaram temperaturas da superfície mais estáveis enquanto áreas densamente antropizadas apresentam picos de temperaturas extremas. As diferenciações térmicas de áreas vegetadas e áreas antropizadas indicam a importância da vegetação na regulação da temperatura da superfície e a magnitude do impacto causado pela substituição de áreas nativas por áreas antropizadas.

O acelerado processo de urbanização verificado nas cidades contribui para as alterações no microclima local. A temperatura da superfície é um dos fatores-chave no controle dos processos biológicos, físicos e químicos do meio ambiente (SHARMA et al., 2013). A urbanização provoca alterações no ambiente térmico em consequência das propriedades físicas dos tecidos urbanos e incentiva o desenvolvimento de anomalias térmicas (PU et al., 2006).

A relação entre o aumento de áreas antropizadas com o aumento das temperaturas, são corroboradas por vários estudos realizados em Cuiabá - MT e proximidades como os de Callejas et al. (2011), Vasconcelos & Zamparoni (2011), Santos (2013) e Rocha et al. (2015). As estimativas da temperatura da superfície e sua distribuição espacial por sensoriamento remoto são temas já realizados por outros estudos em áreas urbanas, como em Manaus (SANTOS & LIMA, 2013), Londrina (GAMARRA et al., 2014), Mossoró (NASCIMENTO et al., 2014), Penápolis (MOREIRA & AMORIM, 2016), entre outros.

Os menores valores de temperatura da superfície nos anos de estudo são identificados em áreas vegetadas e de corpo d'água corroborando com os estudos de Callejas et al., 2013. Sendo assim, observa-se que áreas vegetadas são elementos fundamentais para a paisagem urbana, pois atua na melhoria da qualidade do ar e na diminuição da temperatura (OLIVEIRA et al., 2013).

Áreas vegetadas apresentam menores valores de temperatura, pois diminuem o reflexo do calor provocado pelo aquecimento do asfalto em consequência do sombreamento causado pelas folhas, pela absorção da radiação solar e aumento dos processos de evapotranspiração (DURANTE & NOGUEIRA, 2013; OLIVEIRA et al.,

2013). Áreas de corpo d'água apresentam menores valores de temperatura da superfície em consequência da sua alta capacidade térmica, que faz com que essas áreas se aqueçam mais lentamente que as demais.

Os resultados de temperatura da superfície para o ano de 1985 apresentou uma temperatura máxima de 29,4° C, sendo corroborados pelos resultados de temperaturas encontrados por Maitelli (1994). Os maiores valores de temperatura da superfície no ano de 1985 foram encontrados na região nordeste da cidade e os menores valores na região oeste, mostrando-se semelhante aos encontrados por Callejas et al. (2011). Os maiores valores de temperatura da superfície na região nordeste apresentam diferenças superiores a 8°C, indicando o surgimento de anomalias térmicas, sendo essas explicadas pela intensificação do processo de urbanização nessas áreas.

Por outro lado, também foram identificados pontos com elevadas temperatura da superfície na região sul, ao contrário da região nordeste, essas áreas são constituídas primordialmente por vegetação rasteira e/ou solo exposto. Os elevados valores de temperaturas em vegetação rasteira e/ou solo exposto pode ser justificado pela incidência direta da radiação solar na superfície. Em áreas urbanizadas a presença de “sombreamento” proporcionado pelos edifícios irá influencia significativamente a penetração de radiação solar e, por sua vez, a disponibilidade de energia para aquecimento (GIANNAROS & MELAS, 2012). Os maiores valores de temperatura da superfície em vegetação rasteira e/ou solo exposto são corroborados pelo estudo de Chen et al. (2006), Callejas et al. (2011), Lucena et al. (2012) e Souza et al. (2016).

As maiores amplitudes térmicas nos anos de estudo foram apresentadas na região sul podendo ser justificada por maior heterogeneidade das superfícies, representando uma mistura de componentes naturais, solo exposto e áreas construídas em diferentes densidade e arranjos (ZHOU et al., 2014). A heterogeneidade da superfície urbana cria diversos climas com diferentes temperaturas (OKE et al., 1999). Houve uma expansão das áreas de anomalias térmicas na região sul, essa expansão pode ser justificada pelo aumento de loteamentos urbanos a partir de 1994 (ROMANCINI, 2011).

Os resultados de temperatura da superfície para o ano de 2011 apresentou uma temperatura máxima de 39,4 °C assemelhando-se aos valores obtidos por Sousa & Ferreira (2012) para a cidade de Goiânia - GO em 2011. Os maiores valores de

temperatura da superfície no ano de 2011 também foram encontrados nas regiões norte e leste da cidade que são corroboradas pelos resultados encontrados por Santos et al., (2013), onde foram identificados pontos com maiores valores de temperatura nas regiões leste e norte. As áreas com anomalias identificadas na região leste e norte da cidade, diferentemente da região sul, foram formadas pelo maior adensamento urbanos apresentado nessas áreas, corroborando com Cuiabá (2009) e Vasconcelos & Zamparoni (2011).

Portanto, os maiores valores de temperaturas em áreas construídas e de vegetação rasteira e/ou solo exposto pode ser justificado pela incidência de radiação solar diretamente no solo, contribuindo para o maior aquecimento da superfície, por condução, através do fluxo de calor sensível (SILVA et al., 2011). Esse fenômeno é ocasionado por diversos fatores, sendo eles: (i) menor quantidade de massa vegetal no tecido urbano; (ii) alta impermeabilização do solo, maximizando o escoamento da água para galerias fluviais, diminuindo a quantidade de água retida no solo; (iii) elevada presença de materiais com grande potencial de retenção calorífico, tais como, asfalto, concreto e telhados (MAITELLI 2010). A quantidade de radiação que será absorvida e refletida irá depender de seus fatores termo-físicos, expresso pelo albedo, emissividade, rugosidade da superfície, condutibilidade, difusividade e efusividade térmicas da superfície (CALLEJAS et al. 2015).

6. CONCLUSÕES

A temperatura da superfície apresentou variação temporal significativa, resultantes do acelerado crescimento urbano presenciado nos anos.

A substituição de áreas vegetadas por áreas antropizadas afetou negativamente o balanço térmico da superfície. Foram identificadas predominantemente anomalias térmicas nas regiões norte e leste da cidade, causadas pelo aumento de áreas construídas e tecidos urbanos. Por outro lado, também foram identificadas anomalias térmicas na região sul, que em contrapartida, resultam de áreas cobertas por vegetação rasteira e/ou solo exposto.

Diante disso, os mapeamentos da cobertura do solo juntamente com estimativas de temperatura da superfície por sensoriamento remoto são adequados para avaliação espaço-temporal dos diferentes parâmetros biofísicos. Os parâmetros discutidos nesse estudo são de primordial importância para avaliação dos impactos causados pela urbanização. A partir desses estudos é possível obter informações que possibilitem a melhoria do planejamento urbano e possíveis estratégias de melhoria da qualidade socioambiental.

Portanto, esse estudo foi adequado para avaliar os efeitos da cobertura do solo no microclima urbano, apontando as regiões com ocorrência de ilhas de calor e frescor superficial, contribuindo com a tomada de decisão quanto ao uso e ocupação de espaços urbanos.

7. RECOMENDAÇÕES

Para compreender melhor a dinâmica urbana em futuras pesquisas é fundamental:

- Identificar anomalias termohigrométricas por sensoriamento remoto em Cuiabá, MT.;
- Analisar as estimativas dos balanços de radiação e energia em Cuiabá – MT;
- Avaliar as mudanças de cobertura do solo por regiões em Cuiabá – MT.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, E. M., ANDRADE, S. C. P., MORAIS, H. F., DINIZ, J. M. T., SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, v. 1, p. 1-11, 2014.

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**, Idaho implementation – Advanced training and user's manual, version 1.0, 2002.

AMARAL, M.V.F.; SOUZA, A.L.; SOARES, V.P.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; MARTINS, S.V.; FERNANDES FILHO, E.I.; LANA, J.M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v.33 n.3, p.575-582, 2009.

ANJOS, M. W. B., GOIS, V. D., CRUZ, R., LIMA, L. P. Climatologia urbana e espaços verdes: contributo ao planeamento das cidades. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 233-245, 2012.

ANYAMBA, A., TUCKER, C. J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. **Journal of Arid Environments**, v. 63, p. 596–614, 2005.

ARAUJO, T. L., SOUZA, E. P. Influência da Superfície no Balanço de Energia e na Intensidade da Precipitação Urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 204-217, 2010.

ARMANI, G., PEREIRA, C. L., CHRISTOFOLETTI, S. R. Padrões de cobertura e uso da terra e sua influência na temperatura do ar em Rio Claro – SP. **Revista do instituto geológico**, v. 36, p. 1-19, 2015.

ASSYAKUR, R., ADNYANA, W. S., ARTHANA, W., NUARSA, W. Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for Mapping Built-Up and Bare Land in an Urban Area. **Remote Sensing**, v. 4, p. 2957-2970, 2012.

ATWATER, M. A. The Radiation Budget for Polluted Layers of the Urban Environment. **Journal Of Applied Meteorology**. v. 10, n.2, p. 205-214. 1971.

BARROS, M. P., MUSIS, C. R. Uma abordagem sistêmica sobre as implicações entre a fragmentação das áreas verdes e o ambiente térmico do espaço urbano. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, p. 1999-2017, 2013.

BASTIAANSEN, W.G.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A. A. M. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p 198-212, 1998.

BERNARDES, J. A. Dimensões da ação e novas territorialidades no cerrado brasileiro: pistas para uma análise teórica. **Revista Nera**, n. 10, p. 1-10, 2007.

BERRY, G. Statistical significance and confidence intervals. **The Medical Journal of Australia**, v. 144, p. 618-619, 1986.

BIUDES, M. S. SOUZA, M.C. MACHADO, N. G. DANELICHEN, V. H. M. VOURLITIS, G. L. NOGUEIRA, J. S. Modelling gross primary production of a tropical semi-deciduous forest in the southern Amazon Basin. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 4, 1540–1562, 2014.

BONAN, G. Ecological Climatology—Concepts and Applications. **Cambridge University Press**. New York, 2002.

BRANDÃO, A. M. de P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. In: Clima Urbano, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro e Francisco Mendonça – Organizadores. São Paulo: Contexto, 2003.

BRANDSTÄTTER, E.; LINZ, J. K. U. Confidence Intervals as an Alternative to Significance Testing. **Methods of Psychological Research Online**, 4 (2), p. 33-46, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1997. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai: diagnóstico dos meios físicos e biótico**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Programa Nacional do Meio Ambiente, 2, 334p.

BUYANTUYEV, A., WU, J. Urbanization diversifies land surface phenology in arid environments: interactions among vegetation, climatic variation, and land use pattern in the Phoenix metropolitan region, USA. **Landscape and Urban Planning**, 105, 149–159, 2012.

CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C., OLIVEIRA, A. S., NOGUEIRA, M. C. J. A. Uso do solo e temperatura superficial em área urbana, **Mercator**, v. 10, n. 23, p. 207-223, 2011.

CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C., ROSSETI, K. A. C. Pavimentação Asfáltica: Contribuição no Aquecimento de Áreas Urbanas. **Engineering and Science**, v. 1, p. 64-72, 2015.

CALLEJAS, I. J. A., OLIVEIRA, A. S. O., SANTOS, F. M. M., DURANTE, L. C., NOGUEIRA, M. C. J. A., ZEILLHOFER, P. Relationship between land use/cover and surface temperatures in the urban agglomeration of Cuiabá-Várzea Grande, Central Brazil, **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 5, 53569: 1-15, 2011.

CARLSON, T. N., RIPLEY, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, p. 241–252, 1997.

CELINSKI, T. M., ZIMBACK, C. R. L. Discriminação de classes de cobertura vegetal utilizando técnicas de classificação digital de imagens de sensoriamento remoto. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 1, p. 152-170, 2010.

CHEN, X.-L., ZHAO, H. M., LI, P.X., YIN, Z.Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, 104, 133–146, 2006.

CHIARANDA, R., RIZZI, N. E., COLPINI, C., SOARES, T. S., SILVA, V. S. M. Análise da precipitação e da vazão da bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 117-122, 2012.

CHRISTEN, A., VOGT, R. Energy and radiation balance of a central european city. **International journal of climatology**. v. 24, p. 1395-1421, 2004.

CONGALTON, R.G., K. GREEN. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, **Lewis Publishers**, Boca Raton, Florida, 137 p., 1999.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / **Evolução Urbana de Cuiabá**. IPDU-Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá, 2010.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / **Perfil Socioeconômico de Cuiabá – Volume IV**. IPDU-Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá, 2009.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano: **Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá**. Cuiabá, MT. 147 p. 2007.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano: **Composição dos bairros de Cuiabá**. Cuiabá, MT. 62 p. 2010.

DELGADO, R.C.; RODRIGUES, R.A.; FARIA, A.L.L.; PESSÔA, C.S.; DAHER, M. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 25, p. 69-80, 2012.

DEMARCHI, J. C., PIROLI, E. L., ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens landsat-5. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, p. 234-271, 2011.

DURANTE, L., NOGUEIRA, M. C. J. A. Efeitos do sombreamento arbóreo nas condições termohigrométricas e lumínicas de ambientes internos e externos de edificações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, p. 1980-1998, 2013.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. **An introduction to the bootstrap**. Chapman & Hall, New York. p. 443, 1993.

ESTEVEES, B.S.; SOUSA, E.F; LOUSADA, L.L.; MENDONÇA, J. C; MUNIZ, R.A, SILVA, R.M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.4, p.663-670, 2012.

ESTOURNEL, C. VEHL, R. GUEDALIA, FONTAN, J. DRUILHET, A. Observations and modeling of downward radiative fluxes (solar and infrared) in urban/rural areas. **Journal Of Climate and Applied Meteorology**. v. 22, n. 1, p.134-142, 1983.

FERREIRA, J. M. S., FERREIRA, H. S., SILVA, H. A., SANTOS, A. M., GALVINCIO, J. D. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 904-922, 2012.

FIELDING, A. H., BELL, J. F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental Conservation**, v. 24, p. 38-49, 1997.

FILHO, F. C. M. M., AMARAL, D. B. Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT. **Sociedade e Natureza**, v. 26, p. 159-170, 2014.
FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 185-201, 2002.

FREY, C. M. RIGO, G. PARLOW, E. Urban radiation balance of two coastal cities in a hot and dry environment. **International Journal of Remote Sensing**. v. 28, n. 12, p. 2695–2712, 2007.

FREY, C. M. RIGO, G. PARLOW, E. Urban radiation balance of two coastal cities in a hot and dry environment. **International Journal of Remote Sensing**. v. 28, n. 12, p. 2695–2712, 2007.

GABOR, P., JOMBACH, S. The relationship between the biological activity and the land surface temperature in Budapest. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 7, p. 241–251, 2009.

GALLO, K. P., TARPLEY, J. D., MCNAB, A. L., KARL, T. R. Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. **Atmospheric Research**, v. 37, p.37–43, 1995.

GALLO, K., XIAN, G. Application of spatially gridded temperature and land cover data sets for urban heat island analysis. **Urban Climate**, v.8, p. 1-10, 2014.

GAMARRA, N. L. R., CORREA, M. P. C., TARGINO, A. C. L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo temperatura de superfície em Londrina –

PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.4, p. 537-550, 2014.

GAO, B. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, 58, 257–266, 1996.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução: 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010, 248p.

GARDNER, M. J.; ALTMAN, D. G. Confidence intervals rather than P values: estimation rather than hypothesis testing. **British Medical Journal**, v. 292, p. 746-750, 1986.

GAUTAM, V. K., GAURAV P. K., MURUGAN, P., ANNADURAI, M. Assessment of Surface Water Dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification and K-T Transformation. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 739-746, 2015.

GIANNAROS, T. M., MELAS, D. Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 103-120, 2012.

GIANNINI, M. B., BELFIORE, O. R., PARENTE, C., SANTAMARIA, R. Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. **Journal of engineering science and technology review**, p. 83-90, 2015.

GOMES, L.C.F.; SANTOS, C.A.C.; ALMEIDA, H.A. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos-PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 06, n. 01 p. 015-028, 2013.

GRIMM N. B., FAETH S. H., GOLUBIEWSKI N.E. Global change and the ecology of cities. **Science**, 756–60, 2008.

GRIMMOND, C. S. B. OKE, T. R. Heat Storage in Urban Areas: Local-Scale Observations and Evaluation of a Simple Model. **Journal Of Applied Meteorology**. V. 38, p. 922-940, 1999.

GRIMMOND, C. S. B. OKE, T. R. Nocturnal Observation Of Incoming Longwave Radiation And Urban Heat Island. **Journal Of Applied Meteorology**. v. 34. n. 1-2, 1995.

GUARIM NETO, G. PLANTAS DO BRASIL – Angiospermas do estado de Mato Grosso – Pantanal. **Acta botanica brasílica**, v. 5, 1991.

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

HEROLD, M. MENZ, G. CLARKE K.C. Remote Sensing and urban growth models. demands and perspectives. **Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of Urban Areas**. Regensburg, Germany, p. 22-23, 2001.

HU, X. WENG, Q. Estimating impervious surfaces from medium spatial resolution imagery using the self-organizing map and multi-layer perceptron neurais networks, **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 2089-2102, 2009.

HUANG, S. L., YEH, C. T., & CHANG, L. F. The transition to an urbanizing world and the demand for natural resources. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, p. 136–143, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Censo 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510340>. Acesso em: 15/12/2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Senso 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510340>. Acesso em: 12/02/2016.

JESUZ, C. R., SANTOS, A. J. C. Problemática socioambiental urbana da nascente do córrego vassoral em Cuiabá-MT. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 2, n.1, p. 93-113, 2015.

JONG, R., BRUIN, S., WIT, A., SCHAEPMAN, M., DENT, D. L. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 692–702, 2011.

JULIEN, Y., & SOBRINO, J. A. The Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method: an analysis of global vegetation from NDVI and LST parameters. **Remote Sensing of Environment**, 113, 329–334, 2009.

KAREIVA, P., WATTS, S., MCDONALD, R., BOUCHER, T. Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare. **Science** ,1866–69, 2007.

LI, Z., & FOX, J. M. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data. **Applied Geography**, n. 32, p. 420–432, 2012.

Li, Z., & Fox, J. M. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data. **Applied Geography**, v. 32, p. 420–432, 2012.

LIMA, G. N.; AMORIM, M. C. C. T. Análise das características noturnas dos elementos climáticos em um episódio de verão no município de Teodoro Sampaio - SP. **Revista Geografia em Atos**, n. 10, v.1, p. 01-25. 2010.

LIU, W.T.H. Aplicações de sensoriamento remoto. Campo Grande - MS, Ed. **UNIDERP**, 908 p, 2007.

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

LUCENA, A. J., FILHO, O. C. R., FRANÇA, J. R. A., PERES, L. F., XAVIER, L. N. R. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. **Springer**, p.497-511, 2012.

MA, Y., KUANG, Y., & HUANG, N. Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 12, 110–118, 2010.

MACHADO, N. G. FRIEDLANDER, V. A. SANCHES, L. BIUDES, M.S. Temperatura e umidade relativa do ar na estação seca em diferentes usos do solo no campus Cuiabá - Bela Vista do IFMT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 9, n. 9, p. 2018-2025, 2013.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MAITELLI, G.T. Balanço de Energia Estimado Para a Cidade de Cuiabá: Uma Abordagem de Balanço de Energia pelo Método de Bowen. **Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v.4, n.1, p. 2010.

MAKI, M., ISHIAHRA, M., TAMURA, M. Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 441–450, 2004.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MENESES, P.R; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012.

MONTEIRO, C.A. DE F. **Teoria e Clima Urbano**. In: Série Teses e Monografias, n.25 – Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 186, 1976.

MORAIS, H.F.; ALBUQUERQUE, E.M.; ANDRADE, S.C.P.; SANTOS, C.A.C. Identificação do fenômeno de ilhas de calor urbano em Belo Horizonte - MG. In: **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2013. Acesso em: 01/02/2016.

MOREIRA, E. B. M., NOBREGA, R. S., SILVA, B. B. Influência da expansão urbana em recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM Landsat 5. **Revista de Geografia**, v. 30, n. 2, 2013.

MOREIRA, J. L.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Penápolis-SP através da temperatura da superfície e de índices radiométricos. **Geosaberes**, v. 3, p. 190-202, 2016.

MULLER, C. L. CHAPMAN, L. GRIMMOND, C.S.B. YOUNG, D. T. CAI, X. Review Sensors and the city: a review of urban meteorological networks. **International journal of climatology**, v. 33 n. 7 p. 1585–1600, 2013.

MWAKAPUJA, F., LIWA, E., KASHAIGILI, J. Usage of Indices for Extraction of Built-up Areas and Vegetation Features from Landsat TM Image: A Case of Dar Es Salaam and Kisarawe Peri-Urban Areas, Tanzania. **International Journal of Agriculture and Forestry**, v. 3, p. 273-283, 2013.

NASCIMENTO, F. C. A., ARAUJO, F. R. C. D., SANTOS, C. A. C., SANTOS, ELDER, G. S. Análise das mudanças ambientais provocadas pela expansão urbana na cidade de Mossoró-RN, através do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 636-642, 2014.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 445, p.1-24, 1982.

OKE, T.R. SPRONKEN-SMITH, R. A. JÁUREGUI, E. GRIMMOND, C. S. B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24-25 p. 3919-3930, 1999.

OLIVEIRA, A. S., SANCHES, L., MUSIS, C. R., NOGUEIRA, M. C. J. A. Benefícios da arborização em praças urbanas - o caso de Cuiabá/MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.9, p. 1900-1915, 2013.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J.S.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; NÓBREGA, R. S.; PIMENTEL, R. M. M. Detecção espaço-temporal de estresse hídrico na vegetação do semi-árido no nordeste do Brasil utilizando NDVI e NDWI - Estudo de caso Serra da Capivara e Serra do Congo - PI. In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, 2010.

ORHAN, O., EKERCIN, S., DADASER-CELIK, F. Use of Landsat Land Surface Temperature and Vegetation Indices for Monitoring Drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. **The Scientific World Journal**, p.1-11, 2014.

PAULA, I. F. M., FERREIRA, C. C. M. Análise dos espaços de uso público da cidade de Juiz de Fora (MG) com base no conceito de áreas verdes. **Caminhos de geografia**, v. 15, n. 49, 2014.

PENG, S., PIAO, S., CIAIS, P., FRIEDLINGSTIEN, P., OTTLE, C., BREON, F. M., NAN, H., ZHOU, L., MYNEMI, R. B. Surface Urban Heat Island Across. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 696-703, 2012.

PINHEIRO, C., LARANJEIRA, M. Analise do ambiente térmico e das condições de ventilação para a definição das funções climáticas na área urbana de Guimarães, **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, p. 249-272, 2013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, YOSIO, E.; **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PU, R., GONG, P., MICHISHITA, R., SASAGAWA, T. Assessment of multi-resolution and multi-sensor data for urban surface temperature retrieval. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, p. 211–225, 2006.

RIZWAN, A.M., LEUNG, D.Y.C., & LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. **Journal of Environment Science**. 20(1), 120-128, 2008.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. UR: <http://www.R-project.org/>. 2015.

ROCHA, A. F.; PAULA, D. C. J.; SOUZA, N. S.; SILVA, P. C. B. S.; MIRANDA, S. A.; ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, N. G.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, J. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Variações microclimáticas de áreas urbanas em biomas no estado de Mato Grosso: Cuiabá e Sinop. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.4, p.246-257, dez/2015.

ROERINK, G. J. SU, Z. MENENTI, M. S-Sebi: A Simple Remote Sensing Algorithm To Estimate The Surface Energy Balance. **Physics And Chemistry Of The Earth**, v. 25, n. 2, p. 147-157, 2000.

ROMANCINI, S. R. Novas formas de habitat urbano em Cuiabá (MT): os condomínios fechados. **ACTA Geográfica**, Ed. Esp, p. 135-149, 2011.

ROSA, D. B., SOUSA, R. R., NASCIMENTO, L. A., TOLEDO, L. G., TOPANOTTI, D. Q., NASCIMENTO, J. A. A distribuição espacial das chuvas na porção centro oeste do estado de Mato Grosso-Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, v. 1, n. 5, p. 127-152, 2007.

SANTOS, C. A. C., LIMA, J. R. A. Análise dos efeitos da expansão urbana de Manaus-AM sobre parâmetros ambientais através de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n.01, p. 001-014, 2013.

SANTOS, F. M. M. Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: ocupação do solo e suas influências. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 12, n. 12, p. 2749-2763, 2013.

SANTOS, F. M. M. S., MUSIS, C. R., NOGUEIRA.J.S., PINTO JUNIOR, O. B., NOGUEIRA, M. C. J. A. Análise da variação higrótérmica ocasionada pela influência da ocupação do solo na cidade de Cuiabá-MT, **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, p. 1932-1945, 2013.

SANTOS, M. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. **Hucitec**, São Paulo, 1996.

SHARMA, R., GHOSH, A., JOSHI, P. K. Spatio-temporal footprints of urbanisation in Surat, the Diamond City of India (1990–2009). **Springer Science**, v.185, p. 3313-3325, 2013.

SHEPHERD, J. M. PIERCE, H. NEGRI, A. Rainfall Modification by Major Urban Areas: Observations from Spaceborne Rain Radar on the TRMM Satellite. **Journal of Applied meteorology**, v.41, p. 689-701, 2002.

SILVA, A. J., NASCIMENTO, C. R.C., SILVA, L. F., LUCAS, T. P.B. Análise topoclimática em unidade de conservação urbana a partir da temperatura e umidade relativa do ar. **e-Scientia**, v. 4, p. 21-30, 2011.

SILVA, G. J. A. ROMERO, M. A. B. Cidades sustentáveis: uma nova condição urbana a partir de estudos aplicados a Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, Brasil. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 3, p. 253-266, 2013.

SILVA, R. D. B., DELGADO, R. C., LYRA, G. B., OLIVEIRA JUNIOR, J. F., RODRIGUES, R. A., CARDOZO, A. C., BRASILEIRO, F. G. Dinâmica espacial e temporal do uso da terra no município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 8, n. 1, 2014.

SILVA, V. A produção da exclusividade: empreendimentos de alto padrão - Cuiabá-MT. **Geosaberes**, v. 6, número especial (3), p. 427 – 438, 2016.

SON, N. T., CHEN, C. F., CHEN, C. R., CHANG, L. Y., MINH, V. Q. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 18, p. 417–427, 2012.

SOUSA, S. B; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002-2011). **Confins** (Paris), v. 15, p. 1-21, 2012.

SOUZA, J. F., SILVA, R. M., SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: estudo de caso João Pessoa – PB. **Ambiente Construído**, v. 16, p. 21-37, 2016.

STREUTKER, D.R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. **International Journal of Remote Sensing** 23, 2595 – 2608, 2002.

SUCKLING, W. Nocturnal Observations of Incoming Longwave Radiation and the Urban Heat Island for a Small Prairie City. **Archives For Meteorology, Geophysics, And Bioclimatology**, v. 29, n. 1-2, p. 23-27, 1981.

TARTARI, R., MACHADO, N. G., ANJOS, M. R., CUNHA, J. M., MUSIS, C. R., NOGUEIRA, J. S., BIUDES, M. S. Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, p. 993-953, 2015.

UDDIN, S., AL GHADBAN, A. N., AL DOUSARI, A., AL MURAD, M., AL SHAMROUKH, D. A remote sensing classification for landcover changes and micro-climate in Kuwait. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 5, p. 367–377, 2010.

VASCONCELOS, L. C. S. & ZAMPARONI, C. A. G. P. Os efeitos da urbanização no microclima no bairro morada da serra, Cuiabá – MT. **Revista Raega**, v. 23, p. 573-599, 2011.

VIEIRA, S. **Introdução à Bioestatística**. 2.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

VILANOVA, S. R. F., MAITELLI, G. T. A importância da conservação de áreas verdes remanescentes no centro político administrativo de Cuiabá-MT. **Uniciências**, v. 13, p. 55-71, 2009.

VITOUSEK, P. M., P. Ehrlich, A. Ehrlich, and P. M. Matson, Human domination of Earth's ecosystems, **Science**, 277, p. 494 – 499, 1997.

VOOGT, J. A. OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n.3. p. 370–384, 2003.

WEISS, J. L., GUTZLER, D. S., COONROD, J. E. A., DAHM, C. N. Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 249–272, 2004.

WENG, Q., LU, D., & SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, p. 467–483, 2004.

XIAN, G. Satellite remotely-sensed land surface parameters and their climatic effects for three metropolitan regions. **Advances in space research**, v. 41, p. 1861-1869, 2008.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, Vol. 27, p. 3025–3033, 2006.

YUAN, F., BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, p. 375–386, 2007.

ZHA, Y., GAO, J., NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 583–594, 2003.

ZHANG, X., M. A. FRIEDL, C. B. SCHAAF, A. H. STRAHLER, Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data, **Global Change Biology**, v. 10, p. 1133-1145, 2004.

ZHANG, Y., ODEH, I. O. A., HAN, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a subpixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, p. 256–264, 2009.

ZHAO, H. M., CHEN, X. L. Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM+. **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, v.3, 1666–1668, 2005.

ZHOU, L., DICKINSON, R. E., TIAN, Y., FANG, J., LI, Q., KAUFMANN, R. K., TUCKER, C. J., MYNENI, R. B. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. **PNAS Geophysics**, v.101, p. 9540-9544, 2004.