

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Geiciane Coelho de Souza

**AVALIAÇÃO ESPAÇO – TEMPORAL DA TEMPERATURA E VEGETAÇÃO
URBANA DO MUNICÍPIO DE BETIM UTILIZANDO DADOS LANDSAT**

São João Evangelista

2022

**AVALIAÇÃO ESPAÇO – TEMPORAL DA TEMPERATURA E VEGETAÇÃO
URBANA DO MUNICÍPIO DE BETIM UTILIZANDO DADOS LANDSAT**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Bruno Oliveira Lafetá

São João Evangelista

2022

S729a Souza, Geiciane Coelho de.

Avaliação espaço - temporal da temperatura e vegetação urbana no município de Betim utilizando dados LANDSAT/ Geiciane Coelho de Souza.– 2022.

23f.: il.

Orientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.

Coorientador: Me. Adéliton da Fonseca de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2022.

1. Landsat. 2. NDVI. 3. Vegetação Urbana. 4. Sensoriamento remoto. 5. Ilhas de calor urbana I. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. II. Título.

621.3678

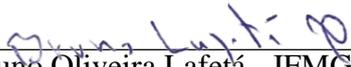
Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907

Geiciane Coelho de Souza

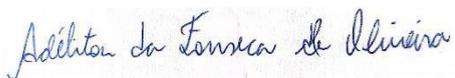
AVALIAÇÃO ESPAÇO – TEMPORAL DA TEMPERATURA E VEGETAÇÃO
URBANA DO MUNICÍPIO DE BETIM UTILIZANDO DADOS LANDSAT

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 15 / 07 / 2022 pela banca examinadora:



Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá - IFMG (Orientador)



Prof. Me. Adéliton da Fonseca de Oliveira



Prof. Me. Ícaro Tourino Alves



Prof. Me. Philippe Guilherme Corcino Souza

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar dados de sensoriamento remoto para mapear e classificar a vegetação urbana, e analisar os benefícios por ela proporcionados, sobretudo em relação à variação da temperatura e o efeito das ilhas de calor urbanas. A pesquisa foi conduzida no município de Betim, inserida na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, utilizando imagens de satélite dos sensores TM, OLI, e TIRS e mapas de uso e ocupação do solo na plataforma MapBiomas. Foram avaliados os anos 1990, 1999, 2008, 2014 e 2019 sendo as imagens referentes ao mês de agosto. No período de 1990 a 2019 trabalhou-se o período seco, devido à baixa cobertura de nuvens sobre as imagens. Após a aquisição das imagens, foram elaborados mapas de localização do município, uso e ocupação do solo, mapas de Temperatura Superficial Terrestre (LST) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). As imagens de satélite da série Landsat 5 e 8 foram selecionadas no site do EarthExplorer - USGS. Logo após a análise da LST e do NDVI, foram gerados 105 pontos de controle aleatórios em toda a área de estudo (com exceção do corpo hídrico) para realizar uma análise de correlação de Pearson para verificar a correlação entre as variáveis de temperatura e do índice de vegetação. A análise e a elaboração do gráfico da correlação foram realizadas no *software* Microsoft Excel. Os resultados permitiram inferir que as informações adquiridas do NDVI e da temperatura de superfície, mostraram-se de grande valia. Sendo uma ótima ferramenta para a tomada de decisão no monitoramento da qualidade ambiental e do planejamento urbano da região.

Palavras-chaves: Ilhas de calor urbana. Landsat. NDVI. Temperatura. Vegetação urbana. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate remote sensing data to map and classify urban vegetation, and analyze the benefits provided by it, especially in relation to the spatiotemporal variation of temperature and the effect on urban heat islands. The research was conducted in the municipality of Betim, inserted in the Metropolitan Mesoregion of Belo Horizonte, using satellite images of the TM, OLI, and TIRS sensors and maps of land use and occupation on the MapBiomas platform. The years 1990, 1999, 2008, 2014 and 2019 were evaluated and the images referring to the month of August. In the period from 1990 to 2019 the dry period was worked on, due to the low cloud cover over the images. After image acquisition, maps of location of the municipality, land use and occupation, maps of Surface Temperature Terrestrial Temperature (LST) and Vegetation Index by Normalized Difference (NDVI) were elaborated. The satellite images of the Landsat 5 and 8 series were selected on the USGS (United States Geologic Survex) website, corresponding to orbit 218, point 74, with the criterion of the absence of clouds and noise. Soon after the analysis of LST and NDVI, 105 random control points were generated throughout the study area (with the exception of the water body) to perform a Pearson correlation analysis to verify the correlation between temperature variables and vegetation index. The analysis and elaboration of the correlation chart were performed in Excel software. The results allowed us to infer that the information acquired from the NDVI and the surface temperature proved to be of great value. Being a great tool for decision-making in the monitoring of environmental quality and urban planning of the Region.

Keywords: Landsat. NDVI. Remote sensing. Temperature. Urban heat islands. Urban vegetation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	Ilhas de calor	9
2.2	Temperaturas da superfície	9
2.3	Arborização urbana	10
2.4	Geotecnologias Aplicadas na Detecção das Ilhas de Calor	10
3	METODOLOGIA	11
3.1	Área de estudos	11
3.2	Materiais e métodos	12
3.3	Aquisição de dados orbitais	13
<i>3.3.1</i>	<i>Cálculo da temperatura da superfície e índice de vegetação</i>	<i>13</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Método de Pearson</i>	<i>17</i>
<i>3.3.3</i>	<i>Identificação de ilhas de calorurbanas</i>	<i>17</i>
<i>3.3.4</i>	<i>Mapas de uso e ocupação do solo</i>	<i>18</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5	CONCLUSÕES	26
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional urbano encontra-se em um cenário cada vez mais expansivo, desordenado e com ocupações irregulares da terra. De acordo com o censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), 84% da população brasileira reside em áreas urbanas.

A transição do meio natural para o ambiente urbanizado vem modificando de forma intensa a atmosfera dessas áreas, causando inúmeras consequências e mudanças climáticas. Isso faz surgir um fenômeno denominado “ilha de calor urbana”, que se caracteriza pelo alto calor nas cidades (principalmente na região central) em comparação com os ambientes naturais e rurais. Este fenômeno ocorre nessas áreas porque os materiais de construção absorvem e retêm mais radiação solar do que as áreas naturais (GARTLAND, 2010; ORTIZ e AMORIM, 2011). Ainda segundo os autores a falta de planejamento urbano, bem como um plano diretor bem elaborado, tem contribuído para os problemas ambientais nas cidades, com alterações na atmosfera local, poluição do ar e aumento das temperaturas (ORTIZ e AMORIM, 2011). Dentre os impactos causados por essa ocupação desordenada, são as alterações no clima urbano.

Por definição o clima urbano pode ser entendido como o clima de determinado local associado ao processo de urbanização, porém o estudo do clima urbano deve ser dinâmico, devido às características atmosféricas locais, o ambiente local e principalmente devido as atividades humanas. Dentre as atividades humanas que produzem calor destacam-se a indústria e o trânsito, além disso, as construções também auxiliam no processo de absorção de calor (MONTEIRO, 1976; PINHO e ORGAZ 2000).

Para medir os efeitos da urbanização sobre o clima urbano, Gartland (2010) destaca alguns métodos, dentre eles: estações fixas; transectos móveis e sensoriamento remoto. As imagens de sensores remotos embarcados na plataforma satélite possibilitam a elaboração de mapas de uso e ocupação da terra, assim como determinar a temperatura da superfície terrestre. Como as cidades normalmente ocupam grandes extensões territoriais, o sensoriamento remoto permite determinar a temperatura de grandes áreas.

Nesta pesquisa serão utilizados dados de sensoriamento remoto para mapear e classificar a vegetação urbana do município de Betim, Minas Gerais, e analisar os benefícios por ela proporcionados, sobretudo em relação à variação da temperatura e ao efeito nas ilhas de calor urbanas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Temperaturas da Superfície

A temperatura da superfície é medida a partir da detecção dos comprimentos de ondas na faixa do infravermelho e detectado por sensores orbitais embarcados em satélites (GUSSO et al., 2007).

A estimativa da temperatura superficial com o uso de imagens de satélites é necessária para avaliar a emissividade da superfície e corrigir o efeito atenuante da atmosfera, visto que seus componentes (vapor d'água, CO₂, O₃, aerossóis e outros gases de menor influência) diminuem a intensidade da radiação detectada pelos sensores do satélite (CALLEJAS et al., 2011).

2.2 Arborização Urbana

O plantio de espécies arbóreas em áreas urbanas. Exercem importantes funções para a sociedade e meio ambiente, tais como: elevar a permeabilidade do solo e controlar a temperatura e a umidade do ar; interceptar a água da chuva; proporcionar sombra; funcionar como corredor ecológico; agir como barreira contra ventos, ruídos e alta luminosidade; diminuir a poluição do ar; sequestrar e armazenar carbono; bem estar psicológico. O conforto térmico está diretamente ligado à urbanização urbana, atuando rigorosamente no controle da temperatura. A copa das árvores filtra os raios solares diminuindo os efeitos da foto exposição humana que em excesso podem causar doenças de pele e visão (PMSP, 2005).

Árvores em conjunto ou mesmo isoladas possibilita o resfriamento passivo, por meio do sombreamento lançado pela vegetação, reduzindo a energia radiante, conseqüentemente reduzindo as temperaturas dos objetos sombreados e o consumo da energia para evapotranspiração na superfície das folhas (SHAMS et al., 2009).

O planejamento de florestas urbanas, com a criação de parques, bosques e arborização de ruas, são medidas eficientes para promover mudanças no microclima urbano (LEAL, 2012). Dessa forma podemos dizer que a arborização deve ser a mais diversificada possível, por motivos estéticos, pela preservação da fauna e da própria biodiversidade vegetal e da cultura regional. Além disso, podem ser utilizadas espécies exóticas, mas a prioridade são as plantas nativas.

2.3 Ilhas de Calor

A ilha de calor pode ser definida como o aumento da temperatura em regiões urbanas em relação às regiões rurais e seu entorno. Isso acontece devido ao processo de urbanização, ou seja, a substituição da cobertura vegetal pela ocupação urbana e sua intensiva expansão (LI et al., 2011).

De acordo com Magalhães Filho e Abreu (2010), as ilhas de calor ocorrem nos centros de grandes cidades devido ao uso do solo (absorção de calor pelo asfalto, paredes de tijolos ou concretos e telhados), ausência de áreas verdes (falta de vegetação para absorver e refletir energia, bem como produzir sombra), verticalização (edifícios que impedem a circulação do ar), poluição do ar (provoca aquecimento da atmosfera), baixa umidade e geração de calor devido às atividades humanas (indústria, transportes e etc.).

A análise das ilhas de calor normalmente é baseada em observações de pontos meteorológicos medidos em campo. Porém, de acordo com Liu e Zhang (2011), esta distribuição pontual pode ser desigual, de modo que não representa a distribuição da temperatura na superfície de toda a região de estudo. Com a utilização de imagens de satélite, especialmente as bandas termais, é possível monitorar a temperatura de grandes áreas em nível de pixel (LIU e ZHANG, 2011).

2.4 Geotecnologias Aplicadas na Detecção das Ilhas de Calor

O sensoriamento remoto (SR) possibilita identificar e monitorar alterações que ocorrem constantemente na superfície terrestre de forma remota, sem contato com os alvos na superfície terrestre. Superfícies originadas por fenômenos naturais ou por ações antrópicas (XU, 2007).

Os sensores remotos térmicos embarcados a bordo de satélites e aeronaves oferecem a possibilidade de obter a distribuição espacial da temperatura da superfície terrestre. Plataformas de órbita polar tais como NOAA–AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer), LandsatTM/ETM+ (Thematic Mapper/ Enhanced Thematic Mapper), Terra/Aqua MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e Terra ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) fornecem imagens térmicas de várias escalas para aplicação em processos da superfície terrestre (GILLESPIE et al. 1998).

Segundo Zhou et al, (2012) o canal termal do Landsat TM/ETM+ apresenta resolução espacial do canal termal ETM+ de 60 m, enquanto o AVHRR e MODIS do TM (banda 6) é 120 m. Existem arquivos em abundância de imagens de TM/ETM+ adquiridos por séries de plataformas de Landsat de 1982 até o momento. Ademais, os US Geological Survey fornecem gratuitamente os arquivos Landsat para usuários em todo o mundo. Portanto é razoável esperar que os dados termais TM/ETM+ tenha potencial para apoiar estudos de monitoramento em longo prazo da radiação termal da superfície terrestre (ZHOU et al., 2012).

A partir da elaboração de mapas de temperatura de superfície é possível verificar quais são os locais da cidade que merecem atenção por parte dos gestores públicos. É importante destacar que tanto os dados como softwares de processamento apresentaram grandes avanços nos últimos anos o que facilitou ainda mais a utilização do sensoriamento remoto em diversas áreas e diferentes análises (ORTIZ; AMORIM, 2011).

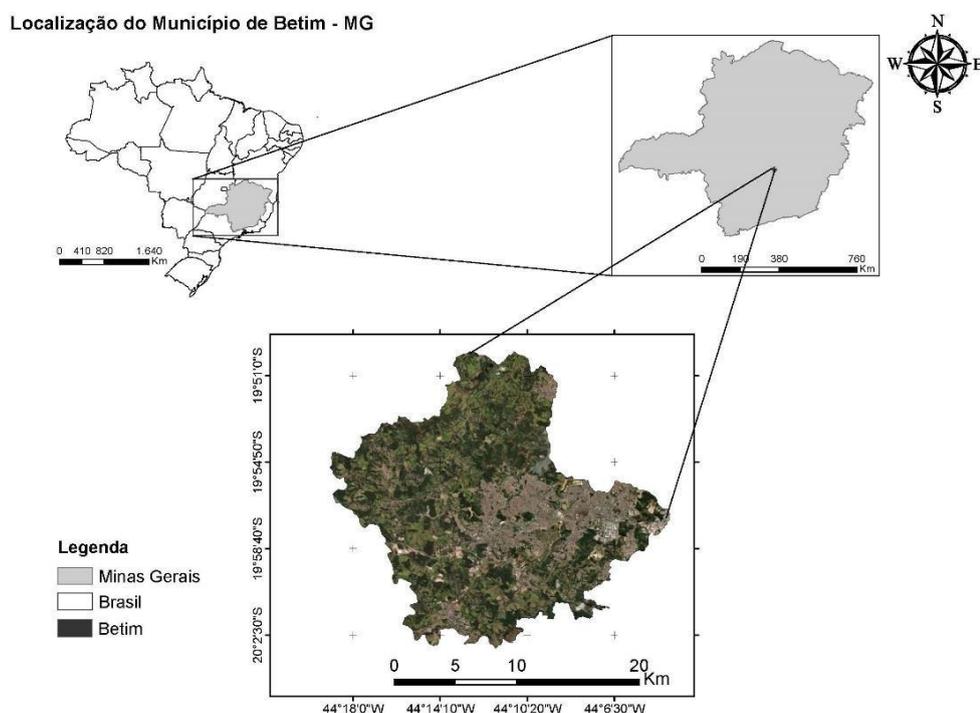
3 METODOLOGIA

A metodologia do estudo correspondeu à aquisição dos materiais utilizados e desenvolvimento dos procedimentos metodológicos delineados em cada etapa da pesquisa.

3.1 Área de estudos

A pesquisa foi conduzida no município de Betim, inserida na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (Figura 1). O clima da região é do tipo Cwa (temperado chuvoso-mesotérmico) pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 19,1 °C e 1360 mm, respectivamente (INMET, 2021).

Figura 1 – Localização da área de estudo, cidade de Betim, estado de Minas Gerais (Brasil).



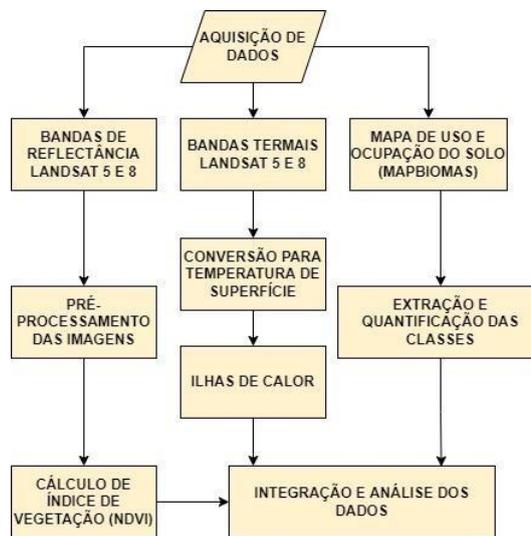
Fonte: autor (2022).

Para execução do presente trabalho, foi feito o levantamento prévio de dados e informações sobre o município de Betim, tais como: materiais digitais relacionados às características históricas, ambientais, econômicas e estruturais. Betim fazia parte de uma importante rota de bandeirantes, que vinham de São Paulo a Pitangui, atraídos pelas descobertas minerais, e em 1711 começou a ser povoado, com o passar dos anos se tornou um polo industrial e hoje conta com mais de 450.024 habitantes (IBGE, 2010).

3.2 Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas imagens de satélite dos sensores TM, OLI, e TIRS e mapas de uso e ocupação do solo na plataforma MapBiomias. As etapas dos procedimentos metodológicos realizados constam no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma metodológico com etapas de processamento das imagens.



3.3 Aquisição de Dados Orbitais

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram elaborados mapas de localização do município, uso e ocupação do solo, mapas de Temperatura Superficial Terrestre (LST) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). As imagens selecionadas do satélite da série Landsat 5 e 8, correspondente à órbita 218, ponto74, tendo como critério a ausência de nuvens e ruídos.

O sensor TM (*Tematic Mapper*) do Landsat 5 disponibilizou as bandas 3 (banda do vermelho) e 4 (infravermelho) com resolução espacial de 30 metros, e a banda 10 (banda termal) com resolução espacial de 30 m para o cálculo da temperatura de superfície. As imagens do Landsat 8, obtidas com os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) correspondem às bandas 4 (banda do vermelho), 5 (banda do infravermelho) e a 10 (banda termal) com resolução espacial de 30 m. Foram avaliados os anos 1990, 1999, 2008, 2014 e 2019, sendo as imagens referentes ao mês de agosto. No período de 1990 a 2019 trabalhou-se o período seco, devido à baixa cobertura de nuvens sobre as imagens.

3.3.1 Cálculo da temperatura da superfície e índice de vegetação

Os mapas de NDVI e LST (*Land Surface Temperature*) foram produzidos com recorte temporal entre 1990 e 2019, utilizando o software ArcGis Pro para processamento das

imagens. Os dados de urbanização, socioeconômicos e cartográficos foram extraídos do site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Para a elaboração de mapas LST e NDVI, as imagens disponibilizadas no site do USGS já possuíam correções radiométricas e geométricas, necessitando fazer as correções atmosféricas.

A seguir é apresentado as etapas de processamento das imagens, sendo que as constantes foram extraídas dos metadados das imagens:

Obtenção da radiância espectral do Landsat 5 descrita por (MARKHAM E BARKER, 1986):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) * (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda}$$

Onde:

L_{λ} = Radiância espectral

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

Q_{calmin} = Valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN=1)

Q_{calmax} = Valor máximo do pixel em níveis de cinza (DN=255)

$LMIN_{\lambda}$ = Radiância espectral mínima

$LMAX_{\lambda}$ = Radiância espectral máxima

Obtenção da reflectância espectral do Landsat 5 descrita por (MARKHAM E BARKER, 1986):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s}$$

Onde:

ρ_{λ} = reflectância planetária no topo da atmosfera

π = constante matemática igual a 3,14159

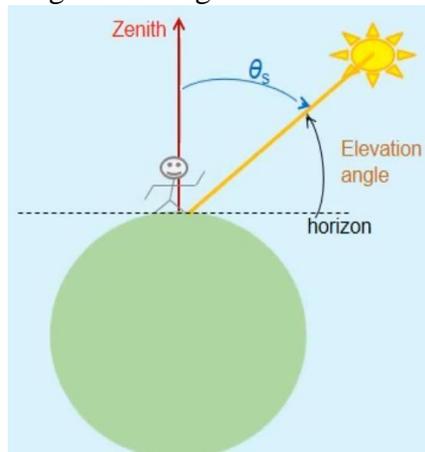
L_{λ} = Radiância espectral

d^2 = Distância Sol-Terra em unidades astronômicas

$ESUN_{\lambda}$ = irradiância solar exoatmosférica média

θ_s = Ângulo zenital solar

Figura 3 - Ângulo zenital solar.



Fonte: Adaptado de USGS (2014).

Obtenção da radiância espectral do Landsat 8:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Onde:

L_{λ} = Radiância espectral

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

A_L = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

Obtenção da reflectância espectral do Landsat 8:

$$\rho'_{\lambda} = M_{\rho} * Q_{cal} + A_{\rho}$$

Onde:

ρ'_{λ} = reflectância planetária no topo da atmosfera, sem correção do ângulo solar

M_{ρ} = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

A_{ρ} = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho'_{\lambda}}{\sin(\theta_{SE})}$$

Onde:

ρ_{λ} = reflectância planetária no topo da atmosfera

ρ'_{λ} = reflectância planetária no topo da atmosfera, sem correção do ângulo solar

θ_{SE} = Inclinação solar

Para converter radiância espectral para Temperatura do Brilho, foi utilizado a seguinte fórmula já convertida para graus Celsius:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right) - 273,15}$$

Onde:

T_b = Temperatura do brilho no sensor

K_1 = Constante de calibração 1 da banda termal

K_2 = Constante de calibração 2 da banda termal

L_λ = Radiância espectral

Foi calculado o NDVI admitindo que a cobertura vegetal interfere na emissividade e a abundância da vegetação. Para a obtenção dos índices de vegetação, foi utilizada a seguinte fórmula, com as bandas corrigidas para reflectância no topo da atmosfera:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Onde:

$NDVI$ = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR = Banda do infravermelho

RED = Banda do vermelho

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

Para calcular a emissividade (e) são necessários os valores da emissividade do solo (m) e da emissividade da vegetação (n) (SOBRINO et al., 2004). De acordo com Sobrino et al. (2004) onde: $m = 0.004$ e $n = 0.986$ (equação 8) e a Pv é a proporção da vegetação proposta por Carlson e Ripley (1997).

$$e = m * Pv + n$$

$$e = 0,004 * Pv + 0,986$$

Após a obtenção dos dados da emissividade, a temperatura de superfície corrigida pela emissividade foi calculada (ARTIS & CARNAHAN, 1982).

$$LST = \frac{T_b}{(1 + ((\lambda * \frac{T_b}{p}) * \ln(e)))}$$

Onde:

LST = Temperatura corrigida pela emissividade

T_b = Temperatura do brilho no sensor

λ = Comprimento de onda da radiação emitida

e = Emissividade

$p = h c/\sigma$ (1.438×10^{-2} m k), σ = constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K), h = constante de Planck (6.626×10^{-34} Js), c = velocidade da luz ($2,998 \times 10^8$ m/s), conforme Zhanga et al (2017).

3.3.2 Método de Pearson

Logo após a análise da LST e do NDVI, foram gerados 105 pontos de controle aleatórios em toda a área de estudo (com exceção do corpo hídrico) para realizar uma análise de correlação de Pearson para verificar a correlação entre as variáveis de temperatura e do índice de vegetação.

A análise e a elaboração do gráfico da correlação foram realizadas no software Excel. A correlação de Pearson é a medida de intensidade da correlação entre duas variáveis quantitativas e os valores podem variar entre -1 e 1, e quanto mais próximo de 1 ou -1 maior será a associação linear entre as duas variáveis no sentido positivo ou negativo, respectivamente (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2007).

3.3.3 Identificação de ilhas de calor urbanas

Para a identificação de ilhas de calor urbanas utilizou-se a metodologia de Trindade et al., (2017). Desta forma, verificou-se as estatísticas das imagens dentro do limite da cidade. Assim, anotou-se a temperatura média das imagens (Tabela 1). No segundo passo, aplicou-se a equação 5 em cada imagem com o auxílio da ferramenta *raster calculator* do ArcGis Pro.

$$Dif_{Temp} = Banda_{LST} - Temp_{Média}$$

Onde: Dif_{Temp} é a diferença entre a temperatura de cada pixel e a média de temperatura de toda área dentro do limite da cidade; $Banda_{LST}$ corresponde a imagem em temperatura de superfície; $Temp_{Média}$ é o valor de temperatura média encontrado em cada imagem.

Para melhor visualização, todas as imagens do perímetro urbano foram submetidas a uma escala de cores divididas em 5 classes, as quais compreendem diferenças de temperatura desde -5°C negativos a mais de 6°C positivos em relação à média de temperatura da imagem.

Tabela 1: Média de temperatura para cada imagem

Imagem	Média ($^{\circ}\text{C}$)
26/08/1990	17,90
18/08/1999	20,23
10/08/2006	22,33
10/08/2014	24,46
10/08/2019	24,52

Fonte: Autor (2022).

3.3.4 Mapas de uso e ocupação do solo

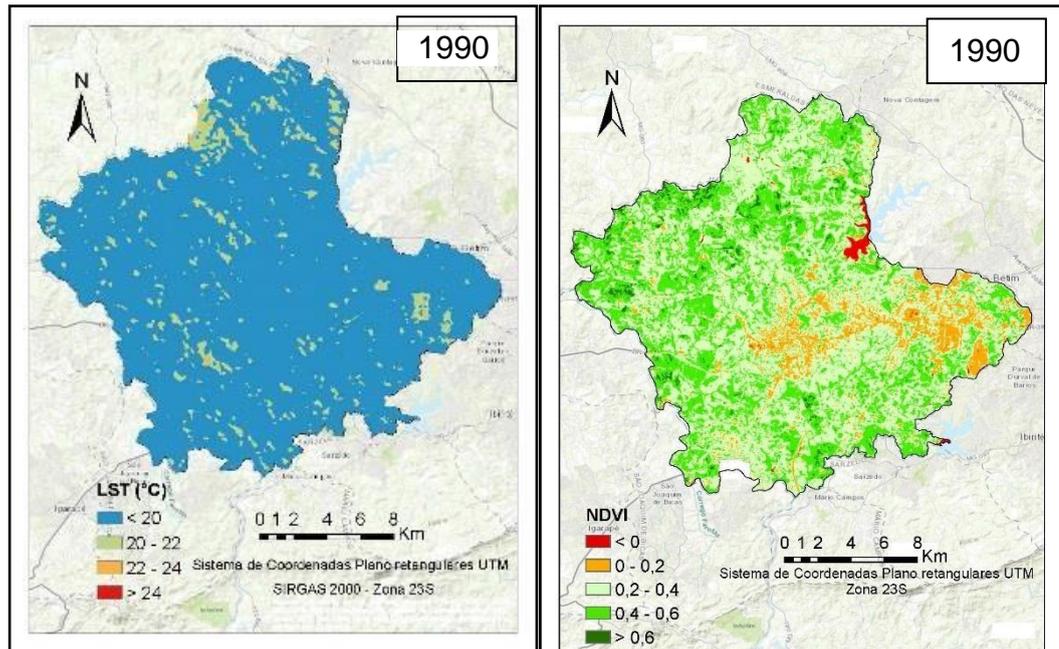
Os mapas de uso e ocupação do solo obtidos na plataforma de infraestrutura de dados espaciais (MapBiomias, 2022) foram utilizados neste trabalho com o intuito de monitorar o crescimento e/ou redução das classes de cobertura vegetal, solo exposto e hidrografia entre os anos de 1990 e 2019, para o município de Betim – MG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos mapas de LST (Figura 4), constatou-se que as temperaturas de superfície terrestre sofreram alterações significativas durante os anos analisados. É possível observar que para o mês de agosto de 1990, período inicial abordado para análise de crescimento de construção de empreendimentos, as LSTs no município de Betim variaram entre 20°C e 24°C ,

sendo que em quase todas as regiões do município apresentaram LST abaixo de 20°C. Houve regiões isoladas à noroeste, nordeste e sudoeste que apresentaram LST superiores a 24°C, situadas em áreas que vieram dar lugar a infraestruturas espalhadas pelo município.

Figura 4 - Imagens de LST e NDVI para as imagens de agosto de 1990.

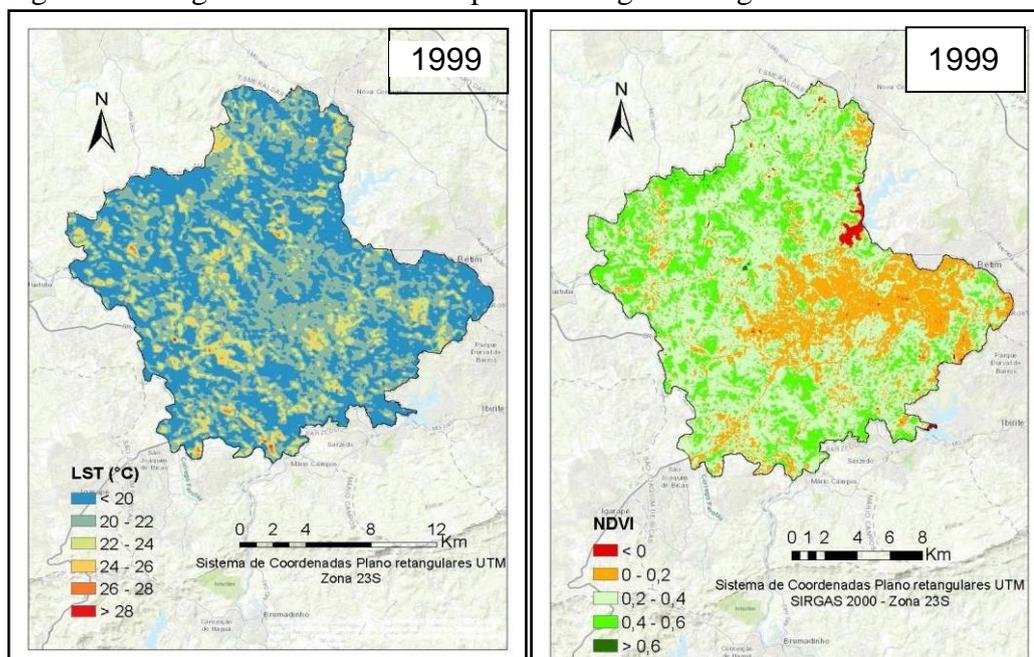


Fonte: Autor (2022)

Os padrões da vegetação estão diretamente relacionados com os dados de temperatura (Figura 4). O índice NDVI foi utilizado para normalizar a vegetação, para o ano de 1990, principalmente nas regiões norte, noroeste e sudeste, o índice apresentou valores superiores a 0,4.

Para o mês de agosto de 1999 (Figura 5), ocorreu alteração na distribuição termal ao longo do município de Betim, com aumento das classes mais elevadas em relação ao ano de 1990, com destaque para as temperaturas entre 25°C e 30°C e observou-se uma redução nas áreas com temperaturas abaixo de 24°C. As regiões com maiores temperaturas em comparação com o ano de 1990 se repetiram em maior proporção e avançou para demais áreas.

Figura 5 - Imagens de LST e NDVI para as imagens de agosto de 1999.

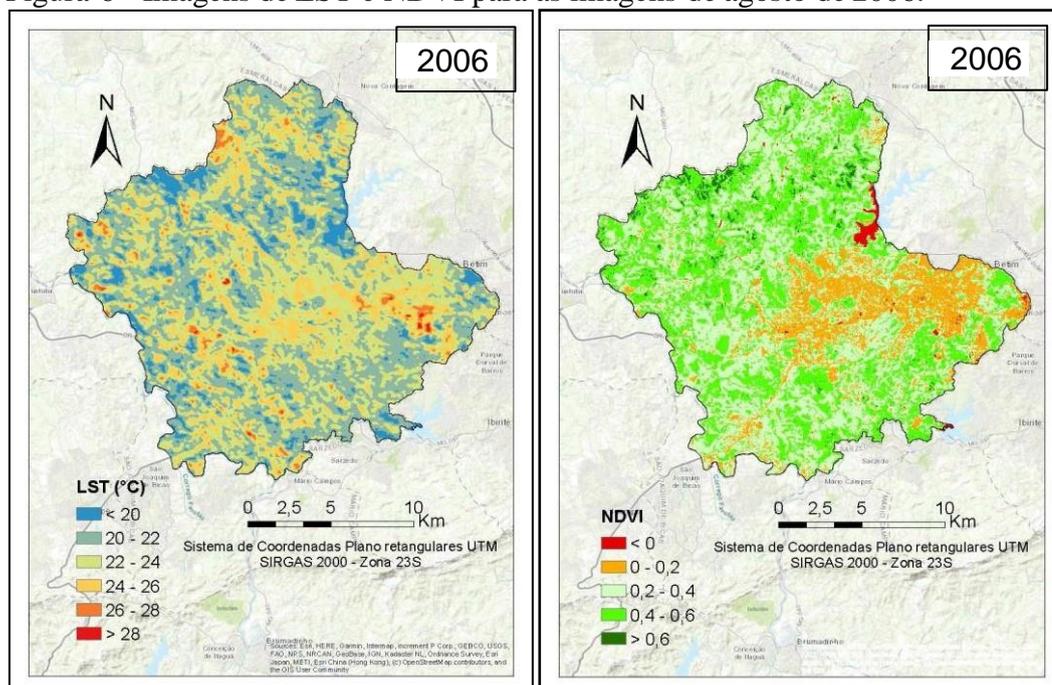


Fonte: Autor (2022)

O mapa para o ano de 1999 (Figura 5), o padrão vegetacional começa a apresentar algumas modificações em comparação ao de 1990. Isso se deve ao avanço da expansão urbana em alguns pontos, reduzindo os padrões mais densos da vegetação.

Em 2006 (Figura 6), pode se observar que a alteração na distribuição termal se intensificou ao longo do município de Betim, principalmente na região leste, com temperaturas superiores a 26°C .

Figura 6 - Imagens de LST e NDVI para as imagens de agosto de 2006.

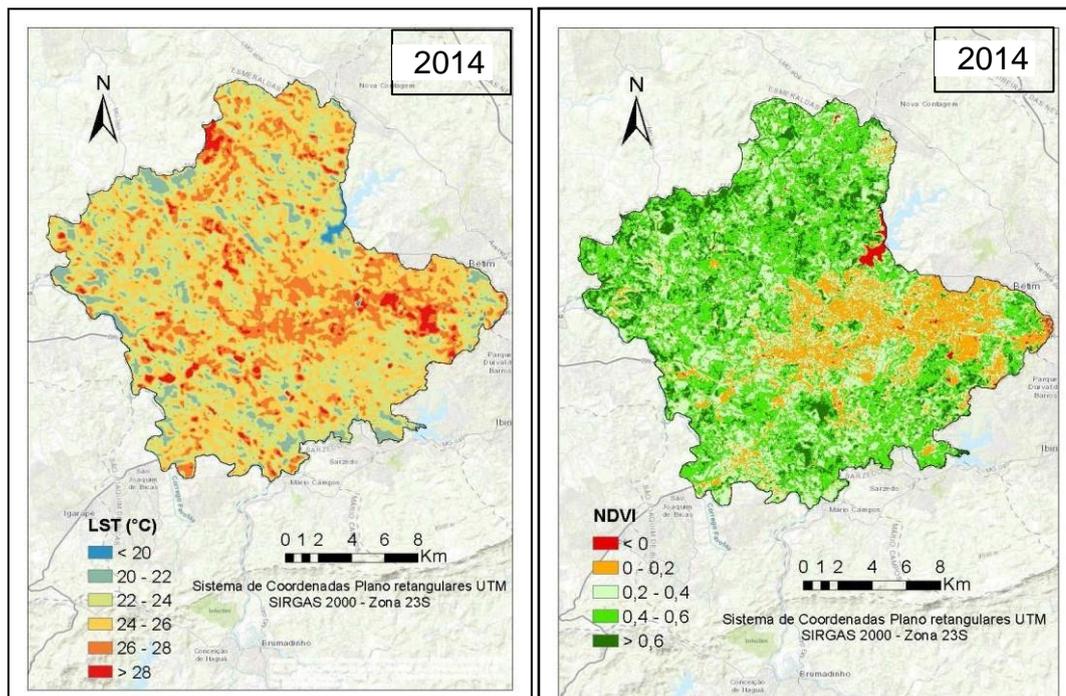


Fonte: Autor (2022)

Em 2006 (Figura 6), o crescimento urbano aumentou e concentrou mais em alguns pontos, intensificando as alterações na vegetação, apresentando padrões de vegetação igual a 0,2.

Já no mapa referente ao ano de 2014 (Figura 7), foi possível notar intensa modificação nas classes de temperatura da superfície em relação aos anos anteriores. As áreas com temperatura inferior a 24°C foram pequenas, intensificando cada vez mais as regiões que já apresentavam nos anos anteriores maiores variações na temperatura da superfície. Foi possível observar o aumento de regiões principalmente no centro e leste do município, que devido à expansão urbana, as temperaturas foram superiores a 28°C.

Figura 7 - Imagens de LST e NDVI para as imagens de agosto de 2014.

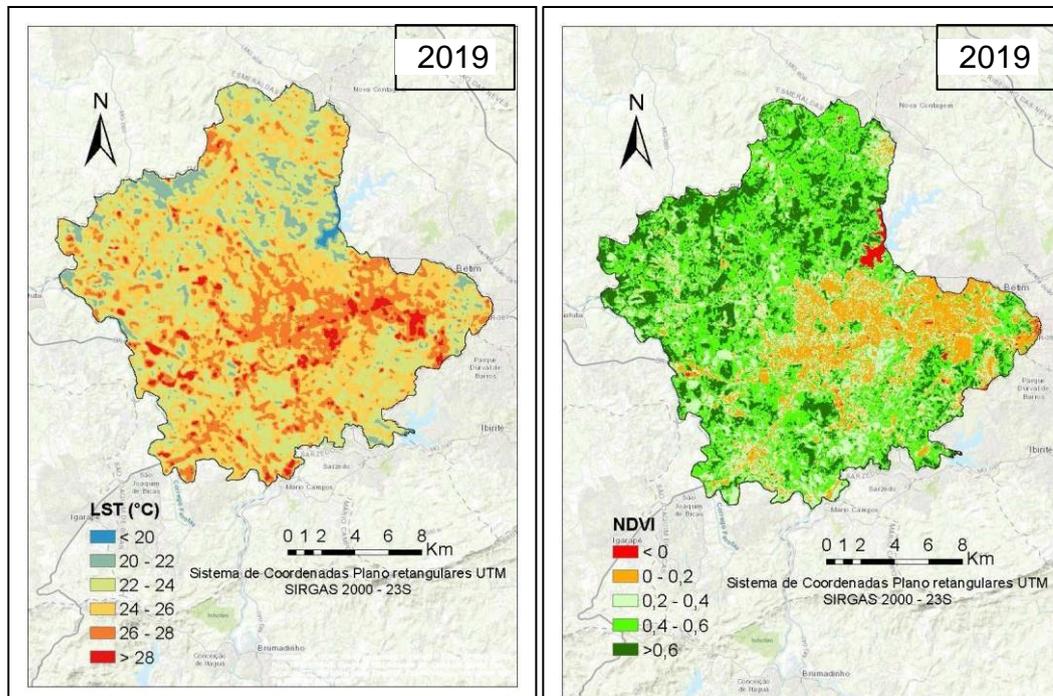


Fonte: Autor (2022).

Já para o ano de 2014 (Figura 7), é nítida a mudança em diversos pontos do município, especialmente em áreas próximas ao meio urbano, com nível vegetacional inferior a 0,2.

Para o mapa de agosto de 2019 (Figura 8), foi possível observar que para toda as áreas urbanizadas do município de Betim, as LSTs foram superiores a 27°C, isso se deve também ao crescimento de construções urbanas.

Figura 8 - Imagens de LST e NDVI para as imagens de agosto de 2019.

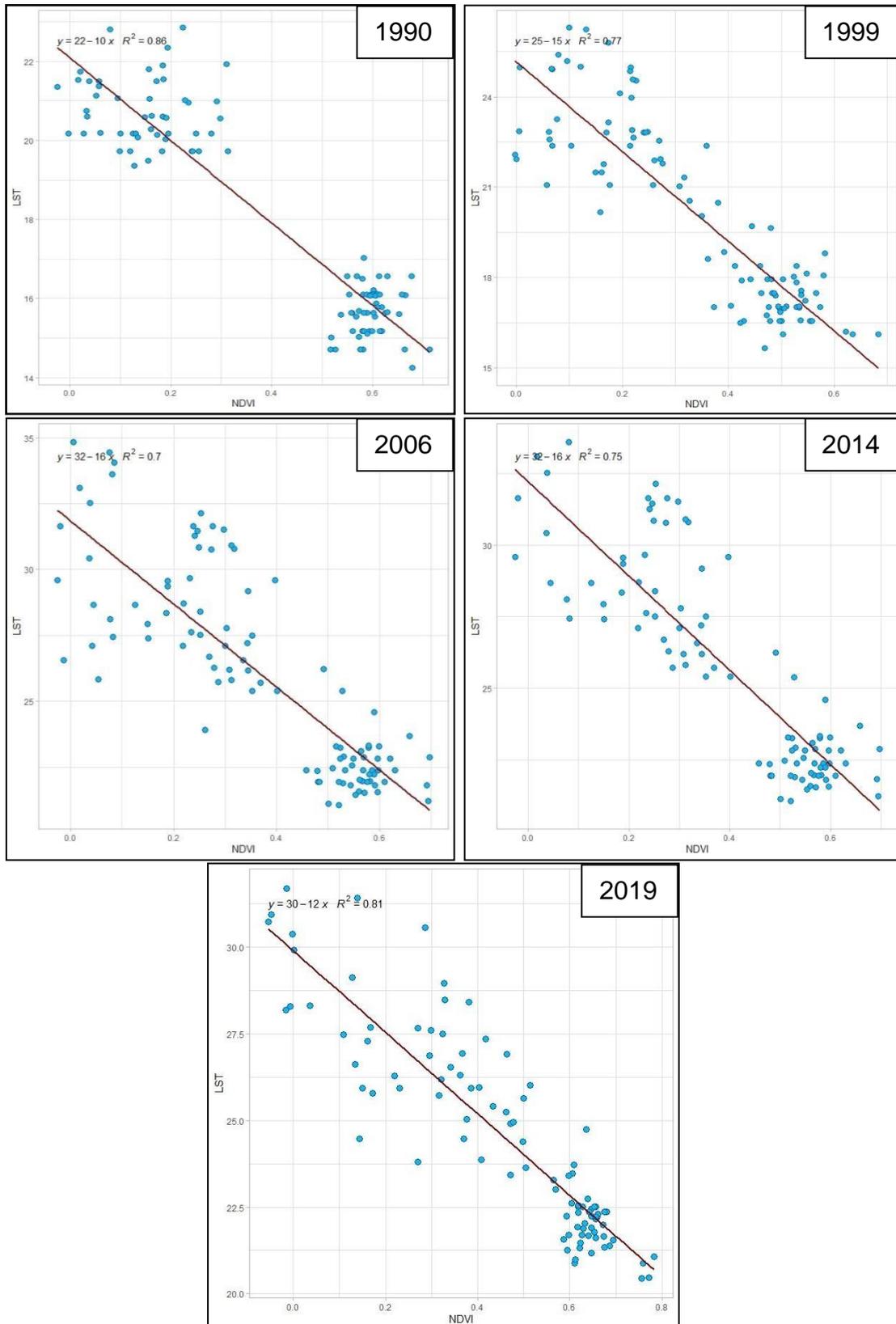


Fonte: Autor (2022)

Em agosto de 2019 (Figura 8), as áreas urbanas se expandiram ainda mais, reduzindo os padrões de vegetação com NDVI abaixo de 0,2.

Com o intuito de correlacionar as LSTs com o NDVI foram coletados pontos amostrais. De acordo com a (Figura 9), observou-se que houve uma significativa correlação entre as variáveis, apresentando um valor de R^2 mínimo de 0,75.

Figura 9 – Índice de vegetação



Fonte: Autor (2022)

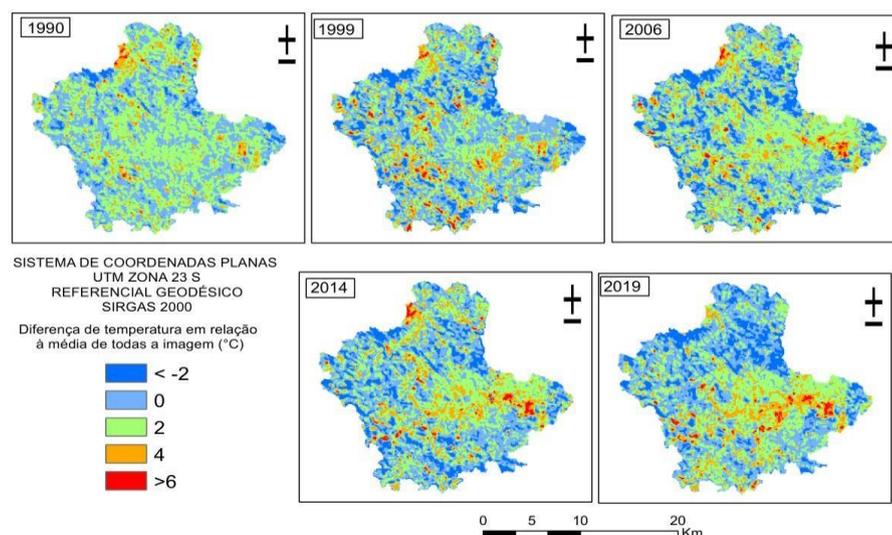
A forte relação encontrada na análise acima (Figura 9) pode ser explicada principalmente ao fato de que quanto maior o índice NDVI, maior será a cobertura vegetal e menor temperatura para a superfície, ou seja, são inversamente proporcionais. Em vista disso, as mudanças no uso e cobertura do solo possuem uma relação direta com os valores de LST e do NDVI.

Ao observar das imagens apresentadas anteriormente, é notório o aumento das temperaturas para todos os anos estudados. Fatores como a expansão urbana e suas construções civis tendem a apresentar temperaturas superiores do que em áreas com cobertura vegetal.

Outro fator importante para destacar é a identificação de áreas com temperaturas mais elevadas – ilhas de calor urbana que foram extraídas das imagens através da subtração da imagem da temperatura a nível de superfície de cada imagem com a média de temperatura de todas as imagens separadas por anos, e posteriormente isolando as ilhas de calor urbana.

Seguindo esta metodologia citada acima, foi possível identificar a distribuição das ilhas de calor urbanas (Figura 10). Permitindo observar que as diferenças de temperatura em relação à média de cada imagem variaram de -2°C negativos a valores superiores a 6°C positivos. Onde valores negativos correspondem a áreas com cobertura vegetal e valores positivos identificaram áreas com construções ou solo exposto. Neste trabalho, as diferenças positivas superiores a 4°C foram denominadas de ilhas de calor urbanas para a cidade de Betim. Conforme pode ser compreendido na figura 10.

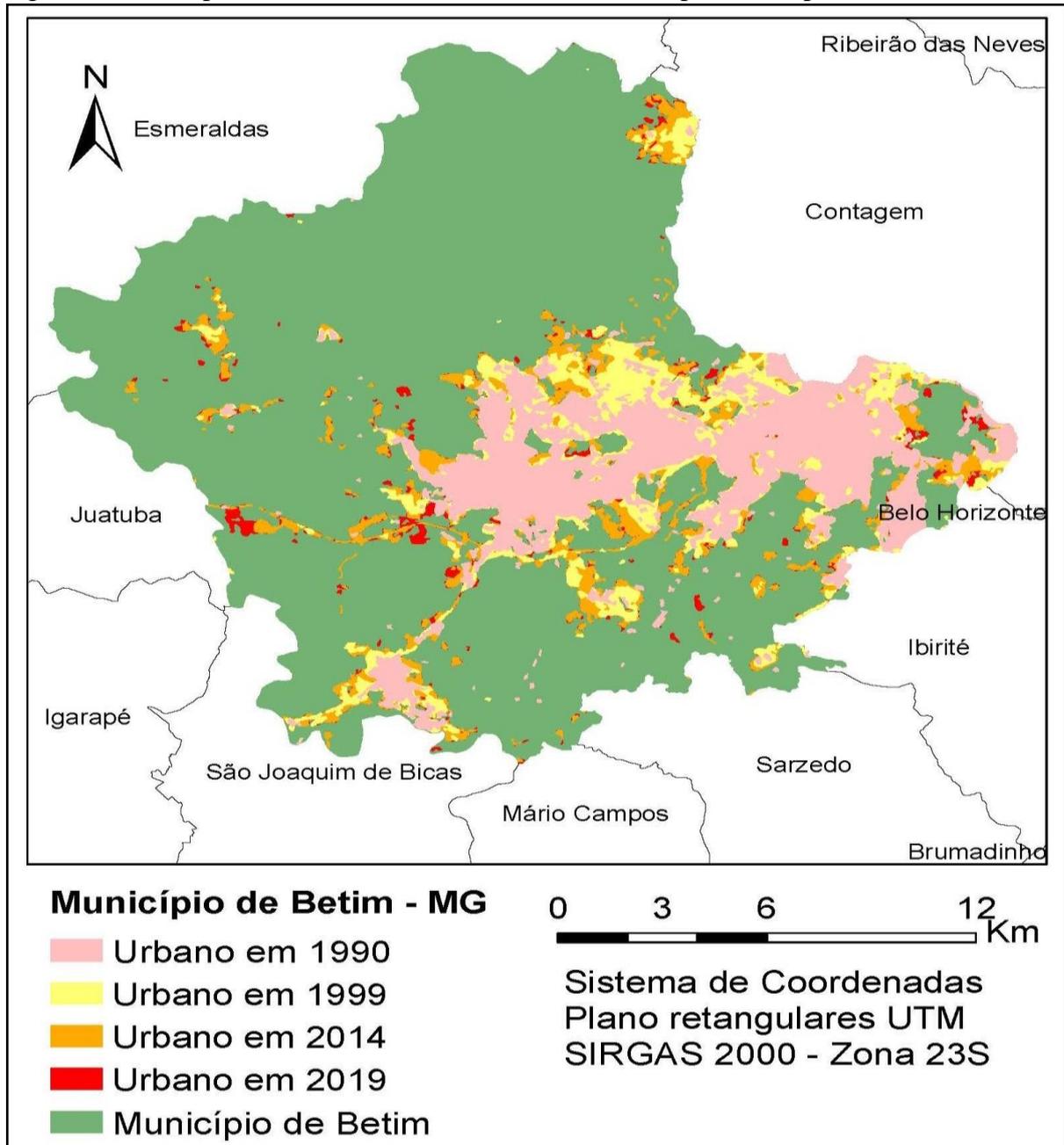
Figura 10 - Representação das ilhas de calor urbanas



Fonte: Autor (2022).

A partir do estudo realizado com as imagens classificadas, pode se observar que as áreas com maior expansão urbana abrangem as regiões oeste, centro, e leste da cidade. A figura 7 evidencia a expansão para os anos de 1990, 1999, 2006, 2014 e 2019, sendo nítido as áreas de expansão. Deste modo, é possível observar que a cidade apresentou uma expansão urbana no sentido centro-leste.

Figura 11 - Expansão urbana da cidade de Betim para um período de 29 anos.



Fonte: Autor (2022).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa foi possível formar algumas conclusões em relação a temperatura e o NDVI da superfície para todo o perímetro urbano de Betim. Com a análise temporal das imagens foi possível evidenciar o avanço da temperatura para o período estudado.

Fatores como a expansão da área urbana, e aumento das construções civis, contribuíram para o aumento da temperatura.

As áreas com maior ausência vegetal (NDVI baixo), apresentaram temperaturas mais altas, gerando um desconforto térmico para a população, expondo a influencia da vegetação no conforto da população.

Logo, pode-se concluir que as informações adquiridas do NDVI e da temperatura de superfície, mostraram-se de grande valia. Sendo uma ótima ferramenta para a tomada de decisão no monitoramento da qualidade ambiental e do planejamento urbano da região.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, D.; SWEENEY, D.; WILLIAMS, T. Estatística Aplicada a Administração e Economia, v. 2. **Editora Cengage**, 2007.

ARCGIZ. **Software**. Disponível em: <https://arcgis.en.softonic.com/download?utm_source=SEM&utm_medium=paid&utm_campaign=EN_PT_Brazil_DSA&gclid=CjwKCAjwoMSWBhAdEiwAVJ2ndgF9hxUqt81SqY_Strwzoyx0Y_IrzLDEhr99WFSTpoXMLOcEvgJARBoCq7UQAvD_BwE>

ARTIS, D. A.; CARNAHAN, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **ScienceDirect Journals & Books**, v. 12, p. 313 – 329, 1982.

BRICKLIN, D. **Microsoft Excel**. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft365/p/excel/CFQ7TTC0HR4R?activetab=pivot:overviewtab&ef_id=CjwKCAjwoMSWBhAdEiwAVJ2ndqCXkRHDj0rMfsKZUDH7Rm_2EmVwPrFvDGoLeRvJWKhOc8WNyVmx8RoCHSEQA_vD_BwE:G:s&OCID=AIDcmm409lj8ne_SEM_CjwKCAjwoMSWBhAdEiwAVJ2ndqCXkRHDj0rMfsKZUDH7Rm_2EmVwPrFvDGoLeRvJWKhOc8WNyVmx8RoCHSEQA_vD_BwE:G:s&gclid=CjwKCAjwoMSWBhAdEiwAVJ2ndqCXkRHDj0rMfsKZUDH7Rm_2EmVwPrFvDGoLeRvJWKhOc8WNyVmx8RoCHSEQA_vD_BwE>

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. 207-233, 2011.

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

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 148p.

GILLESPIE, A. R. R.; OKUGAWA, S.; MATSUNAGA, T.; COTHERN, J. S.; HOOK, S.; KAHLE, A. B. Um algoritmo de separação de temperatura e emissividade para Imagens espaciais do radiômetro de reflexão e emissão térmica. **ASTER IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p.1113-1126, 1998.

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.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso: 20 Jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://downloads.ibge.>> Acesso: 07 jan. 2020.

LEAL, L. A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR. 2012. 172 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, 2012.

LI, S., MO H.; DAI Y. Spatio-temporal pattern of urban cool island intensity and its ecoenvironmental response in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration. **Communications in Information Science and Management Engineering** v.1, p. 1–6, 2011.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. **Remote Sensing**, v.3, p. 1535-1552, 2011.

MAGALHÃES FILHO, L.C.A.; ABREU, J.F. Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.10, n.1, 2010.

Mapa das coleções. **Mapbiomas Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR>. Acesso em: 12 de mar. 2022.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperatures. **EOSAT Landsat Tech**, p 3-8, 1986.

MONTEIRO, C.A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976, 181p.

ORTIZ, G. F.; AMORIM, M.C.C.T. Temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota-SP a partir da imagem de satélite Landsat 7. **Revista Geográfica da América Central**, v.1, p. 1-16, 2011.

PINHO, O. S.; ORGAZ, M. D. M. The urban heat island in a small city in coastal Portugal. **International Journal of Biometeorology**, v. 44, p. 198-203, 2000.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Manual técnico de arborização urbana**. Secretária do verde e meio ambiente. 2ª edição, 2005.

SHAMS, J.; GIACOMELI, D.; SUCOMINE, N. Emprego da Arborização na Melhoria do Conforto Térmico nos Espaços Livres Públicos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, p. 1-16, 2009.

SOBRINO, J. A.; MUÑOZ, J. C. J.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **ScienceDirect Journals & Books**, v. 90, p. 434-440, 2004.

TRINDADE, E. P.; HINNIG, M. P. F.; COSTA, E. M.; MARQUES, J. S.; BASTOS, R.C.; YIGITCANLAR, T. Sustainable development of smart cities: A systematic review of the literature. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 3, n. 3, p. 11, 2017.

USGS - United States Geological Survey. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>> Acesso: 03 Jan. 2022.

XU, H. Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematicoriented Index Combination Technique Photogramm. **Eng. Remote Sens**, v. 73, n. 12, pp. 1381–1391, 2007.

ZHANGA, X.; ESTOQUEB, R. C.; MURAYAMAB, Y. An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables. **Sustainable Cities and Society**, 32, 557-568, 2017.

ZHOU, J.; LI, J.; ZHANG, L.; HU, D.; ZHAN, W. Intercomparison of methods for estimating land surface temperature from a Landsat-5 TM image in an arid region with low water vapour in the atmosphere. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 8, p. 2582-2602, 2011.