



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE EM FUNÇÃO DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NO MUNICÍPIO DE LAGOA SANTA - MINAS GERAIS**

Frederico Lima Cardoso

Belo Horizonte

2022

Frederico Lima Cardoso

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE EM FUNÇÃO DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NO MUNICÍPIO DE LAGOA SANTA - MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte

2022

Frederico Lima Cardoso

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM FUNÇÃO DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE LAGOA SANTA - MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 14 de Dezembro de 2022

Banca examinadora:



Prof Carlos Wagner G Andrade Coelho - Orientador



Prof. Fúlvio Cupolilo



Prof Alceu Raposo Junior

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e à minha irmã pela paciência e apoio incondicional; às minhas famílias – Cardoso e Lima, pelos momentos mais felizes; à Géssika, pelo amor e carinho; e a todos os meus amigos e colegas de universidade e trabalho, que de alguma forma contribuíram na construção do meu eu pessoal e profissional.

RESUMO

CARDOSO, FREDERICO. **Análise Multitemporal da Evolução da Temperatura de Superfície em Função das Alterações no Uso e Ocupação do Solo no Município de Lagoa Santa - Minas Gerais**. 2022. 51. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

A partir dos anos 2000, com a estratégia do governo de Minas Gerais de expandir o eixo norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (ARMBH), Lagoa Santa/MG tem passado por um processo acelerado de urbanização. A substituição da camada de vegetação nativa por camadas decorrentes de atividades antrópicas é a principal responsável pela intensificação da temperatura de superfície terrestre (TST). Este parâmetro é muito utilizado em análises de sensoriamento remoto e diz respeito ao fluxo de calor dado em função do balanço de energia que é absorvida e emitida pelo corpo. Neste sentido, o presente trabalho buscou analisar a evolução da TST em função das alterações no uso e ocupação do solo e dos valores de NDVI. No que diz respeito a classe “área urbanizada”, de forma geral, no município houve aumento de 9,75 km² (4,27%) entre as datas 08/07/2013 e 01/07/2022, sendo que a porção que teve mais incremento de foi a sede do Distrito de Lagoinha de Fora – 20 (ZCE), em torno de 22,49%. Quanto aos valores de TST por classe, a “Área não vegetada” é a que apresentou os maiores valores de TST, devido à ausência de umidade do mês de julho, seguido da “Agropecuária” e “Área urbanizada” que apresentaram comportamentos semelhantes. Assim, pode-se concluir que das 25 porções do território distribuídas entre as 14 modalidades de Zona Urbana mais a Zona Rural, as que apresentaram as maiores médias de TST foram: duas porções da Zona de Especial Interesse Social (ZEIS), destinada predominantemente à moradia de população de baixa renda, e uma porção da Zona Rural, que apresentou o maior valor devido à forte presença de solo exposto com baixa umidade. Por sua vez, a porção da Zona de Proteção Ambiental (ZPAM), destinada à preservação e a recuperação ambiental, foi a que apresentou a menor média de TST nas quatro datas analisadas.

Palavras-chave: Temperatura de superfície terrestre. Uso e ocupação do solo. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

CARDOSO, FREDERICO. **Multitemporal Analysis of the Evolution of Surface Temperature Due to Changes in Land Use and Occupation in the Municipality of Lagoa Santa - Minas Gerais**. 2022. 51. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

Since the 2000s, with the Minas Gerais government's strategy to expand the northern axis of the Metropolitan Region of Belo Horizonte (ARMBH), Lagoa Santa/MG has undergone an accelerated process of urbanization. The replacement of the native vegetation layer by layers resulting from anthropic activities is the main factor responsible for the intensification of the Earth's surface temperature (TST). This parameter is widely used in remote sensing analyzes and concerns the heat flux given as a function of the energy balance that is absorbed and emitted by the body. In this sense, the present work sought to analyze the evolution of TST as a function of changes in land use and occupation of NDVI values. With regard to the "urbanized area" class, in general, in the municipality there was an increase of 9.75 km² (4.27%) between the dates 08/07/2013 and 01/07/2022, and the portion that had more increment than was the seat of the District of Lagoinha de Fora -20 (ZCE), around 22.49%. As for the TST values by Class, the "Non-vegetated area" is the one that presented the highest TST values, due to the absence of humidity in the month of July, followed by "Agriculture" and "Urbanized area" that presented similar behaviors. Thus, it can be concluded that of the 25 portions distributed among the 14 modalities of Urban Zone and Rural Zone, one portion of this presented the highest TST averages due to the strong presence of the "Non-vegetated Soil" class and two portions of the Special Interest Social Zone (ZEIS), which is a zoning modality predominantly intended for low-income housing. In turn, the Environmental Protection Zone (ZPAM) portion, intended for environmental preservation and recovery, was the one with the lowest TST averages on the four dates analyzed.

Keywords: Land surface temperature. Land use change and occupation. Remote sensing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Lagoa Santa-MG	14
3.2	Sensoriamento Remoto	15
3.3	Landsat8	17
<i>3.3.1</i>	<i>Operational Land Imager (OLI).....</i>	<i>18</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Thermal Infrared Sensor (TIRS).....</i>	<i>18</i>
3.4	TERRA	19
<i>3.4.1</i>	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER).....</i>	<i>19</i>
3.5	Temperatura de Superfície Terrestre (TST).....	20
3.6	Índices de vegetação	21
3.7	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)	22
3.8	Google Earth Engine	23
4	METODOLOGIA.....	24
4.1	Recorte da Área de Estudo	24
<i>4.1.1</i>	<i>Crescimento Populacional.....</i>	<i>26</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Aspectos fisiográficos</i>	<i>28</i>
4.2	Processamento dos Dados no GEE	30
<i>4.2.1</i>	<i>Satélites e Imagens Utilizados</i>	<i>30</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Cálculo da Emissividade de Superfície</i>	<i>31</i>
<i>4.2.3</i>	<i>Cálculo da TST</i>	<i>32</i>
4.3	Processamento dos Dados no QGIS.....	33

4.3.1	<i>Classificação do uso e ocupação do solo</i>	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	Classificação do Uso e Ocupação do Solo	34
5.2	Relação da TST com os Usos e Coberturas do Solo	38
5.3	Relação da TST com o NDVI	41
5.4	Análise focal da TST	44
5.5	Classificação das porções por TST media	46
6	CONCLUSÃO	47
7	RECOMENDAÇÕES	48
8	REFERÊNCIAS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Obtenção de imagens por SR.....	16
Figura 3.2 – O espectro eletromagnético e suas principais regiões.....	17
Figura 3.3 – Descrição das características do Landsat8.....	17
Figura 3.4 – Bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do sensor (OLI) Operational Land Imager.....	18
Figura 3.5 – Bandas espectrais na faixa do infravermelho termal do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor).....	19
Figura 3.6 – Descrição das características do satélite TERRA.....	19
Figura 3.7 – Bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do sensor (ASTER) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.....	20
Figura 3.8 – Índices de Vegetação mais usuais.....	22
Figura 4.1 – Localização de Lagoa Santa no Estado de Minas Gerais.....	25
Figura 4.2 – Zoneamento e suas porções territoriais conforme Anexo IX da Lei nº 4.129, de 16 de janeiro 2018 de Lagoa Santa-MG.....	26
Figura 4.3 – População residente por situação do domicílio segundo censos realizados entre 1970 e 2010.....	27
Figura 4.4 – População residente estimada entre 2011 e 2021 (ano x nº de habitantes).....	27
Figura 4.5 – Temperaturas mensais da Normal Climatológica em Sete Lagoas (mês x temperatura média em °C).....	28
Figura 4.6 – Precipitações mensais da Normal Climatológica em Sete Lagoas (mês x valor da precipitação em mm).....	29

Figura 4.7 – Fluxograma de processamento da TST no Google Earth Engine (GEE). Os textos em azul indicam funções codificadas em módulos e os nas cores cinza conjuntos de dados do GEE.	30
Figura 4.8 – Resumo do conjunto de dados utilizados no estudo.	31
Figura 4.9 – Classes temáticas de uso do solo e ocupação do solo.	33
Figura 5.1 – Uso e ocupação do solo de Lagoa Santa referente às datas 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022.	35
Figura 5.2 – Dinâmica do uso e cobertura do solo a nível municipal.	36
Figura 5.3 – Classes de uso e ocupação do solo a nível de zoneamento.	37
Figura 5.4 – TST média a nível de município, zona urbana e zona rural.	38
Figura 5.5 – TST média a nível de classes de uso e ocupação do solo.	39
Figura 5.6 – Relação entre TST e NDVI no município de Lagoa Santa-MG.	43
Figura 5.7 – Perfis longitudinais (P1) da TST de 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022 (m x C°).	44
Figura 5.8 – Perfis longitudinais (P2) da TST de 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022 (m x C°).	45
Figura 5.9 – Classificação das porções do zoneamento conforme TST média.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Classes de uso e ocupação do solo a nível municipal - Lagoa Santa-MG.....	34
Tabela 5.2 – Análise da TST a nível de município, zona urbana e zona rural.	39
Tabela 5.3 – Análise da TST a nível de classes de uso e ocupação do solo.....	40
Tabela 5.4 – Medidas de tendencia da relação entre TST e NDVI.	41

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização brasileiro teve seu ápice entre os anos 1970 e 1980, quando mais de 12 milhões de habitantes deixaram a zona rural e se instalaram nas zonas urbanas (ALVES et al., 2011). No entanto, segundo Costa (2009) durante este período o município de Lagoa Santa-MG manteve um ritmo de crescimento anual baixo comparado aos seus vizinhos – Ribeirão das Neves, Santa Luzia e Vespasiano, que passavam por um processo de urbanização rápido e descontrolado.

O cenário mudou quando o governo de Minas Gerais estabeleceu uma série de medidas estratégicas a fim de promover o desenvolvimento socioeconômico no Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) no início dos anos 2000. Elas incluíam principalmente, a construção do Centro Administrativo de Minas Gerais (CAMG), a ampliação do Aeroporto Internacional Tancredo Neves e a duplicação da Rodovia Estadual MG-010, que conecta os dois.

Segundo Sampaio (2014) essas intervenções estimularam a especulação sobre o mercado imobiliário no município e rapidamente surgiram diversos tipos de empreendimentos que passaram a pressionar a zona rural. Lagoa Santa teve um aumento na sua mancha urbana entre 1984 e 2014 de aproximadamente 246,15% 2014, sendo que a partir de 2000 houve um crescimento urbano regular até 2014 de aproximadamente 10 km² de mancha urbana, segundo análise temporal elaborada por Xavier et al (2015).

A substituição da camada de vegetação nativa e formações sucessoras por camadas decorrentes de atividades antrópicas é a principal responsável pela intensificação dos impactos negativos microclimáticos – aqueles na ordem centenas de quilômetros quadrados (RIBEIRO, 1993). A consequência imediata é o distúrbio no campo térmico que pode resultar em um simples desconforto até fenômenos mais característicos como ilhas de calor e chuvas ácidas, estes mais comuns nos grandes centros urbanos.

O estudo sobre a evolução do comportamento térmico de uma determinada localidade fornece informações socioambientais relevantes para o planejamento urbano. O poder público pode restringir determinados tipos de uso e ocupação do solo em regiões suscetíveis ao aumento da temperatura através da criação de leis específicas ou mesmo promover ações pontuais.

Atualmente, uma das ferramentas mais utilizada em estudos climáticos locais é o sensoriamento remoto óptico orbital devido ao baixo custo e alta resolução temporal. O sensoriamento remoto possibilita coletar dados, inclusive aqueles não visíveis, sem contato físico direto, através da captação da energia proveniente da matéria (NOVO et al., 2010). A conseguinte conversão desta energia em imagem ou gráfico torna possível registrá-la e apresentá-la de forma adequada, passível de extração de informações.

A temperatura de superfície é o parâmetro físico registrado na interface entre a superfície terrestre e o limite inferior da camada de ar atmosférica. Devido à impossibilidade de se registrá-la através dos sensores orbitais sem a influência de efeitos atmosféricos, angulares e de emissividade das superfícies utiliza-se o termo temperatura de superfície terrestre (TST) (DASH et al., 2002; CHEN et al., 2017 *apud* FERREIRA, 2021).

A TST é muito utilizada nas análises por apresentar significativa correlação entre o fluxo de calor sensível irradiado para a atmosfera e aquele conduzido ao substrato. O parâmetro diz respeito ao fluxo de calor dado em função do balanço de energia que é absorvida e emitida pelo corpo. Neste caso, os dados obtidos são provenientes de imagens derivadas dos comprimentos de onda longa na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético.

Neste sentido, o presente trabalho se propõe a analisar a evolução da temperatura de superfície em função da alteração do uso e ocupação do solo no município de Lagoa Santa-MG. A evolução do uso e ocupação solo será classificada a partir de imagens obtidas pelo sensor OLI (Operational Land Imager). Por fim, serão utilizadas as bandas do infravermelho termal (TIR-ThermalInfraRed), coletadas pelo sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) do satélite LandSat8 nas datas 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a evolução multitemporal da temperatura de superfície terrestre (TST) no município de Lagoa Santa/MG em função das alterações no uso e ocupação do solo entre os anos 2013 e 2022.

2.2 Objetivos específicos

1. Mapear o uso e ocupação do solo a nível municipal e porções do zoneamento;
2. Analisar a relação entre as classes de uso e ocupação do solo e a TST a nível municipal e de porções do zoneamento;
3. Analisar a relação entre os valores de TST e de NDVI a nível municipal e de porções do zoneamento;
4. Classificar as porções do território de acordo com a TST;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Lagoa Santa-MG

A colonização do atual território de Lagoa Santa iniciou-se no final do século XVII após a chegada da bandeira de Fernão Dias Pais Leme nas proximidades do atual Parque Estadual do Sumidouro em 1675. Nesta época a economia local se desenvolveu basicamente em função do comércio estabelecido nas rotas das bandeiras que subiam o Rio das Velhas em busca de metais e pedras preciosas (MENDONÇA, 2006).

A região central do município, no entanto só começou a ser ocupada a partir de 1733 quando o tropeiro Felipe Rodrigues de Macedo ergueu no local um pequeno engenho para produção de aguardente próximo a Lagoa Central. Ele foi o primeiro a relatar os poderes medicinais da água da lagoa – anos depois a notícia atravessou os oceanos nos registros de João Cardoso de Miranda em seu opúsculo “Prodigiosa Lagoa Descuberta nas Congonhas das Minas do Sabará, que tem curado várias pessoas dos achaques que nessa relação se expõe” de 1749. A repercussão foi tanta que estimulou o comércio e turismo na região ao ponto de exportar a água em barris para Europa.

A economia se tornou primária à medida que o povoado foi se consolidando, intensificando-se a exploração agrária na região através da plantação da cana de açúcar para produção de rapadura e cachaça, bem como a pecuária de leite e corte. A partir do início do século XX, destaca-se a relevância do município na produção de citros como mexerica, laranja e principalmente abacaxi. A região inclusive se tornou a maior produtora de abacaxi, porém com o estabelecimento da monocultura, as lavouras foram infestadas pela gomose, responsável por dizimar e encerrar o ciclo econômico no município.

No final da década de 30 deste século, o governo de Getúlio Vargas iniciou o processo de implementação da Fábrica de Aviões de Lagoa Santa. Na ocasião a vencedora da licitação pública para construção do complexo industrial foi a empresa brasileira denominada Construções Aeronáuticas S/A, que reunia empresários brasileiros e franceses. A fábrica foi inaugurada em 1946 e ficou sob o comando do Grupo Pignatari até 1949, que era detentora da fábrica de aviões mais importante do país – a Companhia Aeronáutica Paulista. No entanto, devido a inexistência de mão de obra especializada e infraestrutura básica que impulsionasse o desenvolvimento econômico da cidade, as atividades da empresa se encerraram em 1951. A

partir disto a fábrica deu origem ao atual Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa (PAMALS), que dá suporte à Força Aérea Brasileira (FAB) na manutenção e recuperação de equipamentos até hoje. Apesar do fracasso, a posterior criação do PAMALS estimulou o crescimento populacional e econômico no município.

Já na década de 80, outra grande obra do setor de aviação se instalou no município, o atual Aeroporto Internacional de Confins – Tancredo Neves, nesta época o território de Confins ainda pertencia em sua totalidade à Lagoa Santa. Por muito tempo o Aeroporto da Pampulha foi o principal do estado até a administração pública decidir que o melhor seria a criação de um aeroporto distante, uma vez entorno imediato se tornou completamente urbanizado e estavam ocorrendo impactos ambientais negativos devido às suas atividades.

Além do Aeroporto, a partir desta época outros empreendimentos de destaque também se instalaram no município como, a empresa cimenteira – Cimentos Liz, que inaugurou sua unidade fabril em 1976; os laboratórios DiaMed Latino América e Labtest Diagnóstica, fabricantes de produtos para diagnósticos *in vitro*; Labtest Diagnóstica; Marangoni Tread Latino América, desenvolvedora de tecnologias, materiais e serviços ligados a reconstrução de pneus; Clamper, especializada no desenvolvimento de dispositivos de proteção contra surtos elétricos; dentre outras diversas empresas.

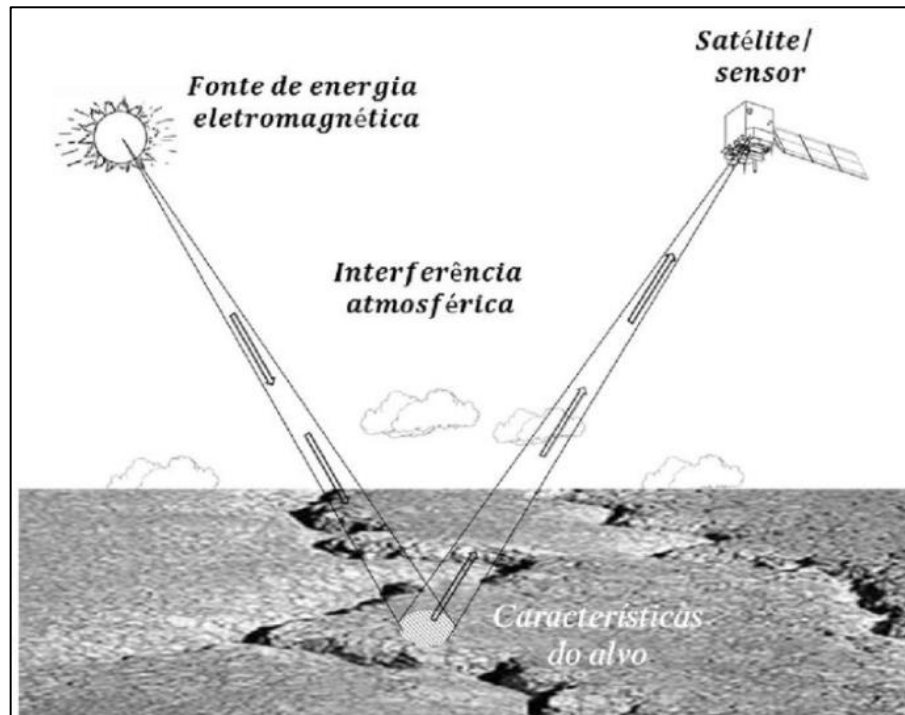
3.2 Sensoriamento Remoto

Os dispositivos mais utilizados para monitorar alterações no meio ambiente os sensores remotos ópticos embarcados em satélites devido ao baixo custo e alta resolução temporal disponíveis gratuitamente em diversas plataformas. O termo Sensoriamento Remoto (SR) foi descrito pela primeira vez na literatura científica em 1960 derivando-se dos termos aerofotogrametria e fotointerpretação (NOVO et al., 2010). O mesmo está sujeito a diversas interpretações, entretanto em sentido mais abrangente consiste em um conjunto de técnicas capaz de coletar informações, inclusive aquelas não visíveis, sem contato físico direto, através da captação da energia proveniente da matéria, seja ela acústica, potencial ou Radiação Eletromagnética (REM) (LORENZZETTI, 2015; LIU, 2015).

Atualmente, o mais usual é ser referir ao SR somente em relação a produção de informações a partir da REM. Assim, para vários autores (NOVO et al., 2010; LORENZZETTI, 2015; LIU, 2015) pode ser entendido como o conjunto de técnicas que envolvem a detecção, aquisição e

análise da REM emitida ou retroespalhada pelos alvos e registradas por sensores remotos embarcados em plataformas aéreas como balões, aviões, foguetes e satélites. A tecnologia pode ser dividida em sensoriamento remoto ativo (quando a energia é artificial, como um *flash* de câmera fotográfica ou sinal de radar) e passivo (quando a energia é proveniente de fonte natural, como a luz do sol ou calor emitido pela superfície terrestre) (**Figura 3.1**).

Figura 3.1 – Obtenção de imagens por SR.

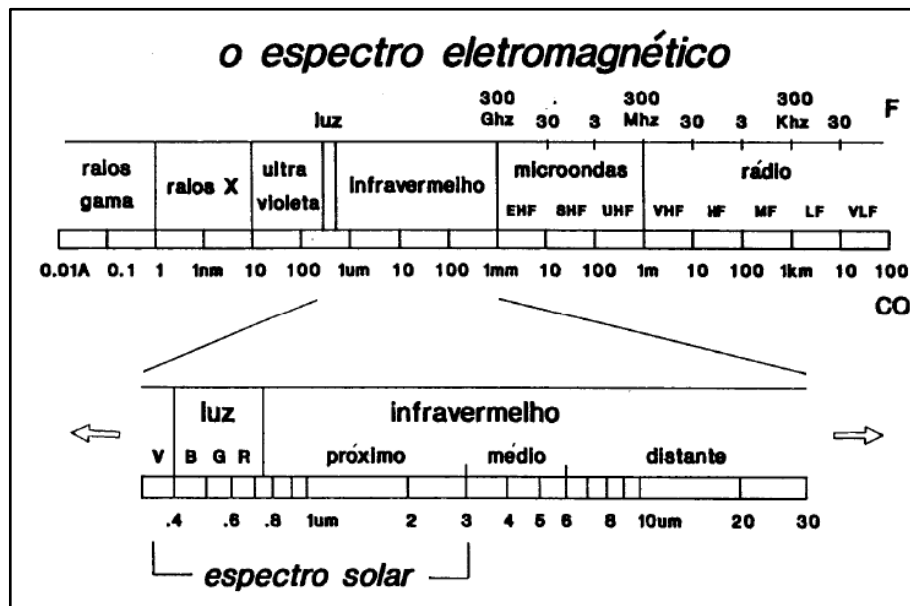


Fonte: LORENZZETTI (2015).

A REM pode ser entendida como um conjunto de ondas decorrente da oscilação em fase dos campos elétricos e magnéticos cuja velocidade no vácuo é igual $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Assim, existem várias formas de radiação, classificadas de acordo com as faixas de comprimento de onda (λ) do espectro eletromagnético. A luz visível, por exemplo, enquadra-se no intervalo onde o λ varia entre 0,36 a 0,74 μm , enquanto as microondas se enquadram no intervalo onde o λ varia entre 1mm e 1m, conforme observado na **Figura 3.2**. Segundo Novo et al (2010) as faixas mais utilizadas em estudos ambientais são aquelas emitidas pelo do Sol (visível, infravermelho próximo) e pelos radares (infravermelho médio e microondas).

Figura 3.2 Segundo Novo et al (2010) as faixas mais utilizadas em estudos ambientais são aquelas emitidas pelo do Sol (visível, infravermelho próximo) e pelos radares (infravermelho médio e microondas).

Figura 3.2 – O espectro eletromagnético e suas principais regiões.



Fonte: NOVO et al; (2010).

3.3 Landsat8

O satélite LDCM (Landsat Data Continuity Mission) também conhecido como Landsat8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2011 exclusivamente para a observação dos recursos naturais terrestre. Nele estão acoplados dois sensores, os instrumentos OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), que substituíram os predecessores TM (Landsat 4 e 5) e ETM+ (Landsat 7). Além disto, foram incluídas duas novas bandas espectrais, uma projetada para estudos de áreas costeira (B1) e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus (B9) e a antiga banda 6 do TM e ETM+ passou a ser captada pelo sensor TIRS.

Figura 3.3 – Descrição das características do Landsat8.

LANDSAT8	
Lançamento	11/02/2013
Local de lançamento	NASA Kennedy Space Center (KSC)
Veículo Lançador	Atlas-V 401
Situação Atual	Ativo
Órbita	Circular
Altitude	705 km
Inclinação	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	99 min
Horário de passagem	1:40 PM
Período de Revisita	16 dias
Tempo de vida projetado	5 anos
Instrumentos sensores	OLI e TIRS

Fonte: EMBRAPA (2021).

3.3.1 Operational Land Imager (OLI)

O sensor OLI possui nove bandas espectrais que coletam dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, além de uma banda pancromática. Avanços tecnológicos demonstrados por outros sensores experimentais da NASA foram introduzidos no sensor OLI, que passou a ter quantização de 12 bits. A entrada em operação do sensor a bordo do Landsat 8, permite a continuidade dos trabalhos em sensoriamento remoto iniciados na década de 1970, com a missão Landsat.

Figura 3.4 – Bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do sensor (OLI) Operational Land Imager.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Área Imageada (km)	Resolução Radiométrica (bits)
OLI	Costal (B1)	0,433 - 0,453	30	16	185	12
	Azul (B2)	0,450 - 0,515				
	Verde (B3)	0,525 - 0,600				
	Vermelho (B4)	0,630 - 0,680				
	Infravermelho próximo (B5)	0,845 - 0,885				
	Infravermelho médio (B6)	1,560 - 1,660				
	Infravermelho médio (B7)	2,100 - 2,300				
	Pancromático (B8)	0,500 - 0,680	15			
	Cirrus (B9)	1,360 - 1,390	30			

Fonte: EMBRAPA (2022).

3.3.2 Thermal Infrared Sensor (TIRS)

O sensor TIRS possui duas bandas espectrais na faixa do infravermelho termal (B10 e B11) que substituíram a aquisição de dados captados pela banda 6 dos sensores TM e ETM+. Os dados do sensor TIRS possuem 100m de resolução espacial, com resolução radiométrica de 12 bits e corregristo com os dados oriundos do sensor OLI conforme observado na **Figura 3.5**.

Figura 3.5 – Bandas espectrais na faixa do infravermelho termal do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor).

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Área Imageada	Resolução Radiométrica (bits)
TIRS	LWIR-1 (B10)	10,30 – 11,30	100	16	158	12
	LWIR-2(B11)	11,50 – 12,50				

Fonte: EMBRAPA (2022).

3.4 TERRA

O satélite TERRA (**Figura 3.6**) foi lançado em 18 de dezembro de 1999 como parte do programa da NASA denominado Earth Observing System (EOS). Trata-se de uma missão cujo objetivo é contribuir para as pesquisas sobre a dinâmica atmosférica global e suas interações com a superfície terrestre e oceano. Uma das áreas consiste no estudo sobre as mudanças no uso e ocupação do solo, dinâmica das vegetações e da agricultura, temperatura da superfície e ocorrência de queimadas.

Figura 3.6 – Descrição das características do satélite TERRA.

TERRA	
Lançamento	18/12/1999
Local de lançamento	Vandenberg Air Force Base
Veículo Lançador	Atlas IIAS
Situação Atual	Ativo
Órbita	Polar e heliossíncrona
Altitude	705 km
Inclinação	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	98,1 min
Horário de passagem	10:30 A.M.
Período de Revisita	16 dias
Tempo de vida projetado	6 a 7 anos
Instrumentos sensores	ASTER, MODIS, MISR, CERES e MOPPIT

Fonte: EMBRAPA (2022).

3.4.1 *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*

O sensor ASTER (**Figura 3.7**) é um dos cinco instrumentos acoplados no satélite Terra e possui quinze bandas espectrais que coletam dados na faixa do visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e infravermelho termal. As bandas 3 e 4 fornecem informações do mesmo espectro (0,760 - 0,860 μm) porém com visadas no Nadir e Off-Nadir

a fim de gerar modelos digitais de elevação. O sensor apresenta resoluções espacial de 15, 30 e 90m, temporal de 16 dias e radiométrica de 8 bits (VNIR e SWIR) e 12 bits (TIR).

Figura 3.7 – Bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do sensor (ASTER) Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Área Imageada (km)	Resolução Radiométrica (bits)
ASTER	1	0,520 - 0,600	15	16	60	8
	2	0,630 - 0,690				
	3 (Nadir)	0,760 - 0,860				
	4 (Off-Nadir)	0,760 - 0,860				
	5	1,600 - 1,700	30	16	60	
	6	2,145 - 2,185				
	7	2,185 - 2,225				
	8	2,235 - 2,285				
	9	2,295 - 2,365				
	10	2,360 - 2,430				
	11	8,125 - 8,475	90	16	60	
	12	8,475 - 8,825				
	13	8,925 - 9,275				
	14	10,250 - 10,950				
	15	10,950 - 11,650				

Fonte: EMBRAPA (2022)

3.5 Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Segundo Steinke et al (2010) a TST é um parâmetro físico relativo ao fluxo de radiação emitido em comprimentos de onda longa (espectro do infra vermelho termal) pela superfície terrestre em função da interação com a energia solar. Trata-se de um parâmetro relevante que pode ser utilizado em diversas análises ambientais, inclusive no planejamento urbano no que diz respeito ao conforto térmico.

No decorrer da evolução do SR surgiram vários sensores capazes de estimar a TST através da captação do infravermelho termal emitido pela superfície com resoluções espaciais, radiometrias e temporais satisfatórias O registro na banda termal corresponde à temperatura radiante da superfície e a imagem produzida é expressa por um conjunto de pixel, que representa a média do valor de brilho (ou número digital) da menor área visualizada pelo sensor.

Mesmo nos grandes centros urbanos como Belo Horizonte, que via de regra têm maior números de estações meteorológicas espalhadas pela cidade, não é possível obter valores precisos de TST devido a complexidade dos espaços urbanos. Apesar das diversas limitações apontadas por Ferreira (2021), como os efeitos atmosféricos, os angulares (decorrentes da inclinação do sensor) e de emissividade das superfícies, o uso do SR aplicado ao estudo da TST ainda é o único dado disponível para análises em grandes escalas. A fim de conferir acurácia aos resultados, pode-se, por exemplo, comparar o LST *in situ* obtido a partir de medições de radiância espacialmente representativas em locais homogêneos.

3.6 Índices de vegetação

Os índices de vegetação são basicamente expressões matemáticas aplicadas no processamento de imagens que realizam o contraste entre os atributos biofísicos da vegetação e a área circundante. Eles variam de acordo com o objetivo da análise e podem fornecer informações relevantes sobre a vegetação, como o seu desenvolvimento, sua biomassa, ausência de nutrientes, a cobertura do solo entre outros.

O cálculo é realizado a partir de operações aritméticas entre os valores de reflectância dos pixels homólogos de diferentes bandas, geralmente do vermelho e infravermelho próximo. O produto final é uma nova imagem com valores do índice em cada pixel cujos valores variam de acordo com cada expressão matemática.

No decorrer do desenvolvimento das técnicas de SR vários índices de vegetação foram criados. Zhu e al. (2019) ao propor o índice Novel Moisture Adjusted Vegetation Index (MAVI) evidenciaram os índices de vegetação mais utilizados no sensoriamento remoto **(Figura 3.8)**

Figura 3.8 – Índices de Vegetação mais usuais.

Índice de vegetação	Fórmula	Referência
Simple ratio	$SR = NIR/R$ [5]	Jordan (1969)
Normalized difference vegetation index	$NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)$	Rouse et al. (1974)
Perpendicular vegetation index	$PVI = (NIR-aR-b)/(a^2+1)^{1/2}$	Richardson e Wiegand (1977)
Soil adjusted vegetation index	$SAVI = (NIR-R)/(NIR+R+L)(1+L)$	Huete (1988)
Weighted difference vegetation index	$WDVI = NIR-aR$	Clevers (1989)
Transformed soil adjusted vegetation index	$TSAVI = a(NIR-aR-b)/(R+a(NIR-b)+X(1+a^2))$	Baret e Guyot (1991)
Modified soil adjusted vegetation index	$MSAVI = (2NIR+1-((2NIR+1)^2-8(NIR-R))^{1/2})/2$	Qi et al. (1994)
Optimized soil adjusted vegetation index	$OSAVI = (NIR-R)/(NIR+R+Y)$	Rondeaux, Steven e Baret (1996)
Generalized soil adjusted vegetation index	(GESAVI) $GESAVI = (NIR-aR-b)/(R+Z)$	Gilabert (2002)
Atmospherically resistant vegetation index	$ARVI = (NIR-RB)/(NIR+RB)$, $RB = R-c(B-R)$	Kaufman e Tanre (1992)
Modified normalized difference vegetation index	$MNDVI = NDVI_6(SWIR_{max}-SWIR)/(SWIR_{max}-SWIR_{min})$	Nemani (1993)
Enhanced vegetation index	$EVI=2.56((NIR-R)/(NIR+6R27.5B+1))$	Liu e Huete (1995)
Reduced simple ratio	$RSR = SR_6(SWIR_{max}-SWIR)/(SWIR_{max}-SWIR_{min})$	Brown et al. (2000)
Moisture adjusted vegetation index	$MAVI = (NIR-R)/(NIR+R+SWIR)$	Zhu et al. (2014)

Nota: B, R, NIR e SWIR são a refletância da superfície nas bandas azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, respectivamente.

Fonte: Adaptado de Zhu et al. (2014).

3.7 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada é um dos índices de vegetação mais usuais em análises ambientais (Zhu et al., 2014). Trata-se de um indicador utilizado na verificação da quantidade e estado da vegetação, baseado em cálculos que consideram a energia absorvida e refletida de acordo com a REM que atinge a mesma.

Ele consiste na razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo (ρ_{iv}) e no vermelho (v) pela soma dessas (Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. apud de LIMA e outros, 2017).

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (3.1)$$

onde ρ_{iv} é infravermelho próximo e o ρ_v é vermelho.

Apesar de o NDVI ser uma expressão matemática simples ele tem se mostrado muito útil em análises de parâmetros biofísicos da vegetação uma vez que sua aplicação reduz várias formas de ruídos, como os efeitos topográficos, diferenças de iluminação, sombra de nuvens e atenuação atmosféricas. O índice valor pode variar entre -1 e $+1$, quanto mais próximo de 1 , maior a densidade de cobertura vegetal, próximo de 0 , ausência de vegetação (rochas e solo descoberto) e valores negativos, nuvens, água e neve, por exemplo.

3.8 Google Earth Engine

O Google Earth Engine (GEE), lançado originalmente em 2010 para cientistas e ONGs, é uma plataforma gratuita de monitoramento ambiental em escala planetária, que permite aos usuários visualizar e analisar imagens de satélites globais em nuvem coletadas há mais de 40 anos. Segundo levantamento realizado por Gorelick et al. (2017), trata-se de uma ferramenta que tem sido utilizada em inúmeros estudos, desde ecologia à medicina, com destaque para as áreas de mapeamento e gestão de recursos naturais.

A plataforma consiste em uma interface de programação simples que utiliza as linguagens JavaScript e o Python permitindo a visualização simultânea de diversos dados. Assim, o GEE representa um grande avanço nas análises de evolução da TST por disponibilizar por uma vasta coleção de dados geoespaciais pré-processados e uma biblioteca com diversos algoritmos para mapeamento.

4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada ao presente estudo se baseou em uma abordagem quali-quantitativa dos dados. Preliminarmente, foi realizado o levantamento bibliográfico a fim de fundamentar a escolha das constantes e variáveis. Para isto, consultou-se livros, artigos científicos, dissertações, teses e leis disponíveis em plataformas digitais, cujas palavras chave utilizadas nos motores de pesquisa foram: temperatura de superfície terrestre; uso e ocupação do solo; e sensoriamento remoto.

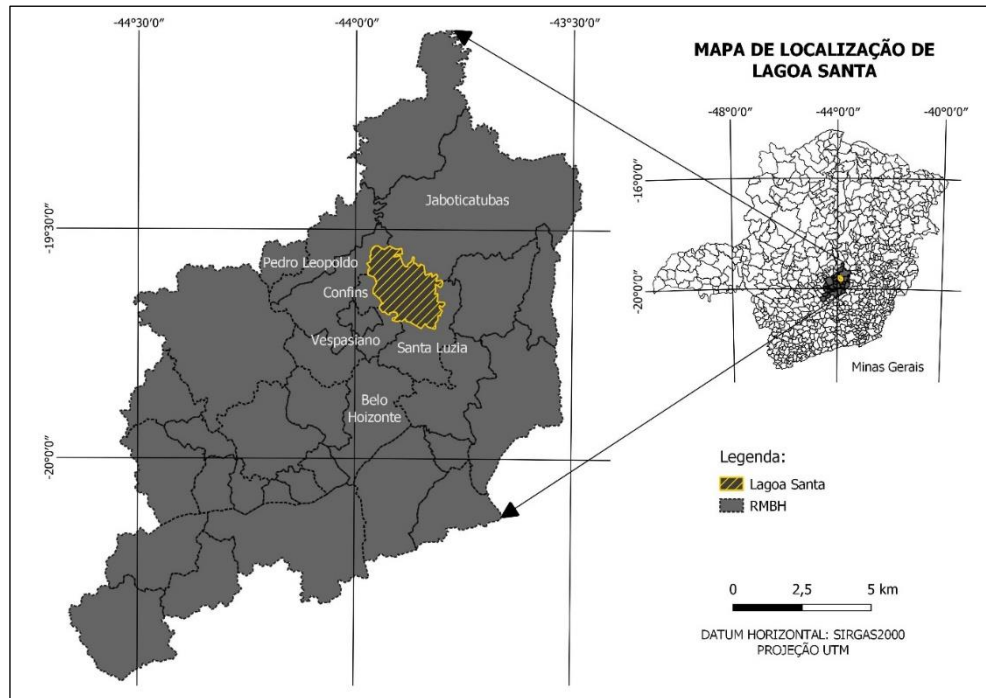
Após definir o recorte espaço-temporal da análise, na primeira etapa prosseguiu-se com o processamento e calibração das imagens, bem como as amostragens dos dados e análise, disponibilizadas de forma gratuita nas coleções de imagens do Google Earth Engine (GEE).

4.1 Recorte da Área de Estudo

O município de Lagoa Santa é constituído pela Sede Municipal e mais dois Distritos (Lapinha e Lagoinha de Fora) e está localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte (ARMBH) a uma distância de aproximadamente 39km da capital do estado – Minas Gerais. O centro da cidade está posicionado no entorno da coordenada geográfica 19°37'40"S e 43°53'31"O, próximo a Lagoa Central.

O perímetro municipal faz divisa ao norte e sul com Jaboticatubas e Vespasiano, respectivamente, ao leste com Santa Luzia e ao oeste com Pedro Leopoldo e Confins (**Figura 4.1**). Integra a RMBH desde 1973 quando foi promulgada a Lei Federal nº 14 de 1973. Hoje compõe o eixo de expansão vetor norte, que contempla os municípios de “Ribeirão das Neves, Santa Luzia, Vespasiano, Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, São José da Lapa, Confins, Jaboticatubas e os bairros localizados na área de influência das Administrações Regionais de Venda Nova e Norte do Município de Belo Horizonte” (MINAS GERAIS, 2008).

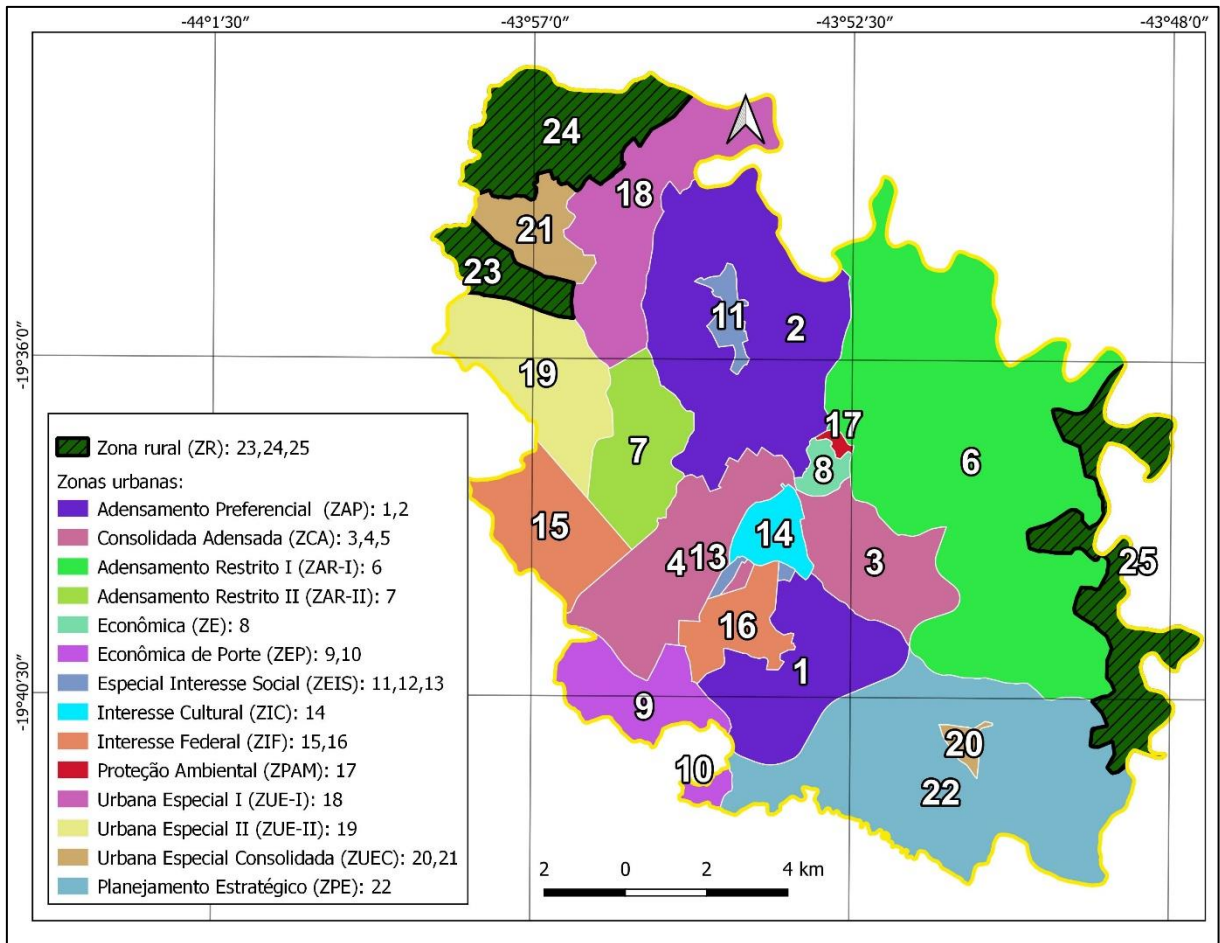
Figura 4.1 – Localização de Lagoa Santa no Estado de Minas Gerais.



Fonte – O Autor (2022).

A **Figura 4.2** apresenta as 25 porções do território municipal, distribuídas entre as 14 modalidades de Zona Urbana e Zona Rural, determinadas de acordo com possibilidades de adensamento e uso do solo, são elas: I - Zona de Adensamento Preferencial (ZAP); II - Zona Consolidada Adensada (ZCA); III - Zona de Adensamento Restrito I (ZAR-I); IV - Zona de Adensamento Restrito II (ZAR-II); V - Zona Econômica (ZE); VI - Zona Econômica de Porte (ZEP); VII - Zonas de Especial Interesse Social (ZEIS); VIII - Zona de Interesse Cultural (ZIC); IX - Zona de Interesse Federal (ZIF); X - Zona de Proteção Ambiental (ZPAM); XI - Zona Urbana Especial I (ZUE-I); XII - Zona Urbana Especial II (ZUE-II); XIII - Zona Urbana Especial Consolidada (ZUEC); XIV - Zona de Planejamento Estratégico (ZPE)

Figura 4.2 – Zoneamento e suas porções territoriais conforme Anexo IX da Lei nº 4.129, de 16 de janeiro 2018 de Lagoa Santa-MG.



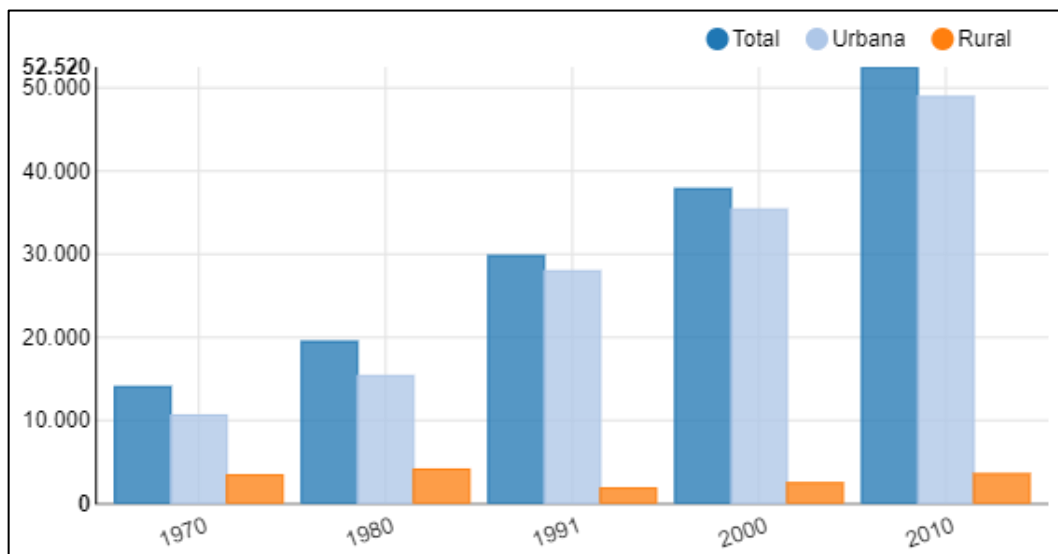
Fonte – O Autor (2022).

4.1.1 Crescimento Populacional

Segundo o último censo realizado pelo IBGE (2010) o município era a 63ª mais populoso do estado, detinha uma população de 52.520 habitantes distribuída em uma área de 228, 227 km², representando, portanto, uma densidade demográfica de 229,08 hab/km². No que se refere à distribuição, 48.949 dos habitantes residiam em domicílio urbano (93,20%) e apenas 3.571 residiam em domicílio rural (6,80%) (**Figura 4.3**).

Para este mesmo ano, o Produto Interno Bruto (PIB) de Lagoa Santa (PIB) foi de R\$ 982,774 milhões (IBGE, 2017), o que corresponde a um PIB per capita de R\$ 18.710,24. Uma vez que não há estimado o PIB referente a 2022, a estimativa mais recente do município é de 2019 e corresponde a R\$ 1.814.792 milhões, totalizando um crescimento de 84% entre 2010 e 2019. Ao analisar os dados, percebe-se que desde a década de 70 o município de Lagoa Santa já detinha uma população residente na zona urbana superior à zona rural.

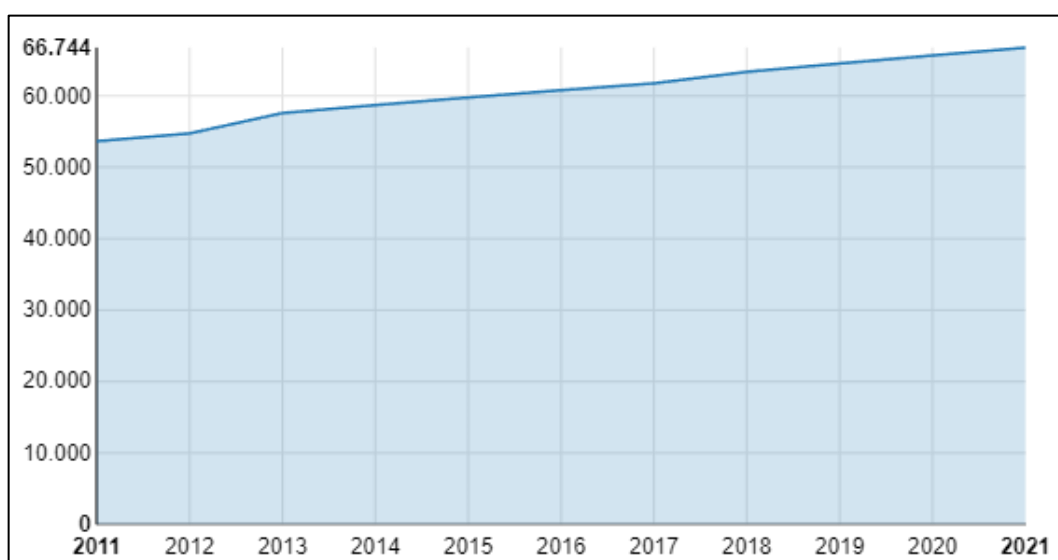
Figura 4.3 – População residente por situação do domicílio segundo censos realizados entre 1970 e 2010.



Fonte – IBGE (2022)

As estimativas são realizadas para os anos em que não há Censo Demográfico ou Contagem da População. Assim, conforme observado na **Figura 4.4**, a população total do município em 2021 (última estimativa antes de 2022), foi de aproximadamente 66.744 habitantes, representando um crescimento de 27,08% entre 2010 e 2021.

Figura 4.4 – População residente estimada entre 2011 e 2021 (ano x nº de habitantes).



Fonte – IBGE (2022)

4.1.2 Aspectos fisiográficos

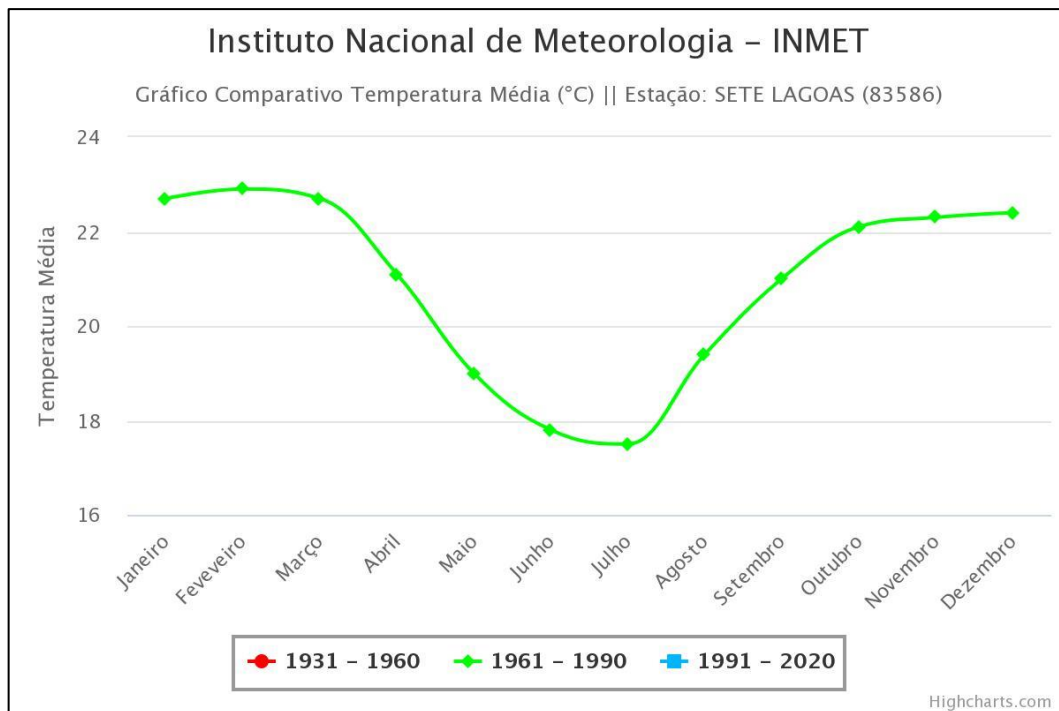
O território de Lagoa Santa está inserido em planaltos com relevos pouco acentuados com presença de feições *carsticas* de significativa relevância para a arqueologia e paleontologia a nível mundial.

Na região ocorrem afloramentos de calcários, siltitos, folhelhos e calciofilitos alterados da litografia do Grupo Bambuí, que engloba as Formações Vespasiano, Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, recobertos por solos de origens eluvial, coluvial e aluvial.

Encontra-se inserida na bacia hidrográfica estadual do Rio das Velhas, mais precisamente no Médio Alto Rio das Velhas – entre o Rio das Velhas e o Ribeirão da Mata, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica federal do Rio São Francisco.

Segundo o sistema de classificação climática proposto por Edmon Nimer (1989), o clima da região é caracterizado como Tropical Brasil Central – subquente, com temperatura média entre 15 e 18 °C em pelo menos 1 mês e semi-úmido com 4 a 5 meses secos (inverno).

Figura 4.5 – Temperaturas mensais da Normal Climatológica em Sete Lagoas (mês x temperatura média em °C).

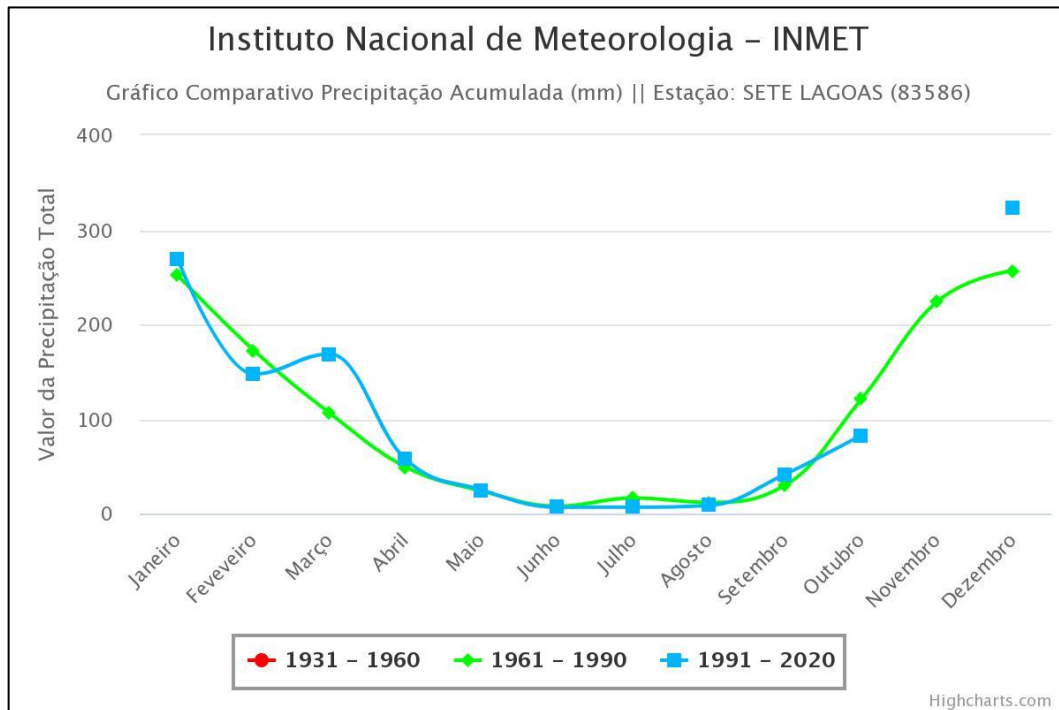


Fonte: INMET (2010)

Segundos os dados coletados pela Estação Sete Lagoas (83586) disponibilizados pelo INMET (2022), a temperatura média anual da região é de 21,91°C, sendo que os períodos mais frios são os mais secos, e os mais quentes os mais chuvosos, enquanto a umidade relativa do ar possui uma média anual de 68,68%.

O volume médio de precipitação acumulado por ano da região é de 1.204,25 mm, sendo que os períodos mais chuvosos ocorrem entre os meses de outubro e março, conforme exposto na **Figura 4.6**.

Figura 4.6 – Precipitações mensais da Normal Climatológica em Sete Lagoas (mês x valor da precipitação em mm).

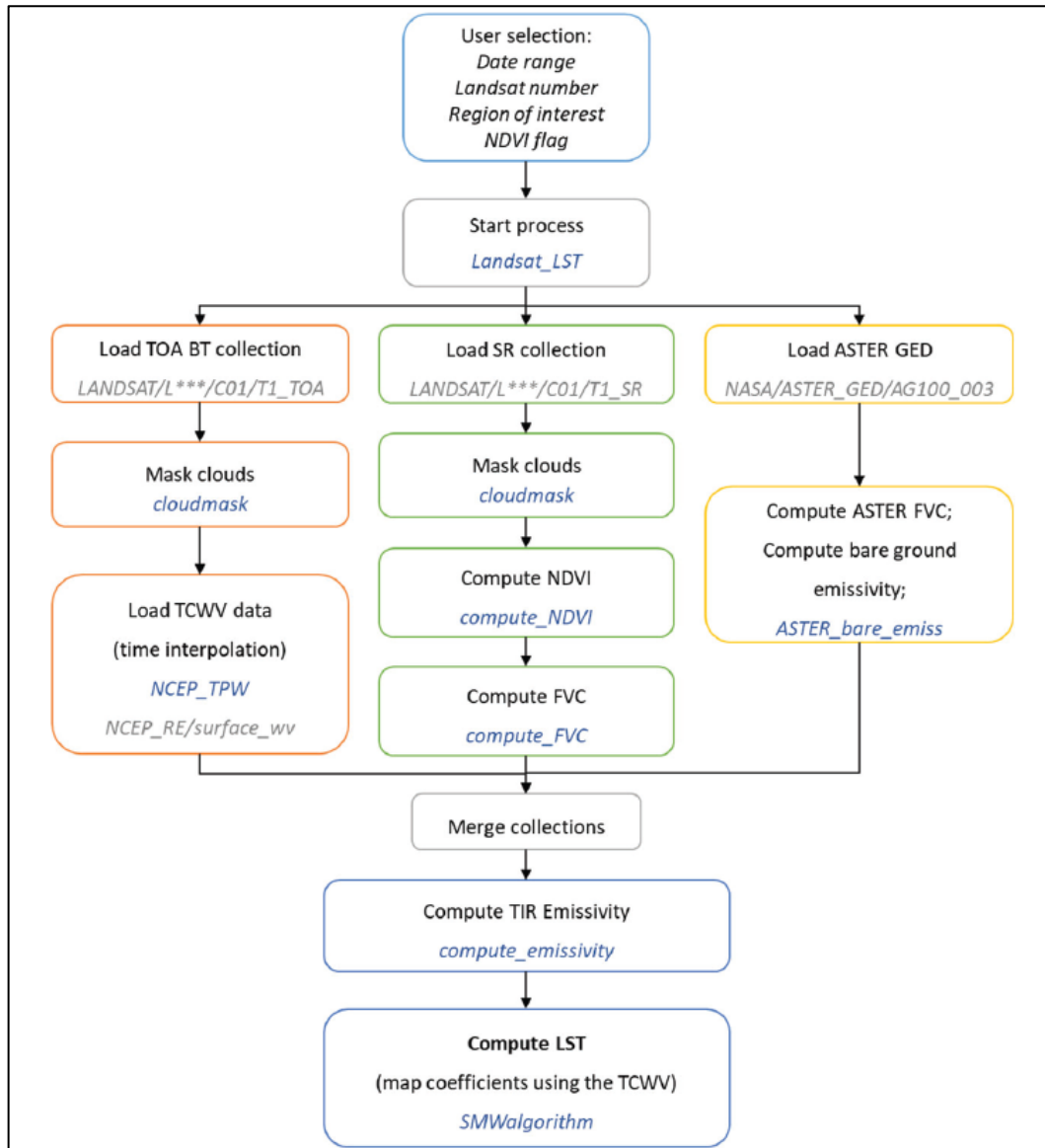


Fonte: INMET (2022)

4.2 Processamento dos Dados no GEE

O algoritmo utilizado no processamento da TST foi elaborado por Ermida et al. (2020) e o código está disponível nos repositórios do GEE e GitHub.

Figura 4.7 – Fluxograma de processamento da TST no Google Earth Engine (GEE). Os textos em azul indicam funções codificadas em módulos e os nas cores cinza conjuntos de dados do GEE.



Fonte: Ermida et al. (2020).

4.2.1 Satélites e Imagens Utilizados

As imagens utilizadas no presente estudo são provenientes do satélite Landsat8 e foram captadas em julho (estação seca) conforme especificado na **Figura 4.8**. Esse período foi

selecionado por haver imagens disponíveis com baixo índice de cobertura de nuvens, priorizando-se aquelas com menos de 5% de recobrimento.

Utilizou-se imagens do espectro visível (B4, B5 e B6) com resolução espacial de 30m do sensor OLI para a geração das composições coloridas e imagens do infravermelho termal (B10) do sensor TIRS com resolução espacial de 100m, porém reamostradas para 30m. As mesmas correspondem a órbita/ponto 218-73 e estão georreferenciadas para o fuso UTM 23S, *datum* horizontal SIRGAS2000.

Figura 4.8 – Resumo do conjunto de dados utilizados no estudo.

Satélite	Bandas	Coleção	Tempo de travessia equatorial	Data de aquisição
Landsat8	B2 a B7 B10 ¹	C02/T1_SR C02/T1_TOA	10:00 (16-day)	08/07/2013 16/07/2016 09/07/2019 01/07/2022

¹Resolução espacial reamostrada para 30 m.

Fonte: O Autor (2022).

4.2.2 Cálculo da Emissividade de Superfície

O algoritmo elaborado por Emida et al. (2020) utiliza no cálculo da TST valores de emissividade de superfície dos satélites Landsat8 e Aster GEDv3, adequando-se os dados deste para corresponder às bandas térmicas do primeiro. Assim, calcula-se o NDVI proveniente do Landsat8 e o NDVI médio do ASTER GEDv a fim de aplicar na equação de Fração de Cobertura Vegetal (FVC) abaixo,

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_S}{NDVI_V - NDVI_S} \right)^2 \quad (4.1)$$

onde NDVI é uma média ponderada das áreas de vegetação e sem vegetação, enquanto o $NDVI_S$ e $NDVI_V$ são os valores de NDVI correspondentes aos solos expostos e às áreas totalmente recobertas por vegetação. Os valores adotados por Ermida et al. (2020) foram $NDVI_S = 0,2$ e $NDVI_V = 0,86$, respectivamente, baseados na literatura.

Os valores de emissividade sobre áreas com vegetação a qualquer momento podem ser derivados usando o método de cobertura vegetal descrito abaixo,

$$\varepsilon_B = FVC\varepsilon_{bV} + (1 - FVC)\varepsilon_{b,S} \quad (4.2)$$

onde ε_{bV} e ε_{bS} são a emissividade da vegetação e do solo exposto para uma dada banda espectral b . A emissividade de superfícies vegetadas normalmente mostra variações relativamente pequenas na região do TIR e, portanto, o valor dado para $\varepsilon_{bVEG} = 0,99$. Para cada pixel, a emissividade efetiva ε_B de cada banda do Landsat é calculada da seguinte forma,

- a) A FVC do ASTER é calculada a partir do NDVI usando (1);
- b) A emissividade do solo exposto (ε_{bS}) para cada banda ASTER é derivada da emissividade ASTER original (ε_b) e da FVC do ASTER correspondente, aplicando-se (2) com o valor de $\varepsilon_b = 0,99$;
- c) A emissividade do solo exposto para cada banda Landsat TIR (ε_{bS}) deriva da emissividade do solo exposto do ASTER usando os ajustes espectrais;
- d) Os valores de FVC para a imagem de Landsat são calculados a partir dos respectivos valores de NDVI usando (1);
- e) O método de cobertura vegetal (2) é usado para obter a emissividade real da superfície para cada banda Landsat TIR.

No presente estudo, optou-se por escolher os valores de emissividade corrigidos com base no NDVI.

4.2.3 Cálculo da TST

O algoritmo a ser utilizado no cálculo da TST é o Statistical Mono-Window (SMW) desenvolvido pela Climate Monitoring Satellite Application Facility (CM-SAF). Trata-se de um modelo de regressão linear empírico que relaciona a temperatura de brilho do topo de atmosfera (TOA) do canal TIR e a TST, conforme segue,

$$TST = A_i \frac{Tb}{\varepsilon} + B_i \frac{Tb}{\varepsilon} + C_i \quad (4.3)$$

onde Tb é a temperatura de brilho TOA no canal TIR e ε é a emissividade da superfície para o mesmo canal enquanto A_i , B_i e C_i são os coeficientes determinados a partir de regressões lineares de simulações de transferência radiativa realizadas para 10 classes de coluna total de vapor d'água.

4.3 Processamento dos Dados no QGIS

Após a obtenção dos produtos descritos nos tópicos anteriores foram realizadas as análises estatísticas e a elaboração dos mapas no software livre QGIS versão 3.22.7-Białowieża.

4.3.1 Classificação do uso e ocupação do solo

A classificação supervisionada do uso e ocupação do solo foi gerada a partir do software DZetsaka por meio do emprego do algoritmo Random Forest cuja quantidade de amostras foi de 92. As classes utilizadas foram aquelas previstas pelo MapBiomias, com exceção da classe “Formação natural não florestal” devido a baixa quantidade de elemento visualizados.

Figura 4.9 – Classes temáticas de uso do solo e ocupação do solo.

Classes		Descrição
Área Urbanizada		Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
Área não vegetada	Mineração	Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação antrópica. Somente são consideradas áreas próximas a referências
	Outras áreas não vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes e regiões de solo exposto em área natural ou em áreas de cultura em entresafra.
Formação florestal		Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) além de florestas estacionais semidecíduais.
Formação savânica		Formações savânicas com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre).
Agropecuária	Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas.
	Agricultura	Lavouras temporárias e perenes
	Mosaico de Usos	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
Água	Rio e Lago	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados aqui apresentados foram divididos em cinco partes: 1) Classificação do uso e ocupação do solo; 2) Relação da TST com os Usos e Coberturas do Solo; 3) Relação da TST com o NDVI; 4) Análise focal da TST; e 5) Classificação das porções por TST média. Neste sentido, pretende-se com este capítulo, descrever e discutir os resultados obtidos a partir propostas dos objetivos específicos.

5.1 Classificação do Uso e Ocupação do Solo

Os mapas de uso e ocupação do solo de Lagoa Santa referentes às datas 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022 (**Figura 5.1**) bem como os quantitativos seguem abaixo (**Tabela 5.1**).

O desempenho geral das classificações de 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022 foi de 99,11%, 97,55%, 97,61% e 97,49%, respectivamente. Os valores do índice Kappa conferida às classificações foi de 0,99 para 08/07/2013 e 0,97 para as demais datas, consideradas de excelente qualidade conforme classificação de Landis e Koch (1977).

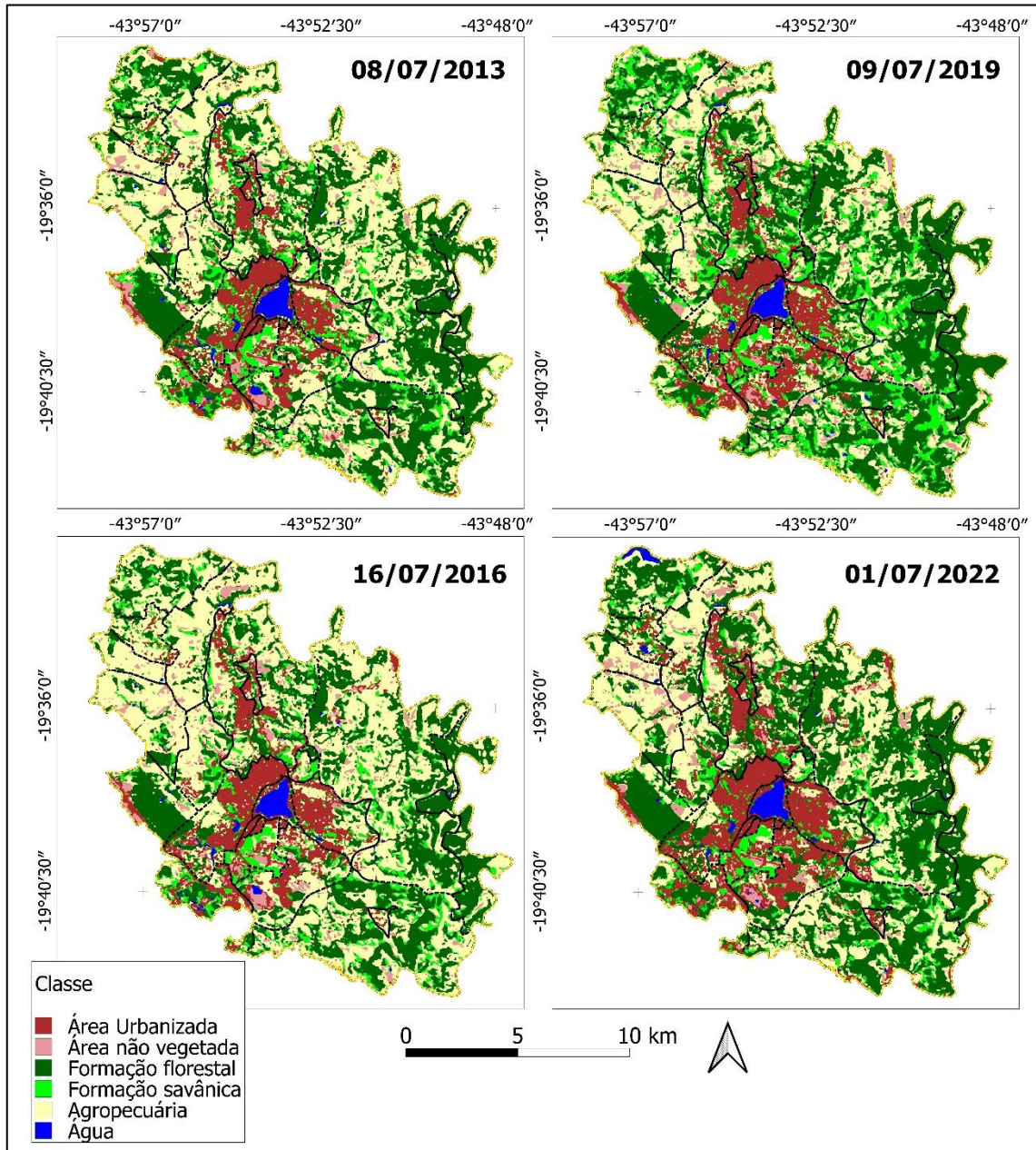
Tabela 5.1 – Classes de uso e ocupação do solo a nível municipal - Lagoa Santa-MG.

Classe	Área (km ²)			
	08/07/2013	16/07/2016	09/07/2019	01/07/2022
Área urbanizada	25,88	27,63	27,94	35,63
Área não vegetada	7,28	9,40	9,70	10,49
Formação florestal	77,14	66,51	85,51	87,12
Formação savânica	23,57	21,81	37,49	20,30
Agropecuária	91,13	99,97	65,08	71,38
Água	3,24	2,92	2,52	3,31

Fonte: O Autor (2022).

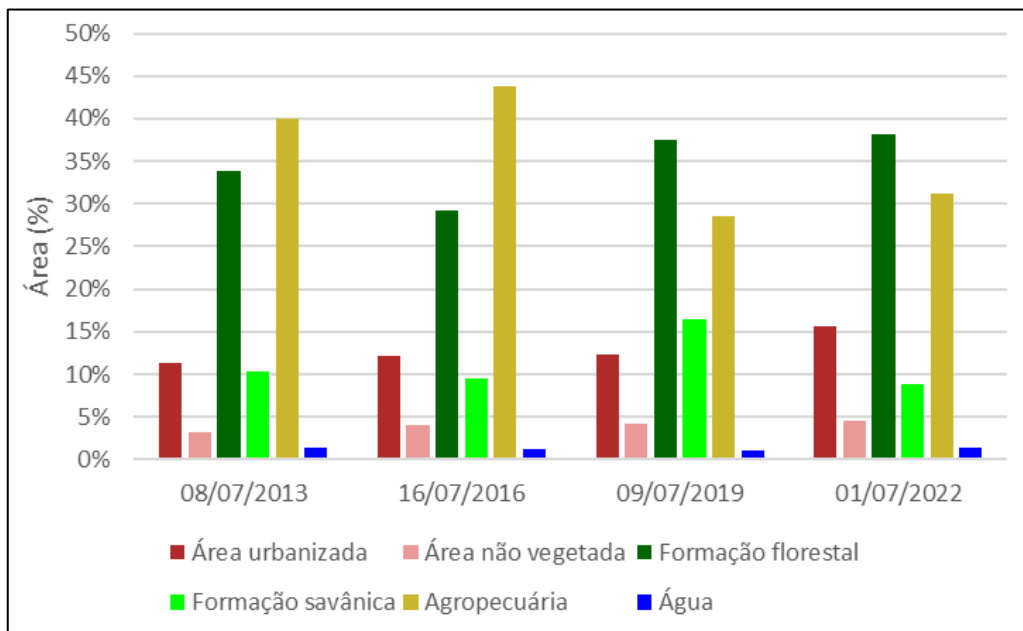
No que diz respeito a classe “área urbanizada”, houve um aumento de 9,75 km² (4,27%) entre as datas 08/07/2013 e 01/07/2022. No mesmo sentido, obteve-se aumentos de 3,21 km² (1,41%) de “área não vegetada”; 9,98 km² (4,37%) de “formação florestal”; 0,08 km² (0,04%) de “água”. Tratando-se de decréscimos, obteve-se -3,27 km² (-1,43%) de “formação savânica” e -19,75 km² (-8,65%) de “agropecuária”.

Figura 5.1 – Uso e ocupação do solo de Lagoa Santa referente às datas 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022.



Fonte: O Autor (2022).

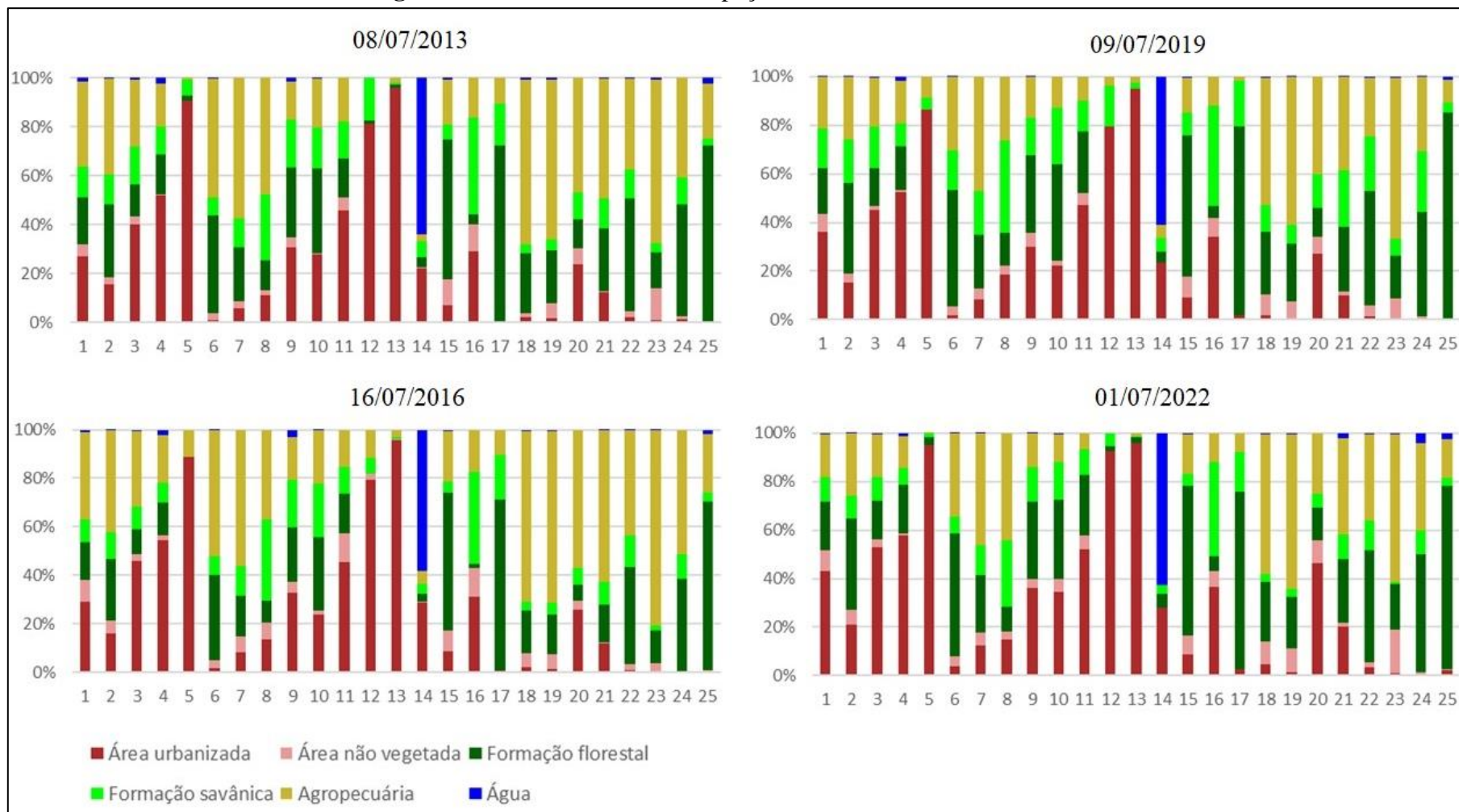
As variações encontradas para a classe “área urbanizada” se devem ao processo de urbanização, que tem substituído as superfícies naturais por materiais como concreto, asfalto e vários outros. A classe “área não vegetada” não sofreu variações significativas uma vez que as datas analisadas se encontram próximas, portanto, apresentam características semelhantes, muitas destas são referentes aos talhões colhidos ou prepara da terra para cultivo, por exemplo.

Figura 5.2 – Dinâmica do uso e cobertura do solo a nível municipal.

Fonte: O Autor (2022).

A **Figura 5.3** apresenta o quantitativo de área de cada classe para cada porção do zoneamento urbano de acordo com a respectiva data, excluindo a zona rural. Assim, no que diz respeito a “área urbanizada”, as porções que apresentaram as maiores percentagem média são a 5 (ZCA), 12 e 13 (ZEIS) enquanto as menores são 6 (ZAR-I), 17 (ZPAM) e 19 (ZUE-I); “área não vegetada”, as maiores são 1 (ZAP), 15 e 16 (ZIF), e as menores 13 (ZEIS), 14 (ZIC) e 17 (ZPAM); “Formação florestal”, as maiores são 15 (ZIF), 17 (ZPAM) e 22 (ZPE), e as menores 5 (ZC), 12 e 13 (ZEIS); “Formação savânica”, as maiores são 8 (ZE), 10 (ZEP) e 16 (ZIF), e as menores 5 (ZCA), 13 (ZEIS) e 14 (ZIC); “agropecuária”, as maiores 7 (ZAR-II), 18 (ZUE-I) e 19 (ZUE-II), e as menores 12 e 13 (ZEIS) e 14 (ZIC); por fim, as porções que mais apresentaram “água” foram 4 (ZCA), 9 (ZEP) e 14 (ZIC), as demais não apresentaram valores significativos.

Figura 5.3 – Classes de uso e ocupação do solo a nível de zoneamento.



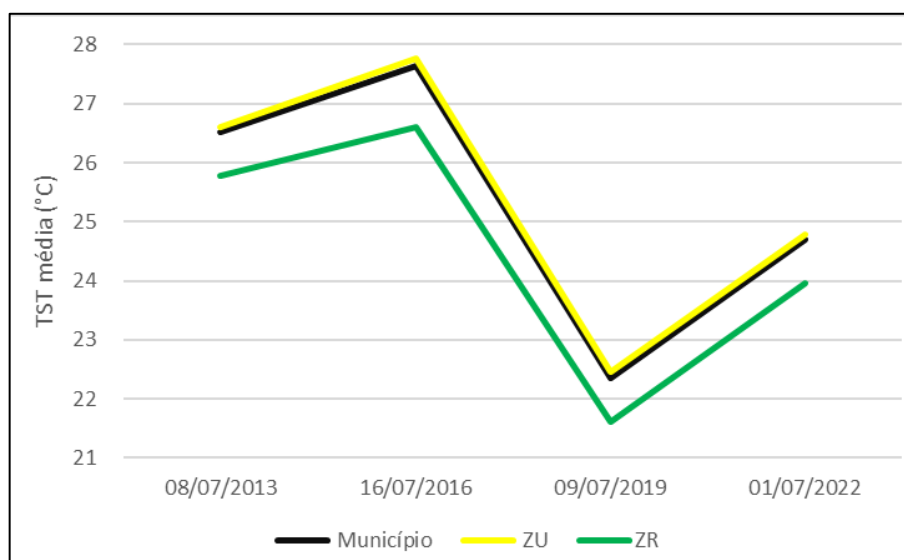
Fonte: O Autor (2022)

5.2 Relação da TST com os Usos e Coberturas do Solo

Os valores de TST gerados a partir do algoritmo proposto por Ermida et al. (2020) foram agrupados de acordo com a escala do estudo - a nível municipal incluindo zonas urbana e rural e a nível de classes de uso e ocupação do solo.

Tratando-se da TST a nível de município, a menor média (22,36 °C) ocorreu em 09/07/2019 e a maior (27,64 °C) em 16/07/2016, sendo que nesta data também foi registrada a maior amplitude térmica (18,21 °C) enquanto em 08/07/2013 e em 01/07/2022 as médias foram de 26,1 °C e 24,69 °C, respectivamente. As TST registradas para o perímetro urbano de Lagoa Santa nas referidas datas foram em média 0,10°C maior do que para todo o município enquanto em relação a zona rural foi de 0,91°C como pode ser observado na **Figura 5.4**.

Figura 5.4 – TST média a nível de município, zona urbana e zona rural.



Fonte: O Autor (2022).

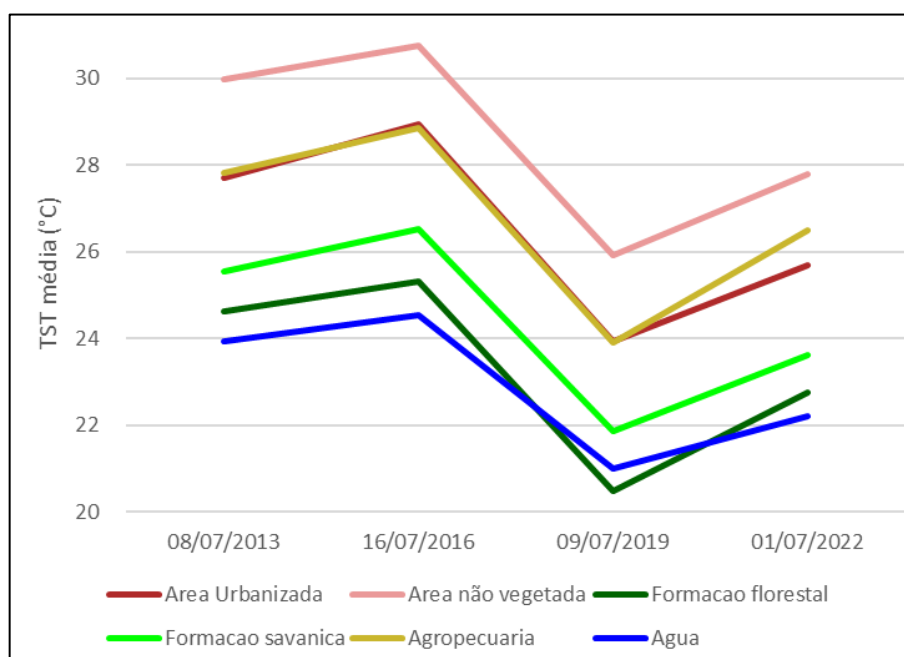
Ao analisar os dados da **Tabela 5.2**, constata-se que os valores de desvio padrão foram significativos tanto na zona urbana quanto na zona rural heterogeneidade das superfícies e características dos materiais. No entanto, na zona rural os valores foram mais significativos em virtude de maiores áreas das classes “solo exposto” e “agropecuária” por possuírem alta TST devido à baixa umidade no mês de julho.

Tabela 5.2 – Análise da TST a nível de município, zona urbana e zona rural.

Data	Região	TST (°C)					
		Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Variância
08/07/2013	Município	26,51	26,36	2,15	20,45	35,12	4,62
	ZU	26,60	26,48	2,14	20,45	35,12	4,59
	ZR	25,78	25,50	2,06	20,76	34,20	4,26
16/07/2016	Município	27,64	27,50	2,39	20,85	39,06	5,72
	ZU	27,77	27,65	2,37	21,66	39,06	5,62
	ZR	26,61	26,31	2,31	20,85	34,44	5,32
09/07/2019	Município	22,36	22,18	2,21	15,81	32,80	4,89
	ZU	22,45	22,30	2,20	15,81	32,80	4,86
	ZR	21,62	21,40	2,13	17,03	28,23	4,52
01/07/2022	Município	24,69	24,43	2,38	18,66	33,06	5,68
	ZU	24,78	24,56	2,35	18,66	33,06	5,51
	ZR	23,96	23,27	2,52	19,51	31,90	6,37

Fonte: O Autor (2022).

A nível de uso e ocupação do solo, as classes que apresentaram os maiores valores de TST média foram, em ordem decrescente: “Área não vegetada”, “Área Urbanizada”, “Agropecuária”, “Formação savânica”, “Formação Florestal” e “Água conforme observado na **Figura 5.5**.

Figura 5.5 – TST média a nível de classes de uso e ocupação do solo.

Fonte: O Autor (2022).

Em 09/07/2019 (data mais fria), a TST média da classe “Formação Florestal” (20,48 °C) foi inferior à da “Água” (20,99 °C), portanto, menor em média 0,51 °C. Nesta data o valor mínimo observado para a “Formação florestal” foi de 15,92 °C e o da “Água” foi de 18,39 ° e o valor máximo 30,28 e 27,19 °C, respectivamente. Já em 01/07/2022, a TST média da classe “Agropecuária” (26,51 °C) foi inferior à da “Área urbanizada” (25,70 °C), ou seja, menor em média 0,81 °C e os valores mínimos e máximos foram, respectivamente, 21,15 e 33,06 °C e 21,19 e 31,77 °C como pode ser observado na **Tabela 5.3**.

Tabela 5.3 – Análise da TST a nível de classes de uso e ocupação do solo.

Data	Classe	TST (°C)					
		Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Variância
08/07/2013	Área urbanizada	27,71	27,60	1,38	23,56	33,69	1,91
	Area não vegetada	29,97	29,95	1,86	24,27	35,12	3,46
	Formação florestal	24,64	24,66	1,20	20,45	32,10	1,45
	Formação savânica	25,55	25,52	1,10	21,92	31,40	1,22
	Agropecuária	27,81	27,64	1,62	22,21	35,08	2,63
	Água	23,92	23,42	1,46	22,18	34,43	2,14
16/07/2016	Área urbanizada	28,95	28,80	1,60	23,79	36,60	2,56
	Area não vegetada	30,75	30,68	1,95	22,88	39,06	3,79
	Formação florestal	25,32	25,38	1,27	20,85	31,96	1,62
	Formação savânica	26,52	26,46	1,25	22,40	35,19	1,56
	Agropecuária	28,86	28,67	1,87	3,11	37,83	3,50
	Água	24,54	23,97	1,67	22,29	34,40	2,78
09/07/2019	Área urbanizada	23,93	23,80	1,62	16,58	32,80	2,61
	Area não vegetada	25,92	26,00	1,83	15,81	31,94	3,34
	Formação florestal	20,48	20,42	1,27	15,92	30,28	1,61
	Formação savânica	21,86	21,80	1,25	17,87	29,91	1,57
	Agropecuária	23,92	23,84	1,49	17,56	30,09	2,23
	Água	20,99	20,70	0,89	18,39	27,19	0,80
01/07/2022	Área urbanizada	25,70	25,57	1,47	21,19	31,77	2,17
	Área não vegetada	27,79	27,76	1,87	20,66	33,06	3,49
	Formação florestal	22,76	22,62	1,29	18,66	30,28	1,66
	Formação savânica	23,61	23,54	1,00	20,73	28,77	0,99
	Agropecuária	26,51	26,27	1,94	21,15	33,06	3,78
	Água	22,22	21,71	1,21	19,89	28,57	1,48

Fonte: O Autor (2022).

Uma possível explicação para a primeira situação (09/07/2019) seria o comportamento térmico da água em relação a vegetação, já a segunda situação (1/07/2022) pode ser decorrente de erro na classificação da imagem.

5.3 Relação da TST com o NDVI

Os valores mais altos de NDVI indicam maior atividade fotossintética da vegetação, e a correlação entre TST e NDVI é negativa devido ao processo de evapotranspiração, que reduz a temperatura da superfície, abaixo segue relação entre os dados de TST e NDVI das zonas (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Medidas de tendencia da relação entre TST e NDVI.

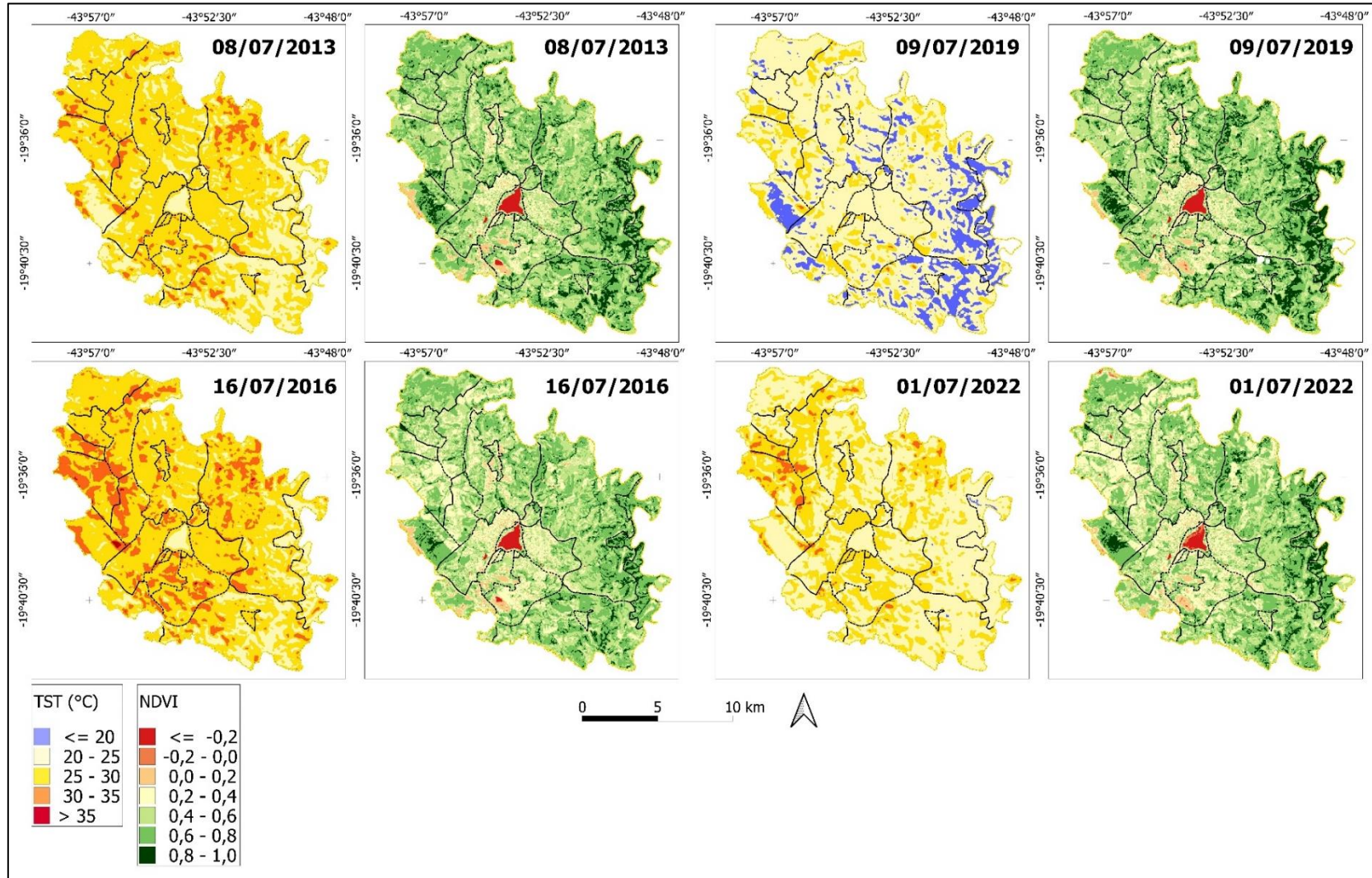
Zona	Nº	08/07/2013		16/07/2016		09/07/2019		01/07/2022		Média	
		TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI	TST	NDVI
ZAP	1	6,98	0,48	28,57	0,43	23,12	0,48	24,97	0,44	25,91	0,46
	2	6,62	0,57	27,44	0,53	22,34	0,58	24,64	0,54	25,26	0,56
	3	26,49	0,49	28,18	0,44	22,64	0,49	24,58	0,45	25,47	0,47
ZCA	4	27,04	0,48	28,41	0,43	23,07	0,47	25,21	0,44	25,93	0,45
	5	27,83	0,42	29,08	0,37	23,83	0,41	25,83	0,39	26,64	0,40
ZAR-I	6	26,68	0,63	27,58	0,59	22,04	0,65	24,39	0,60	25,17	0,62
ZAR-II	7	27,42	0,57	29,28	0,48	23,18	0,56	25,71	0,50	26,40	0,53
ZE	8	26,33	0,54	28,39	0,47	22,56	0,53	25,02	0,49	25,58	0,51
ZEP	9	26,36	0,49	27,42	0,45	22,51	0,50	24,71	0,45	25,25	0,47
	10	26,05	0,56	26,53	0,51	22,20	0,55	24,29	0,50	24,77	0,53
	11	26,89	0,46	27,49	0,42	22,51	0,48	24,86	0,45	25,44	0,45
ZEIS	12	27,71	0,43	29,34	0,35	24,28	0,38	26,60	0,35	26,98	0,38
	13	28,66	0,34	29,86	0,30	24,96	0,32	26,70	0,31	27,54	0,32
ZIC	14	24,26	-0,40	25,22	-0,14	21,61	-0,33	22,79	0,02	23,47	-0,21
ZIF	15	26,38	0,61	28,11	0,58	21,98	0,62	24,11	0,61	25,14	0,61
	16	27,77	0,45	29,40	0,41	23,94	0,46	25,85	0,45	26,74	0,44
ZPAM	17	24,27	0,71	25,77	0,68	19,87	0,73	22,42	0,69	23,08	0,70
ZUE-I	18	27,23	0,58	28,53	0,51	23,58	0,56	26,42	0,48	26,44	0,53
ZUE-II	19	27,97	0,58	29,93	0,49	23,73	0,56	27,26	0,46	27,22	0,52
ZUEC	20	26,51	0,53	27,65	0,48	22,89	0,51	24,94	0,47	25,50	0,50
	21	26,67	0,59	27,96	0,53	22,43	0,58	24,90	0,51	25,49	0,55
ZPE	22	25,40	0,64	26,24	0,60	21,51	0,64	23,79	0,60	24,23	0,62
ZR	23	28,47	0,54	29,52	0,51	24,45	0,55	27,65	0,44	27,52	0,51
	24	26,08	0,65	27,12	0,61	22,02	0,63	23,94	0,59	24,79	0,62
	25	24,61	0,72	25,15	0,70	20,13	0,76	22,76	0,69	23,16	0,72

Fonte: O Autor (2022).

As três porções urbanas que apresentaram os maiores índices médios geral de NDVI foram a 6 (ZAR-I) com 0,62, 17 (ZPAM) com 0,70 e 22 (ZPE) com 0,62, cujas temperaturas foram de 25,17, 23,08 e 24,3 °C, respectivamente. A porção 17 (ZPAM) é uma área destinada à preservação e a recuperação ambiental e apresenta cobertura de aproximadamente de 73% de “Formação florestal”. Ressalta-se que as porções 10 (ZEP) e 15 (ZIF) apresentaram valores de NDVI menores, com 0,53 e 0,61 e temperaturas de 24,77 e 25,14 °C, respectivamente.

Aquelas que apresentaram os três menores valores de NDVI foram as porções 12 e 13 (ZEIS) com 0,38 e 0,32 e 14 (ZIC) com -0,21, cujas temperaturas foram de 26,98, 27,54 e 23,47 °C. Os valores negativos indicam superfícies com água, como é o caso da porção 14 (ZIC) que é predominantemente composta por água, aproximadamente 63%, e é porção que apresentou a segunda menor temperatura entre todas.

Figura 5.6 – Relação entre TST e NDVI no município de Lagoa Santa-MG.

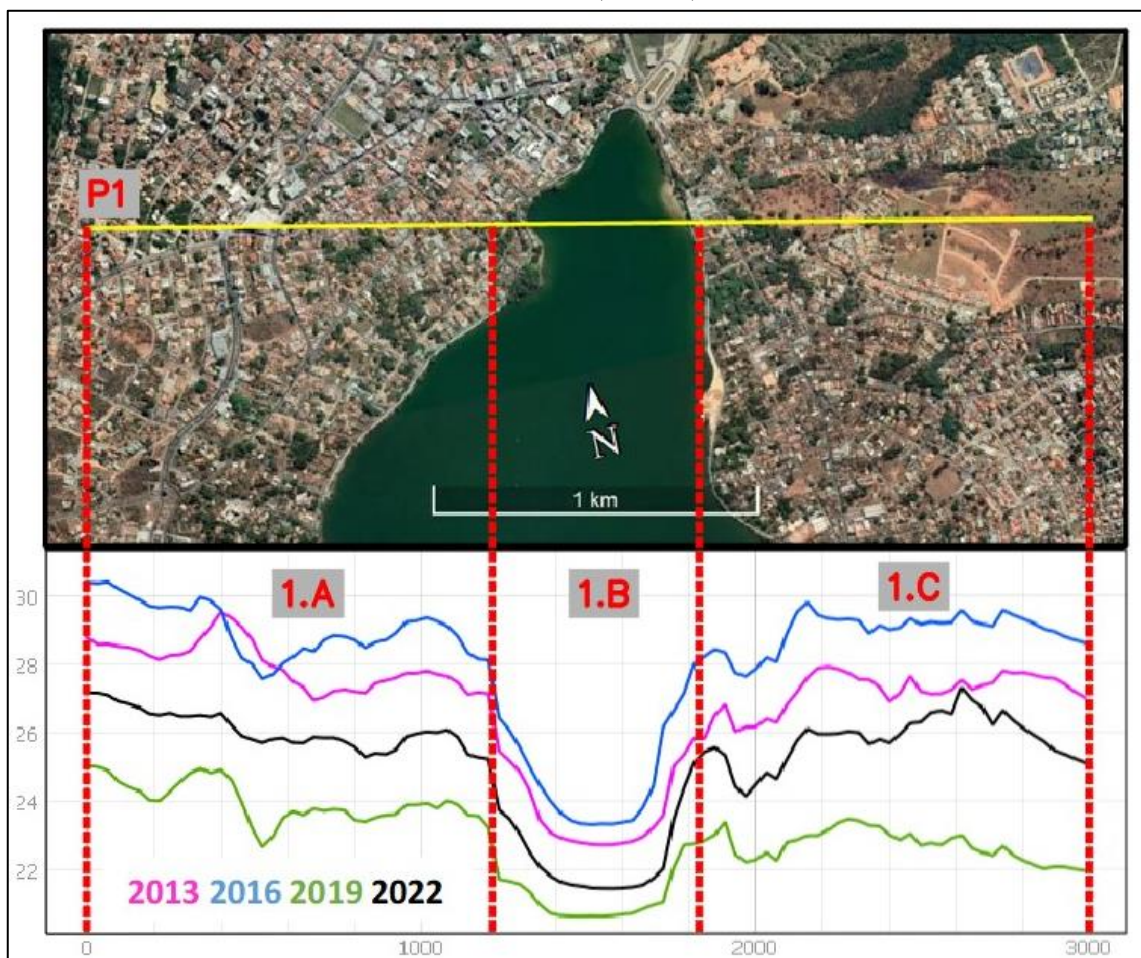


Fonte: O Autor (2022).

5.4 Análise focal da TST

A **Figura 5.7** apresenta os perfis referente a variação da TST ao longo do alinhamento P1 das imagens 08/07/2013, 16/07/2019, 09/07/2019 e 01/07/2022. Conforme pode ser visto, no trecho denominado (1.A) há uma homogeneidade da classe “Área urbanizada”, por isso não ocorre variação significativa na temperatura. No trecho (1.B), porém é observado um decréscimo abrupto (aproximadamente 4°C) nos valores da TST devido a presença de “Água” e em seguida TST, no trecho (1.C) a TST volta a subir. A porção 14 (ZIC) apresentou a segunda menor média geral de TST devido ao predomínio de “Água”, o entorno imediato portanto se constitui em uma área com temperatura mais amenas, sob influência da Lagoa Central.

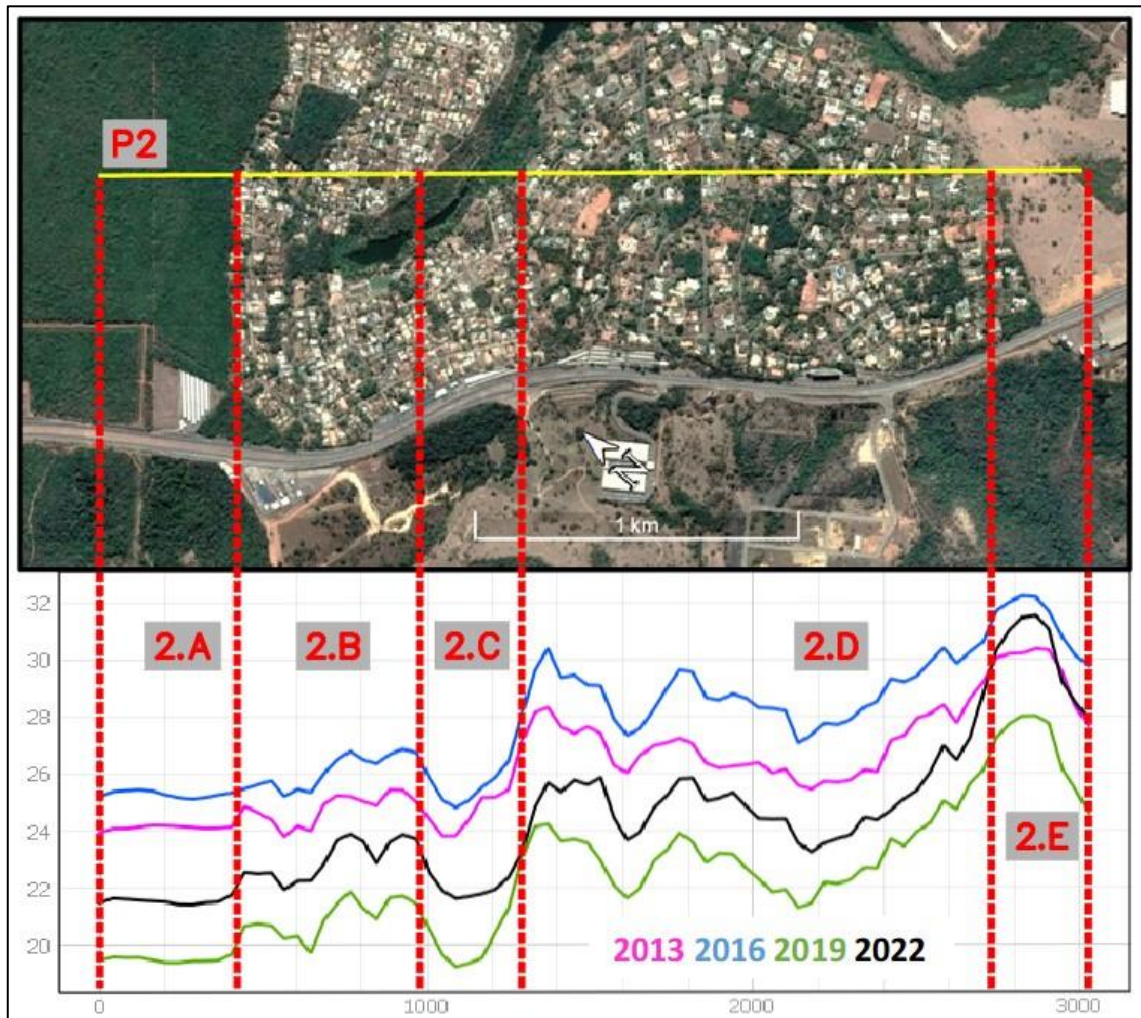
Figura 5.7 – Perfis longitudinais (P1) da TST de 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022 (m x C°).



Fonte: O Autor (2022).

A **Figura 5.8** apresenta os perfis referente a variação da TST ao longo do alinhamento P2. Conforme pode ser visto, no trecho denominado (2.A) há uma homogeneidade da classe “Formação Florestal” e por isso não ocorre variação significativa da TST. No trecho (2.B), apesar se composto por “Área urbanizada”, a TST está sob influência da mata e da lagoa, devido a essa proximidade TST se mantém amena. Logo a seguir, no trecho 2.C a temperatura diminui devido a presença da lagoa e sua Área de Preservação Permanente (APP). Assim, já no trecho 2.D a TST volta a subir por causa da “Área urbanizada” e sobe ainda mais quando entra no trecho 2.E decorrente da presença de área classificada como “Agropecuária”.

Figura 5.8 – Perfis longitudinais (P2) da TST de 08/07/2013, 16/07/2016, 09/07/2019 e 01/07/2022 (m x C°).

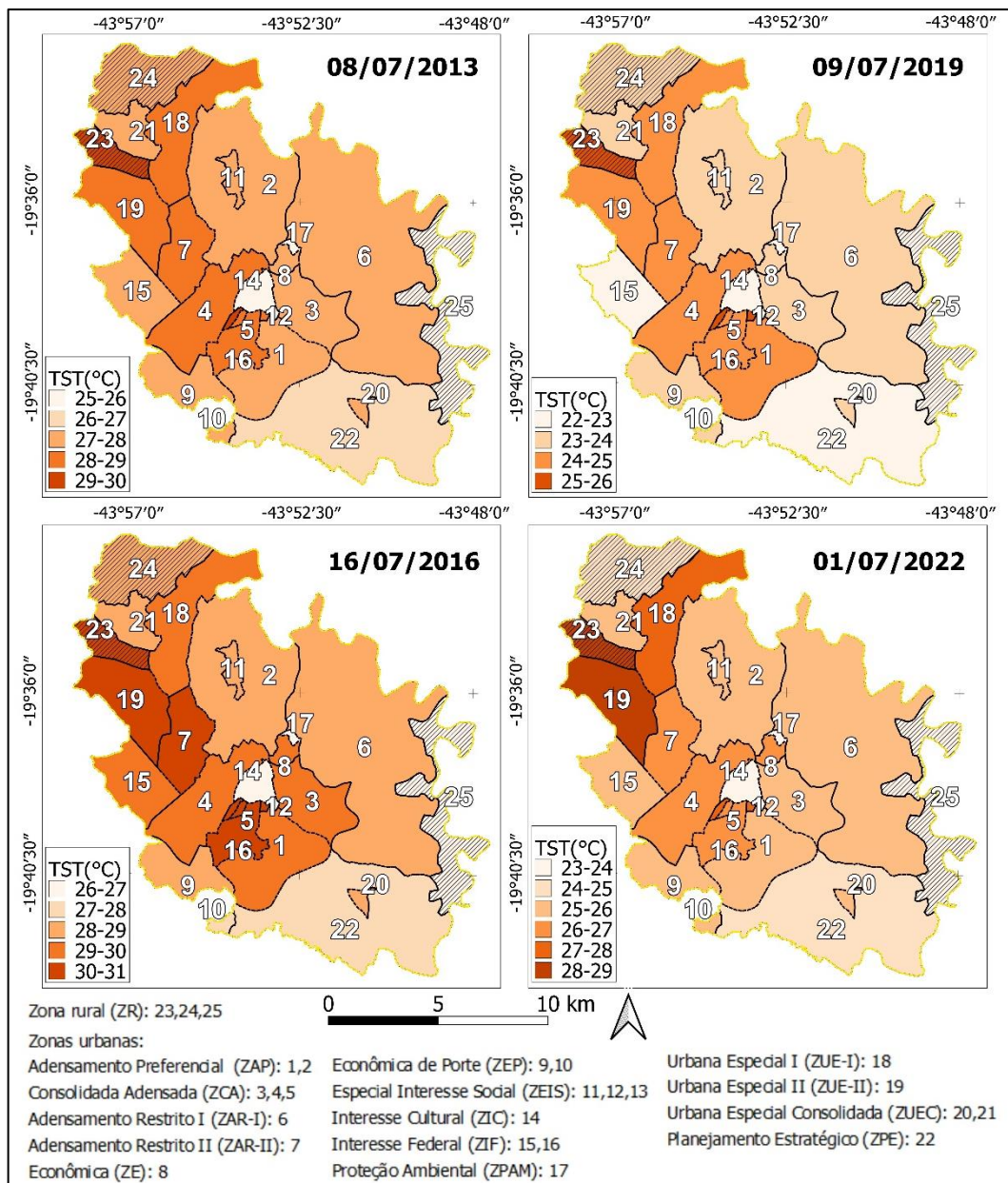


Fonte: O Autor (2022).

5.5 Classificação das porções por TST média

Assim, após analisar a relação de atributos como o uso e ocupação do solo e os valores de NDVI com a TST, foi elaborado o mapa abaixo (**Figura 5.9**). As três porções que apresentaram os maiores intervalos de TST nas quatro datas analisadas foram, as porções 12 e 13 (ZEIS), devido à prevalência da classe “Área urbanizada” e 23 (ZR) devido a expressiva presença de “Área não vegetada” e “Agropecuária”. Já a porções 14 (ZIC), 17 (ZPAM) e 25 (ZR) foram as que apresentaram os menores valores nas referidas datas por causa da significativa presença das classes “Água” (entorno da Lagoa Central) e “Formação florestal”.

Figura 5.9 – Classificação das porções do zoneamento conforme TST média



Fonte: O Autor (2022).

6 CONCLUSÃO

A partir do mapeamento do uso e ocupação do solo entre 2013 e 2022, pode-se estimar a proporção de área das classes “Área urbanizada”, “Área não vegetada”, “Formação Florestal”, “Formação Savânica”, a nível municipal bem como a nível de zoneamento previsto no Plano Diretor do Município de Lagoa Santa-MG. No que diz respeito a classe “área urbanizada”, de forma geral no município houve aumento de 9,75 km² (4,27%) entre as datas 08/07/2013 e 01/07/2022, sendo que a porção que teve mais incremento de “Área urbanizada” foi a sede do Distrito de Lagoinha de Fora –20 (ZCE), em torno de 22,49%.

Não foi possível constatar qualquer taxa de aquecimento ou resfriamento para o intervalo analisado, que é de 7 anos, uma vez que o espaço de tempo é insuficiente para verificar mudanças consistentes. No entanto, houve discrepâncias significativas entre as datas 16/07/2016 (mais quente) e 09/07/2019 (mais frio) no que diz respeito aos máximos e mínimos. Apesar dessas variações anuais, o comportamento da TST das classes manteve uma tendência. A classe “Área não vegetada” é a que apresentou os maiores valores de TST, devido à ausência de umidade, seguido da “Agropecuária” e “Área urbanizada” que apresentaram comportamentos semelhantes.

No que diz respeito à análise das 25 porções distribuídas entre as 14 modalidades de Zona Urbana e Zona Rural do município, as porções 23 (ZR) e 12 e 13 (ZEIS) se enquadraram nos maiores intervalos de TST para as quatro datas analisadas, enquanto porção 17 (ZPAM) foi a que apresentou os menores intervalos.

Assim, o presente estudo se mostrou eficiente a um nível preliminar na identificação e classificação das temperaturas de superfície das porções do território municipal. Neste sentido, é necessário que outros estudos mais refinados sejam elaborados e validados por índices estatísticos mais confiáveis para que possam auxiliar no planejamento da cidade, no sentido de mitigar os efeitos provenientes da antropização do espaço.

7 RECOMENDAÇÕES

Aprimorar o método de classificação do uso e ocupação do solo, seja através de maior número de amostragens, ou aplicando outras metodologias, por exemplo.

Realizar a análise utilizando datas de outras estações, que não seja de períodos de seca, a fim de comparar o comportamento da TST.

Aplicar métodos estatísticos de correlação para avaliar melhor os dados.

8 REFERÊNCIAS

ALVES, E., SOUZA, G., MARRA, R. Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010. **Revista de Política Agrícola**, 20, jun. 2011. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/61>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

BRASIL. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: **Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm> Acesso em: 09 set. 2022.

COSTA, 2009. **Urbanização, Natureza e Produção do Espaço na Era da Cidade Empresa: Caso do Município de Lagoa Santa-MG**. Anais do XVII Encontro Nacional de Geógrafos - ENG: Entre escalas, poderes, ações, geografias. Belo Horizonte-MG, UFMG, 2012.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. IBGE, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat#oli>>. Acesso em: 02 set. 2022.

ERMIDA, Sofia L.; SOARES, Patrícia. MANTAS, Vasco; GÖTTSCHE, Frank-M. e TRIGO, Isabel F.. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, p. 1471, 2020.

FERREIRA, Daniele Gomes. **A influência da superfície urbana na variação da temperatura de superfície: uma proposta metodológica de análise**. 2021. 122f. Tese (Doutorado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.

HERRMANN, Gisela; KOHLER, Heinz Charles; DUARTE, Júlio César; CARVALHO, Patrícia Garcia da Silva. **APA Carste de Lagoa Santa–Gestão Ambiental**. Belo Horizonte, IBAMA/CPRM, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Adiamento do Censo Demográfico**, 23 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/novo-portal-destaques/30569-adiamento-do-censo-demografico.html>>. Acesso em 01 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

LAGOA SANTA. **Lei nº 4.129, de 16 de janeiro de 2018**. Institui a revisão do Plano Diretor do Município de Lagoa Santa e dá outras providências. Disponível em: <https://www.lagoasanta.mg.gov.br/legislacao-leis/category/309-2018-leis?limit=10&start=150>. Acesso em: 14 jun. 2022.

Lagoa Santa (MG). Prefeitura. 2019. Disponível em: <https://www.lagoasanta.mg.gov.br/turismo-cultura-cidade/historia?start=5>. Acesso em: ago. 2022.

Diego R. M., DE LIMA 1; Fernando L., DLUGOSZ; Mariângela C., IURK; Vagner A. PESCK. Uso de NDVI e SAVI para Caracterização da Cobertura da Terra e Análise Temporal em Imagens RapidEye. **Espacios**. v. 38, v. 36, p. 7, 2017.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2015.

LORENZZETTI, João A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. Editora Blucher, 2015.

MENDONÇA, Paulo C. **Lagoa Santa, sua história e sua gente**. Lagoa Santa, MG: Edições Garimpo, 2006.

MINAS GERAIS. Decreto nº 44.816, de 20 de maio de 2008. Altera o Decreto nº 44.500, de 3 de abril de 2007, que institui o Plano de Governança Ambiental e Urbanística da Região Metropolitana de Belo Horizonte e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 20 abr. 2008.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

RIBEIRO, Antonio Giacomini. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

SAMPAIO, Daniel Martins; ELMIRO, Marcos Antônio Timbó; DE ALBUQUERQUE NÓBREGA, Rodrigo Affonso. Modelagem da dinâmica da expansão urbana no Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte e análises sobre as novas infraestruturas viárias previstas até 2031. **Revista Geografias**, p. 78-99, 2014.

STEINKE, Valdir Adilson; STEINKE, Ercília Torres; SAITO, Carlos Hiroo. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, 2010.

ZHU, Gaolong; JU, Weimin, CHEN, J. M., LIU, Yibo. A Novel Moisture Adjusted Vegetation Index (MAVI) to reduce background reflectance and topographical effects on LAI retrieval. **PLoS One**, v. 9, n. 7, p. e102560, 2014.