



Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DEVIDO À SUPRESSÃO
VEGETAL – ESTUDO DE CASO.**

Marcelo Ribeiro e Silva

Campo Grande, MS - Brasil

Novembro, 2024

Marcelo Ribeiro e Silva

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DEVIDO À SUPRESSÃO
VEGETAL – ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso Engenharia
Ambiental da Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul como parte dos
requisitos à obtenção do grau de bacharel.

Professor Orientador:

Dr. Ariel Ortiz Gomes

Campo Grande, MS – Brasil

Novembro, 2024

TERMO DE APROVAÇÃO

Marcelo Ribeiro e Silva

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DEVIDO À SUPRESSÃO VEGETAL – ESTUDO DE CASO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte dos requisitos à obtenção do grau de bacharel, aprovado pela seguinte banca examinadora:

Ariel Ortiz Gomes

Doutor em Tecnologias Ambientais
(Professor Orientador)

XXXX

Doutor em
(Professor Examinador)

XXXX

Doutor em
(Professor Examinador)

Campo Grande, MS – Brasil

___ de novembro de 2024

A minha esposa, Bianka, e filhos, Julia e Felipe, que sempre me apoiaram nessa exaustiva jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida e por me manter são, física e mentalmente, permitindo que meus objetivos fossem alcançados durante todos esses anos.

A meus pais, pela formação de caráter e pelos ensinamentos, quando jovem, proporcionando-me uma vida de retidão.

Aos meus familiares, que acreditaram e me incentivaram nos momentos difíceis.

Ao meu amigo geógrafo Henrique Diniz, jovem inteligente e esforçado e que muito me auxiliou nesse trabalho.

Aos meus professores, que guiaram meu aprendizado nesse percurso universitário. Um agradecimento especial ao Professor Doutor Ariel Gomes, docente de várias disciplinas da Ambiental, sempre entusiasmado com a engenharia e disponível a prestar um apoio necessário com a matéria. Desejo ao senhor muito sucesso.

À instituição de ensino Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), um centro de excelência, difusão e compromisso com a educação e pesquisa, destacando-se em âmbito nacional.

Elevo os meus olhos para os montes, de
onde me vem o socorro? O meu socorro
vem do Senhor, que fez os céus e a terra.

Salmo 121: 1-2

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise detalhada da variação de temperatura causada pela supressão vegetal e construção do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica no bairro Vila Sobrinho, Campo Grande, MS. A pesquisa utiliza dados de estações meteorológicas e imagens de satélite, especificamente do sensor TIRS do Landsat 8, com o objetivo de avaliar o impacto da urbanização no microclima local. Técnicas de geoprocessamento foram aplicadas para classificar áreas de vegetação e superfícies construídas, identificando as variações térmicas ao longo do tempo. Os resultados indicaram que, após a supressão vegetal, houve um aumento nas temperaturas locais, especialmente em áreas com solo exposto e estruturas civis. Esse aquecimento está associado à substituição da vegetação nativa por materiais que retêm calor, evidenciando o efeito das ilhas de calor urbanas. A comparação entre dados de satélite e estações meteorológicas validou a precisão dos dados obtidos externamente, reforçando a eficiência do uso de geotecnologias nesse tipo de estudo. A análise estatística realizada, corroborada pelo teste de Mann-Kendall, confirmou a tendência de aumento de temperatura na área de estudo. As imagens termográficas revelaram que uma vegetação densa contribui para temperaturas mais amenas, enquanto a urbanização leva a picos térmicos. O estudo destaca a necessidade de mitigar os impactos da urbanização, promovendo a preservação ambiental e a criação de áreas verdes urbanas. Conclui-se que a remoção da vegetação mesmo em áreas pequenas afeta significativamente o microclima, contribuindo para o aumento da temperatura. A pesquisa reforça a importância de integrar áreas verdes em projetos de urbanização, evoluindo para a melhoria da qualidade de vida da população e para a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: supressão vegetal, variação de temperatura, geoprocessamento, urbanização, estações meteorológicas, satélite, Landsat 8 e ilhas de calor.

ABSTRACT

This paper presents a detailed analysis of the temperature variation caused by vegetation suppression and construction of the 9th Communications and Electronic Warfare Battalion in the Vila Sobrinho neighborhood, Campo Grande, MS. The research uses data from meteorological stations and satellite images, specifically from the Landsat 8 TIRS sensor, with the aim of evaluating the impact of urbanization on the local microclimate. Geoprocessing techniques were applied to classify areas of vegetation and built surfaces, identifying thermal variations over time. The results indicated that, after vegetation suppression, there was an increase in local temperatures, especially in areas with exposed soil and civil structures. This warming is associated with the replacement of native vegetation by materials that retain heat, evidencing the effect of urban heat islands. The comparison between satellite data and meteorological stations validated the accuracy of the data obtained externally, reinforcing the efficiency of the use of geotechnologies in this type of study. The statistical analysis carried out, corroborated by the Mann-Kendall test, confirmed the trend of increasing temperature in the study area. Thermographic images revealed that dense vegetation contributes to milder temperatures, while urbanization leads to thermal peaks. The study highlights the need to mitigate the impacts of urbanization by promoting environmental preservation and the creation of urban green areas. It is concluded that the removal of vegetation even in small areas significantly affects the microclimate, contributing to the increase in temperature. The research reinforces the importance of integrating green areas into urbanization projects, evolving towards improving the population's quality of life and environmental sustainability.

Keywords: *vegetation suppression, temperature variation, geoprocessing, urbanization, meteorological stations, satellite, Landsat 8 and heat islands.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de Estudo.....	16
Figura 2 - Mapa de localização da Área de Estudo.	17
Figura 3 - Mapa de vegetação do local.....	18
Figura 4 – Fotos da vegetação do Local.	18
Figura 5 - Fotos vegetação do Local.	19
Figura 6 - Mapa de Localização das Estações Meteorológicas.	20

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas máx/méd/mín diárias de Set/2001 a Jul/2024 em Campo Grande/MS.	29
Gráfico 2 - Temperatura média mensal Jan/2002 a Jun/2024 em Campo Grande/MS.	29
Gráfico 3 - Temperatura média mensal Jan/2002 a Jun/2024 em Campo Grande/MS.	30
Gráfico 4 - Temperatura média mensal Jan/2002 a Jun/2024 em Campo Grande/MS.	30
Gráfico 5 - Comparação das Temperaturas Médias de 2013 a 2024 (datas de coleta) em Campo Grande/MS.....	33
Gráfico 6 - Correlação das Temp. Méd. da Est. A702 e Landsat (datas de coleta) para achar (R^2) e (r).....	34

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância.	22
Equação 2 - Conversão de níveis de radiância para temperatura Kelvin.	23
Equação 3 - Inserção na calculadora raster do QGIS das equações 1, 2 (-273,15) para obtenção da temperatura celsius.	23
Equação 4 - Estatística S, que mede o número de pares ordenados.	25
Equação 5 - Média da estatística S.	26
Equação 6 - Variância.....	26
Equação 7 – Resultado de saída do Teste de Mann-Kendall.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela das especificações das bandas espectrais do sensores OLI e TIRS do LANDSAT 8.	21
Tabela 2 - Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10.....	22
Tabela 3 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos dos metadados da imagem Landsat-8, banda10.	23
Tabela 4 - Descrição da significância do teste Mann-Kendall.	27
Tabela 5 - Estatística do Teste de Mann-Kendall para os dados da Estação A702.....	35
Tabela 6 - Estatística do Teste de Mann-Kendall para os dados da Landasat.....	35
Tabela 7 - Resultado do Teste de Mann-Kendall para os dados da Estação A702 e Landasat 8.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

9º B Com GE – 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
OLI – <i>Operational Land Imager</i> (Sensor do Landsat 8)
QGIS – Sistema de Informação Geográfica (Software de Geoprocessamento)
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SISFRON – Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras
SISGRAN – Sistema de Gestão de Recursos Ambientais
TIRS – Sensor térmico infravermelho (Sensor do Landsat 8)
TS – Tendência Significativa
USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos Gerais	13
1.2	Objetivos Específicos.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1	Caracterização da área	15
3.2	Vegetação antes da supressão vegetal.....	17
3.3	Estações Meteorológicas	19
3.3.1	Obtenção de Dados.....	19
3.3.2	Tratamento dos Dados.....	20
3.4	Geoprocessamento.....	21
3.4.1	Obtenção de Dados.....	21
3.4.2	Classificação das Imagens.....	22
3.4.3	Temperatura.....	22
3.5	Validação dos Dados Termais do Satélite	23
3.5.1	Comparação gráfica das médias de temperatura	24
3.5.2	Métodos para análises de tendência e significância estatística	24
3.5.2.1	Coeficiente de Determinação (R^2).....	24
3.5.2.2	Coeficiente de Correlação de Pearson (r).....	24
3.5.2.3	Teste de Mann-Kendall	25

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Análise dos dados das Estações Meteorológicas	27
4.2	Análise das respostas espectrais das imagens de satélite	31
4.3	Análise e Classificação das imagens de satélite.....	31
4.4	Validação dos Dados Termais do Satélite	33
4.4.1	Comparação gráfica das médias de temperatura	33
4.4.2	Análises de tendência e significância estatística	34
4.4.2.1	Coeficiente de Determinação (R^2).....	34
4.4.2.2	Coeficiente de Correlação de Pearson (r).....	34
4.4.2.3	Teste de Mann-Kendall	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6	REFERÊNCIAS	38
7	APÊNDICE	41

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da urbanização nas últimas décadas tem se intensificado em diversas regiões do mundo, trazendo consigo uma série de transformações socioeconômicas e ambientais. As cidades se expandem em ritmo acelerado, resultando na conversão de áreas naturais em espaços urbanos. Esse fenômeno tem contribuído significativamente para a modificação do uso e ocupação do solo, impactando diretamente os ecossistemas locais

Um dos efeitos mais notáveis desse processo é supressão da vegetação, que ocorre frequentemente para dar lugar a novos empreendimentos e infraestruturas. As florestas e vegetação nativa, que desempenham um papel crucial na regulação do clima e na manutenção da biodiversidade, são substituídas por construções e estradas. Essa supressão vegetal, além de causar a perda de habitat de muitas espécies, reduz a capacidade das áreas naturais de sequestrar carbono e restringe a umidade do ar. Consequentemente, o equilíbrio ecológico é perturbado, exacerbando problemas ambientais.

Além da diminuição da área verdes nativas, a urbanização contribui para a formação das chamadas “ilhas de calor”. Esses fenômenos ocorrem quando áreas urbanas apresentam temperaturas mais altas do que as zonas rurais adjacentes. A conversão de vegetação por materiais que retêm mais calor, é um fator determinante para o aumento da temperatura. A alta densidade de edificações, em contraponto a áreas vegetadas, impedem a dissipação do calor, tornando as cidades mais quentes.

Essa elevação das temperaturas urbanas tem implicações sérias para a saúde e o bem-estar dos habitantes. Mas, além das questões de saúde, a elevação das temperaturas nas cidades afeta também o consumo de energia. Com o aumento do calor, há uma maior demanda por sistemas de refrigeração, resultando em um consumo elevado de eletricidade. Adicionalmente, a produção de energia, em sua maioria, ainda depende de fontes não renováveis, o que contribui para a emissão de gases de efeito estufa.

A relação entre urbanização, supressão vegetal e aumento das temperaturas é complexa e multifacetada, exigindo abordagens integradas para sua compreensão e gestão. Políticas públicas que promovam o desenvolvimento urbano sustentável são essenciais para mitigar esses impactos. A incorporação de áreas verdes, a preservação de florestas urbanas e a adoção de tecnologias sustentáveis são medidas fundamentais no equilíbrio do crescimento com a conservação ambiental.

O planejamento urbano que prioriza a sustentabilidade não só protege o meio ambiente, mas também melhora a qualidade de vida dos cidadãos. Cidades mais verdes e frescas proporcionam espaços de lazer, reduzem os efeitos das ilhas de calor e promovem a saúde

pública.

Cabe-nos diferenciar supressão vegetal e desmatamento. O primeiro é um processo que envolve a remoção de parte da vegetação em áreas urbanas ou rurais para usos como construção, planejamento ou pecuária, e pode ser realizada de forma sustentável, envolvendo a gestão ambiental e o uso socioeconômico do solo. Porém, também pode trazer impactos ambientais negativos, sendo por este motivo regulamentada pelo Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012) e sujeita à autorização dos órgãos competentes. Já o desmatamento é a remoção total ou parcial de vegetação, como florestas, savanas ou matagais, considerado um dos maiores problemas ambientais globais devido às suas graves implicações ambientais

No caso de Campo Grande-MS, a urbanização dos últimos anos mostrou-se como um fator preponderante na variação de temperatura. Já se tornou normal observar a substituição de superfícies naturais por materiais semi ou impermeáveis, que absorvem e retêm calor por mais tempo, bem como moradores locais saudosos de temperaturas mais amenas. As citadas “ilhas de calor” não são mais exclusividades de outras cidades.

1.1 Objetivos Gerais

Analisar a variação de temperatura, antes e após a supressão vegetal da área do atual 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica, no raio de 1 km, abrangendo parcialmente os bairros Vila Sobrinho e Santo Amaro, no período de 2013 a 2024. Concluir sobre como a supressão vegetal, mesmo que pequena, pode afetar a temperatura.

1.2 Objetivos Específicos

- Verificar se o uso das técnicas de geoprocessamento é eficaz e econômico para a análise da variação de temperatura;
- Comparar os resultados de temperatura auferidos com o uso das técnicas de geoprocessamento e com o levantamento das estações meteorológicas mais próximas, a fim de validar os dados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“O Cerrado é um dos cinco grandes biomas do Brasil, cobrindo cerca de 25% do território nacional e perfazendo uma área entre 1,8 e 2 milhões de km² nos Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, sul do Mato Grosso, oeste de Minas Gerais, Distrito Federal, oeste da Bahia, sul do Maranhão, oeste do Piauí e porções do Estado de São Paulo. Ainda há

porções de cerrado em outros estados da federação (PR) ou em áreas disjuntas dentro de outros biomas (Floresta Amazônica). É a segunda maior formação vegetal do país, após a Floresta Amazônica, concentrando-se principalmente no Planalto Central Brasileiro” (ICMBio, [2010?]).

Apesar de sua importância continental, o cerrado tem sido ameaçado pelo avanço de algumas atividades econômicas sobre seus limites, especialmente a partir da segunda metade do século XX (WWF – BRASIL, [s.d]). Neste panorama, considerado como um pilar da agricultura e pecuária brasileira, mormente na Região Centro-Oeste, adquiriu extrema relevância no comércio mundial de alimentos e, portanto, tornando-se uma região estratégica para a garantia da segurança alimentar. Entretanto, se por um lado há o aumento da produção de alimentos, na mesma proporção ocorre a problemática das questões relacionadas ao homem e o desmatamento, amplamente divulgadas na atualidade, relacionadas ao agravamento das mudanças climáticas (SAVE CERRADO, 2022).

A alta sensibilidade do clima da região do Centro-Oeste, sob pressão da degradação ambiental, gera outras perturbações, como os processos biofísicos. Projeções alertam, assim como na região amazônica, sobre o estresse térmico na região central do Brasil e atribuem isso às questões de vulnerabilidade socioclimática da região (BRASIL, 2023).

Na região central supracitada, um dos principais fatores que interferem nas variações dos padrões de temperatura do ar é o desmatamento resultante das mudanças no uso e ocupação do solo (BRASIL, 2023). Tais alterações associadas ao processo de uso e ocupação decorrem não somente da expansão do agronegócio, da mineração e do avanço da agricultura de subsistência, mas também do avanço da urbanização. Através dessas atividades humanas, ocorre o desmatamento associado com as mudanças climáticas, que modifica padrões de variabilidade e outras componentes ambientais, como o balanço hídrico e a qualidade da água. Assim, a retirada da cobertura vegetal está alterando a temperatura do ar, o que pode resultar no desconforto do bem-estar populacional (BRASIL, 2023).

As projeções de mudanças climáticas reportadas pelo IPCC indicam um aumento significativo da temperatura do ar nas próximas décadas. Com o aquecimento na região, intrinsecamente influenciado pelo desmatamento, o Cerrado sofre com o aumento de episódios de incêndios, estendendo-se ao bioma vizinho, o Pantanal (BOEHM, S.; SCHUMER, C., 2023).

Embora a variável temperatura do ar próxima à superfície não apresente alta variabilidade espaço/temporal, estudos apontam, por exemplo, que a temperatura da cidade de São Paulo aumentou de 2 a 4°C nos últimos 30 anos. A elevação da temperatura, apontada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é atribuída à ocupação desordenada da cidade

que pode ser percebida principalmente nas áreas mais urbanizadas, onde se formam as chamadas “ilhas de calor” (BRASIL, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa será descritiva, com a caracterização da dinâmica urbana e mapeamento de dados climatológicos da região da capital de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. Dessa forma, estabelecer uma relação entre os fatores do tema analisado, evidenciar as causas e pontos críticos que contribuem para essa inadequação da temperatura atual, sem a pretensão de apresentar soluções. Esses fatores serão classificados e medidos através de análises ambientais proporcionadas pela utilização de geotecnologias, comparando com dados históricos de estações meteorológicas da cidade. A base empírica será bibliográfica de estudos já realizados na região disponibilizados em periódicos e coleta de dados nas bases de dados científicos.

3.1 Caracterização da área

A história dos bairros Vila Sobrinho e Santo Amaro em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, é marcada por transformações urbanas e sociais ao longo dos anos. A Vila Sobrinho começou a se formar no início do século XX, quando a região ainda era rural, com grandes fazendas que começaram a ser loteadas para dar lugar a residências. Na década de 1950, o bairro experimentou uma urbanização acelerada, com a chegada de novas famílias e a construção de infraestrutura essencial como pavimentação de ruas, redes de esgoto, água e energia elétrica. Esse processo consolidou a Vila Sobrinho como um bairro residencial próspero.

O bairro Santo Amaro teve uma trajetória de desenvolvimento semelhante. Também formado por áreas loteadas de antigas fazendas, Santo Amaro passou por um processo de urbanização significativo, pouco após a formação da Vila Sobrinho. Impulsionado pela expansão urbana, o bairro recebeu investimentos em infraestrutura, e hoje é conhecido por suas escolas, centros de saúde e uma vida comunitária ativa, com eventos que promovem a integração dos moradores.

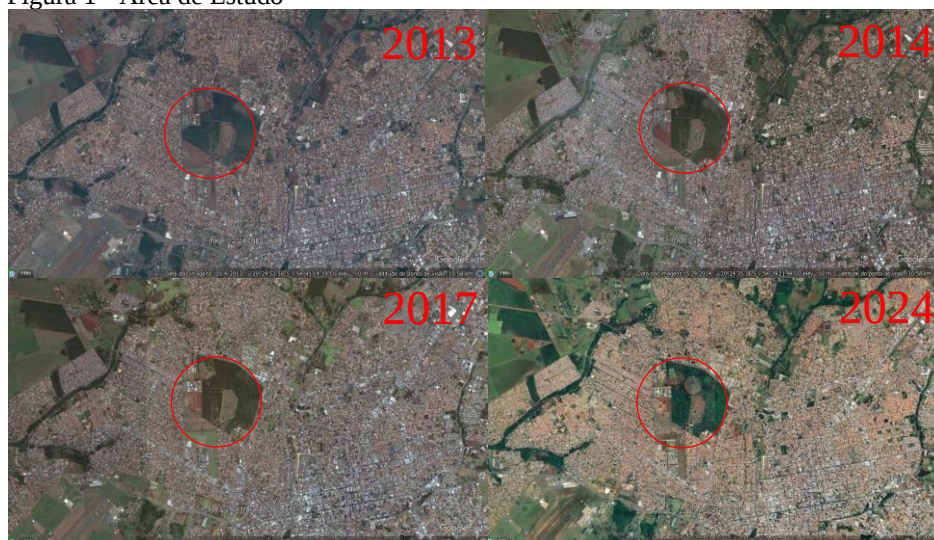
Continuando a história de crescimento do Estado, já no início do século, com a necessidade de modernizar a vigilância e o controle das vastas e vulneráveis áreas de fronteira terrestre do Brasil, em especial a fronteira Oeste, surge o SISFRON (Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras).

O projeto foi oficialmente lançado em 2012 pelo Exército Brasileiro, com o objetivo de aumentar a presença e a capacidade de ação do Estado nas regiões fronteiriças. Desenvolvido

para integrar diversas tecnologias, como sensoriamento remoto e sistemas de comunicações, o SISFRON cria uma rede abrangente e eficaz de monitoramento para enfrentar desafios específicos, incluindo o tráfico de drogas, contrabando e imigração ilegal. As primeiras fases de implementação foram direcionadas para as regiões mais críticas, começando pela fronteira oeste do Brasil, que faz divisa com países como Bolívia, Paraguai e Argentina.

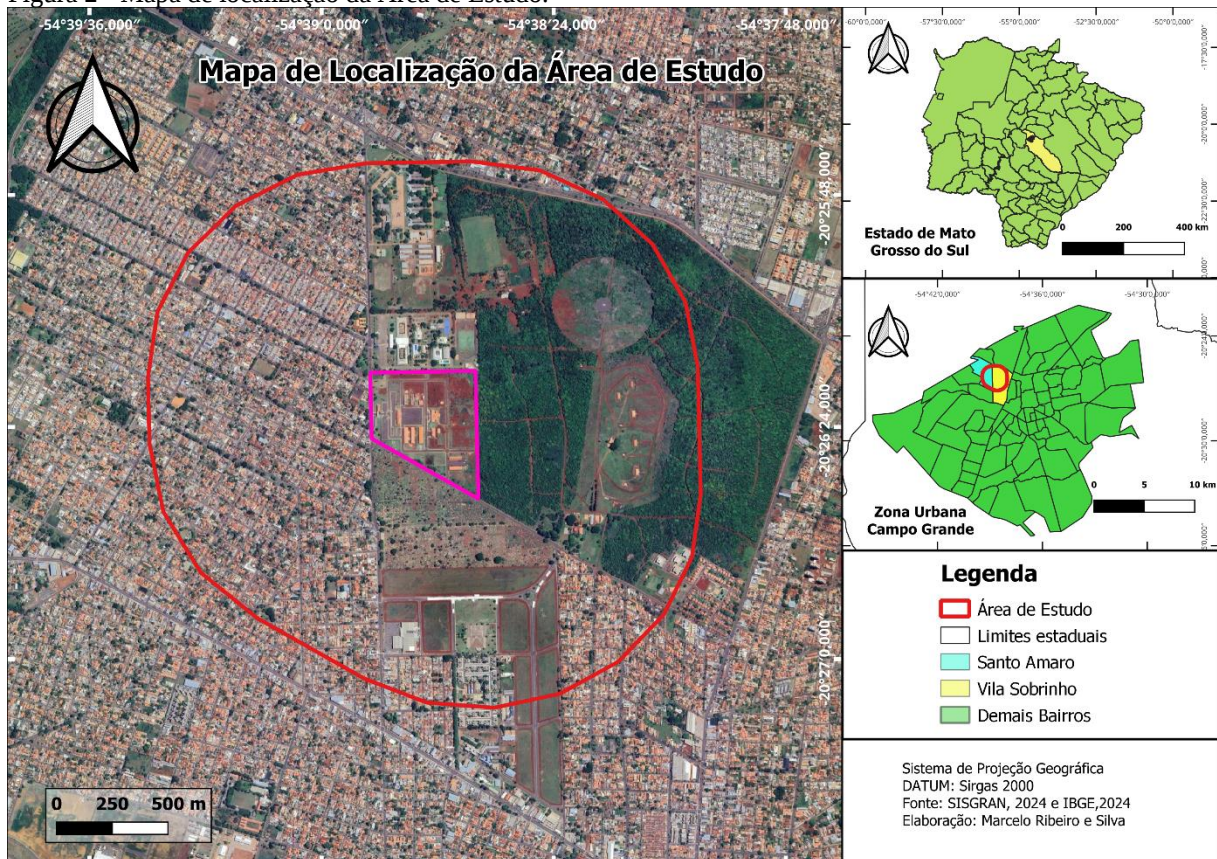
E nessa trajetória, os enredos dos bairros e do SISFRON se cruzam. Surge a construção do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9º B Com GE), no limítrofe entre os bairros Vila Sobrinho e Santo Amaro, figuras 1 e 2, diretamente relacionada ao SISFRON. O 9º B Com GE, com aproximadamente 215.000 m², tem a capacidade de instalar, explorar e manter os sistemas de comunicações, guerra eletrônica e tecnologia da informação para atividades de comando e controle em apoio ao emprego operativo do Comando Militar do Oeste (CMO). A criação deste Batalhão é parte integrante da estratégia do SISFRON, já que abriga postos de monitoramento do sistema, garantindo que as forças militares brasileiras disponham de tecnologia de ponta e infraestrutura adequada para uma comunicação eficiente e segura, fortalecendo a capacidade do Brasil de proteger suas fronteiras.

Figura 1 - Área de Estudo



Fonte: Adaptado Google Eath

Figura 2 - Mapa de localização da Área de Estudo.

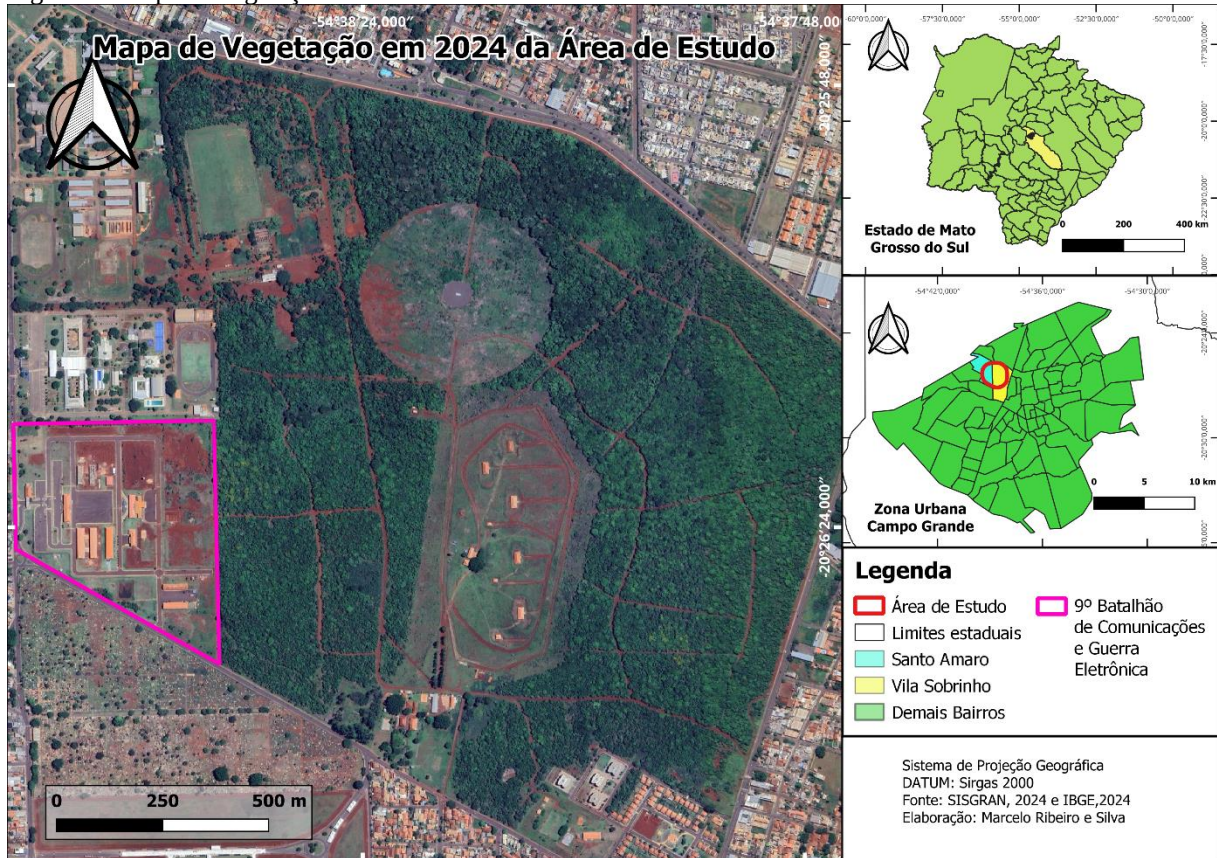


Fonte: Autor.

3.2 Vegetação antes da supressão vegetal

Segundo Ribeiro e Walter (2021), são descritos os seguintes tipos principais de vegetação para o bioma Cerrado na área em questão, enquadrados em formações florestais (Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Assim sendo, anteriormente a supressão vegetal da atual área do 9º B Cm GE, a vegetação predominante era composta por vegetação nativa, sendo o Cerrado lato sensu, como na parte a retaguarda da área de estudo, ainda preservada, figura 3, 4 e 5.

Figura 3 - Mapa de vegetação do local.



Fonte: Autor.

Figura 4 – Fotos da vegetação do Local.



Fonte: Autor.

Figura 5 - Fotos vegetação do Local.



Fonte: Autor.

3.3 Estações Meteorológicas

3.3.1 Obtenção de Dados

Os dados mensais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) são provenientes da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibilizados no portal: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Assim, inicialmente, após o cadastro do e-mail, definiu-se o tipo de dado (horário, diário ou mensal), o tipo de estação (automática ou convencional), a abrangência (país ou regional), o período (data de início e fim), as variáveis desejadas, e, por fim, as estações disponíveis dentro da região selecionada.

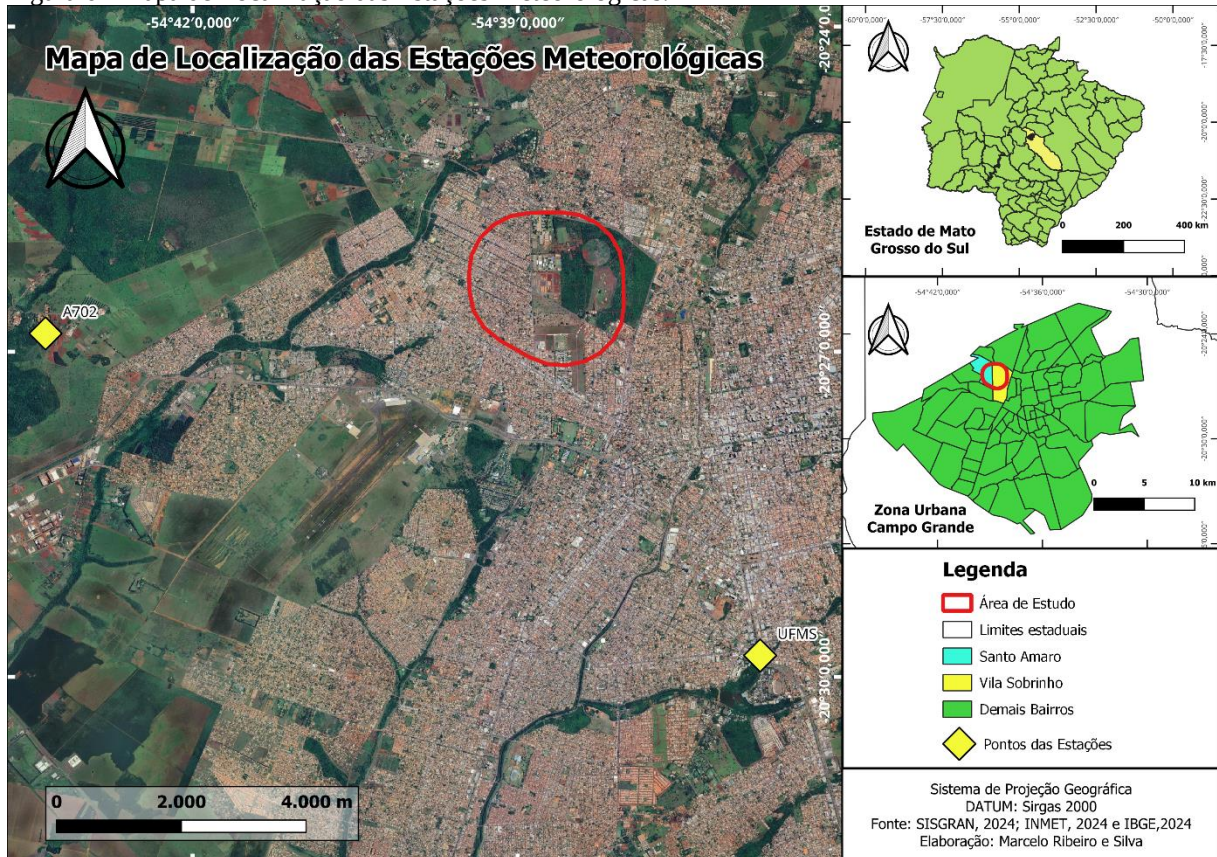
Destarte, houve a obtenção das médias mensais e diárias de temperatura do banco de dados da estação automática código A702, localizada na EMBRAPA Gado de Corte (Latitude: -20.447195 e Longitude: -54.722615), e da estação convencional código 83611, localizada na UFMS (Latitude: -20.4472222 e Longitude: -54.72277777), distantes cerca de 8 km e 9 km, respectivamente, da área de estudo (9° B Com GE), figura 6.

Frisa-se que o entendimento e a caracterização do clima de um lugar dependem do estudo do comportamento do tempo durante pelo menos 30 anos, com as variações da temperatura e da umidade, do tipo de precipitação (chuvas, neve ou granizo), da sucessão das estações úmidas e secas, etc. Por essa razão, o clima é definido por Max Sorre como uma "sucessão habitual dos tipos de tempo num determinado local da superfície terrestre", enquanto o tempo é apenas o estado da atmosfera de um lugar, num determinado momento (SORRE, 2006).

Isto posto, buscou-se dados de temperatura dos últimos 30 anos (1994 a 2024). Contudo

a estação A702 só disponibilizou dados de setembro/2001 a julho/2024, último mês pesquisado. Semelhantemente, a estação 83611 só disponibilizou dados de janeiro/1994 a junho/2006. Além disso, há muitas dados diários sem registro ao longo do tempo, mormente na estação automática.

Figura 6 - Mapa de Localização das Estações Meteorológicas.



Fonte: Autor.

3.3.2 Tratamento dos Dados

Os dados de estações meteorológicas são essenciais para validar os dados do Landsat 8, especificamente do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) na banda 10, que mede a radiação termal. A importância desses dados reside na precisão e confiabilidade que as medições diretas das condições atmosféricas oferecem, incluindo temperatura do ar, umidade, pressão atmosférica e radiação solar. Essas medições são fundamentais para comparação com os dados de satélite, ajudando a garantir que os valores obtidos pelo sensor TIRS sejam precisos e reflitam fielmente a realidade da superfície terrestre.

Então, após todo o processo descrito no item 3.3.1, os dados foram tratados manualmente em planilhas Excel a fim de exibir graficamente toda a gama numérica de temperaturas. Procurou-se a feição gráfica da estação A702, com dados de setembro/2001 a julho/2024, bem como da estação 83611, com dados de janeiro/1994 a junho/2006, e, também,

da junção de ambos, com o intuito de compor um quadro analítico de 30 anos.

3.4 Geoprocessamento

3.4.1 Obtenção de Dados

Os dados vetoriais desse estudo foram obtidos dos bancos gratuitos disponibilizados nas plataformas de órgãos competentes. Dessa forma, os limites dos zoneamentos urbano e bairros, entre outros dados de Campo Grande/MS foram obtidos pelo SISGRAN e dados de macrozoneamento de vegetação, geologia e clima foram obtidos através de estudos disponibilizados pelo IBGE.

Foi adotado o critério de análise temporal através das imagens de satélite obtidas gratuitamente pelo sítio eletrônico Earth Explorer da USGS e imagem do sensor OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) do satélite LANDSAT 8 dos dias 09/07/2013, 12/07/2014, 31/07/2015, 17/07/2016, 20/07/2017, 07/07/2018, 10/07/2019, 12/07/2020, 13/06/2021, 02/07/2022, 05/07/2023 e 21/06/2024, com cena imageada na órbita 225 e ponto 74. É de referir que as imagens do sensor TIRS só começaram a ser disponibilizadas a partir de 2013.

Vale enfatizar que o TIRS captura a radiação térmica emitida pela superfície da Terra, objeto deste trabalho. Para tanto, foram obtidas imagens preferencialmente nos meses de julho, devido à relação entre temperaturas mais baixas e ao menor índice de nuvens. Exceção feita aos anos 2021 e 2024, com interferência significativa de cirrus, quando buscou-se imagens dos meses de junho. Segue abaixo as especificações das bandas espectrais, tabela 1 (Grifo nosso).

Tabela 1 - Tabela das especificações das bandas espectrais dos sensores OLI e TIRS do LANDSAT 8.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI (<i>Operational Land Imager</i>)	(B2) Azul	0,45 a 0,51 μm	30 m	16 dias	170 x 183 Km	16 bits
	(B3) Verde	0,53 a 0,59 μm				
	(B4) Vermelho	0,64 a 0,67 μm				
	(B5) Infravermelho Próximo	0,85 a 0,88 μm				
TIRS (<i>Thermal Infrared Sensor</i>)	(B10) Infravermelho Thermal	10,6 a 11,19 μm	100 m			

Fonte: EngeSAT (2024).

Dessa forma, para as imagens do satélite LANDSAT 8 OLI E TIRS foi utilizada a composição de cor verdadeira RGB 432. Esse método é denominado dessa forma por conter informação espectral fora no intervalo sensível ao olho humano. A sigla RGB são as letras iniciais, em inglês, das cores vermelho, verde e azul. Portanto, a imagem da banda espectral do infravermelho próximo será apresentada na cor vermelha, a banda do vermelho na cor verde e a banda do verde na cor azul.

3.4.2 Classificação das Imagens

Através das imagens de satélites descritas no item 3.4.1, foi utilizado o método de classificação manual orientada a objetos, elaborado por meio de um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG). O SIG utilizado foi o QGIS, é um software de fácil instalação e gratuito. Logo, as feições inicialmente foram identificadas pelas composições falsa-cor e cor verdadeira, então criou-se uma camada vetorial em que foram criadas classes para cada tipo de objeto desejado.

Dessa forma, foi carregado no algoritmo amostras das feições para reproduzir para todas as área de estudo. No caso das imagens dos satélites LANDSAT foram utilizadas apenas quatro classes: vegetação arbórea, vegetação rasteira e áreas com estruturas civis.

3.4.3 Temperatura

Através das imagens de satélites descritas no item 3.4.1, iniciou-se o recorte da imagem infravermelha termal (banda 10) na área desejada seguido do uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin, fundamentado nas equações 1 e 2, disponibilizadas no Serviço Geológico Americano e Tabelas 1 e 2 (Coelho; Correa, 2013).

Equação 1 - Conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL$$

Tabela 2 - Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10.

Lλ	Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m² sr μm)
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04
Qcal	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000

AL	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10
-----------	---

Fonte: Coelho; Correa, (2013).

Segundo Coelho e Correa (2013), conforme exposto, após a transformação dos valores em radiância aplicou-se a equação 2 com a finalidade de transformar os valores obtidos na primeira, em temperatura de valor em Kelvin:

Equação 2 - Conversão de níveis de radiância para temperatura Kelvin.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{k1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Tabela 3 - Elementos e valores da constante de calibração extraídos dos metadados da imagem Landsat-8, banda10.

T	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
K2	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
K1	Constante de calibração 1 = 774.89 (K)
Lλ	Radiância espectral em Watts/(m2 sr μm)

Fonte: Coelho; Correa, (2013)

Após este procedimento, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C), que foi posteriormente validado com o registro de temperatura do ar da estação meteorológica de Campo Grande, seguido do recorte da imagem com base no limite do objeto de estudo. Então, a imagem termal extraída/cortada para a área de estudo e adjacências - salva como “banda10.tif” - e a inclusão dos algoritmos (equação 1 e 2) na calculadora raster do QGIS, equação 3 (Coelho; Correa, 2013).

Equação 3 - Inserção na calculadora raster do QGIS das equações 1, 2 (-273,15) para obtenção da temperatura celsius.

$$TC = (1321.08/\ln(774.89/(3.3420E-04 * \text{“banda10.tif”} + 0.10000)+1))-273.15$$

3.5 Validação dos Dados Termiais do Satélite

A validação de dados é o processo de verificar a precisão e a confiabilidade das informações utilizadas na pesquisa. Isso garante que os dados sejam representativos da realidade, estejam corretos e possam ser usados com confiança nas análises e conclusões.

No caso da validação de dados de satélite, o processo envolve a comparação das

informações obtidas via sensores remotos com dados de referência, coletados por estações meteorológicas, localizadas próximas a área de estudo. Isso ajuda a confirmar que as observações do satélite são precisas e consistentes com a realidade observada em terra.

Paralelo ao dito, procurou-se, também, a utilização de metodologias para análises de tendências e significâncias estatísticas, comumente chamada de medidas estatísticas, como o Coeficiente de Determinação e Coeficiente de Correlação de Pearson, bem como o teste de Mann-Kendall, sendo este último não paramétrico.

3.5.1 Comparação gráfica das médias de temperatura

Como etapa preambular de validação dos dados, temos a comparação gráfica. Os gráficos de linhas, por exemplo, apresentam de maneira clara e direta a progressão ou tendência de uma variável ao longo do tempo ou outra dimensão contínua. Além disso, é bastante eficaz para visualizar dados programados, como a oscilação de temperaturas ao longo de dias, meses ou anos, ou qualquer outra sequência temporal. À vista disso, os dados deste projeto foram processados manualmente, em uma planilha Excel, com o objetivo de exibir visualmente, e facilmente, a evolução da temperatura.

3.5.2 Métodos para análises de tendência e significância estatística

3.5.2.1 Coeficiente de Determinação (R^2)

Segundo Maia (2017) o coeficiente de determinação (R^2) é uma medida estatística que indica a proporção da variação na variável dependente (y) que pode ser explicada pela variável ou pelas variáveis independentes (x) em um modelo de regressão. Ele varia de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, melhor o modelo explica os dados. Assim como na comparação gráfica, os dados também foram tratados manualmente em planilha Excel.

3.5.2.2 Coeficiente de Correlação de Pearson (r)

Segundo Lima. M (2021) o coeficiente de correlação de Pearson (r) mede a força e a direção da relação linear entre duas variáveis.

O r de Pearson é uma métrica que expressa a relação linear entre variáveis por meio de um número que vai de -1 a $+1$. Isto é, quanto mais próximo dos extremos (-1 ou $+1$), maior é a força da correlação. Por outro lado, valores próximos de zero indicam que a correlação é fraca (LIMA. M, 2011).

Pode ser obtido, dentre outras formas, pela raiz quadrada do valor do coeficiente de

determinação. Nota-se, contudo, que já há uma noção interpretativa do resultado da direção e a força da correlação. Porém, podemos buscar uma interpretação mais objetiva, ainda que não exista consenso sobre os valores da correlação. O que existem, de fato, são algumas recomendações (LIMA. M, 2021).

Cohen (1992), por exemplo, sugere os seguintes pontos de corte:

- $r = |\pm 0,10| \rightarrow$ correlação fraca;
- $r = |\pm 0,30| \rightarrow$ correlação moderada;
- $r = |\pm 0,50| \rightarrow$ correlação forte.

Por outro lado, Rumsey (2023) traz a seguinte sugestão de tamanhos de efeito:

- $r = |\pm 1| \rightarrow$ relação linear perfeita;
- $r = |\pm 0,70| \rightarrow$ relação linear forte;
- $r = |\pm 0,50| \rightarrow$ relação linear moderada;
- $r = |\pm 0,30| \rightarrow$ relação linear fraca;
- $r = 0 \rightarrow$ ausência de relação linear.

As sugestões acima além de próximas, independentemente de o coeficiente ser positivo ou negativo, não são prescritivas. Isto quer dizer, portanto, que as interpretações devem ater-se as suas respectivas áreas de pesquisa.

3.5.2.3 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico (Mann, 1945), (Kendall, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais.

Esse teste consiste basicamente da comparação de cada valor de uma série temporal com outros valores restantes sempre em ordem sequencial (Silva et al., 2008).

A estatística do teste é a seguinte (Silva et al., 2008 e Silva et al., 2010):

Equação 4 - Estatística S, que mede o número de pares ordenados.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j)$$

em que x_i e x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$. O teste de Mann-Kendall é um teste normalmente usado para avaliar tendência de séries

temporais de dados ambientais com bastante eficiência. Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $Var(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , que são calculadas pelas equações:

Equação 5 - Média da estatística S .

$$E(S) = 0$$

Equação 6 - Variância.

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5)}{18}$$

em que (tp) é o número de dados com valores iguais num certo grupo (pth) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

Utilizando a equação (4), o valor positivo de S indica uma tendência positiva dos dados que crescem com o tempo. Por outro lado, o valor negativo de S indica uma tendência decrescente. Sabendo-se que S é normalmente distribuída, que tem média zero e variância dada pelas equações (5) e (6), respectivamente, pode-se checar se a tendência é positiva ou negativa e significativamente diferente de zero. Se S é significativamente diferente de zero, a hipótese nula H_0 pode ser rejeitada para certo nível de significância apontando para a existência de tendência; inversamente a hipótese alternativa (H_1) é aceita. O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é computado pela seguinte equação (Silva et al., 2008 e Silva et al., 2010):

Equação 7 – Resultado de saída do Teste de Mann-Kendall.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{Var(S)}} & se\ S > 0 \\ 0 & se\ S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{Var(S)}} & se\ S < 0 \end{cases}$$

A existência de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada pelo valor de (Z_{MK}). O valor positivo de (Z_{MK}) indica quando há um aumento na tendência e o valor negativo indica uma diminuição na tendência. O valor (Z_{MK}) é o parâmetro de saída do teste Mann-Kendall. Para testar qualquer tendência, crescente ou decrescente, para um nível de significância α , rejeita-se a hipótese nula quando o valor absoluto de (Z_{MK}) for maior que $Z_{1-\alpha/2}$ (Alves e Nóbrega et al., 2017).

No presente estudo foi aplicado o nível de significância $\alpha = 0,05$. Assim, quando o valor absoluto de Z for igual a 0, será aceita a hipótese nula ao nível de 5%, sem tendência (TS). O resultado de Z for igual ou superior a 1,96 representa um valor positivo, o que indica a existência de uma tendência significativa crescente (TSC); O resultado de Z for inferior a 1,96 demonstra uma tendência não significativa crescente (TNSC); Quando o resultado de Z for igual ou menor que -1,96 indica valor negativo e tendência significativa decrescente (TSD), e quando Z apresentar resultado maior que -1,96 indica tendência não significativa decrescente (TNSD), conforme a tabela 4 a seguir (Alves e Nóbrega et al., 2017).

Tabela 4 - Descrição da significância do teste Mann-Kendall.

SIGNIFICÂNCIA	SIMBOLOGIA	Z
Sem Tendência	ST	0
Tendência Significativa Crescente	TSC	$> + 1,96$
Tendência Significativa Decrescente	TSD	$< - 1,96$
Tendência Não Significativa Crescente	TNSC	$< + 1,96$
Tendência Não Significativa Decrescente	TNSD	$> - 1,96$

Fonte: Alves e Nóbrega et al., 2017.

Destaca-se, assim como o coeficiente de Pearson, que não existe um consenso sobre a interpretação dos valores da correlação. Na literatura muitos dividem somente em três grupos, a saber, sem significância ($Z=0$), significância positiva ($Z>0$) e significância negativa ($Z<0$). Não obstante, Alves e Nóbrega (2017), apresentaram uma interpretação bastante satisfatória, segundo a tabela acima, a ser utilizada neste estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos dados das Estações Meteorológicas

O processo de validação começa com a coleta simultânea de dados de estações meteorológicas e do Landsat 8. Esse sincronismo assegura que as comparações sejam feitas em condições atmosféricas idênticas. Os dados meteorológicos são então usados para correção atmosférica, um passo crucial para ajustar os dados de satélite. Essa correção envolve a remoção dos efeitos de absorção e espalhamento causados pela atmosfera, permitindo que as medições do sensor TIRS reflitam com maior precisão a temperatura da superfície.

Além disso, as leituras de temperatura obtidas das estações meteorológicas são comparadas diretamente com os valores correspondentes derivados dos dados da banda 10 do

TIRS. Essa comparação ajuda a identificar e corrigir quaisquer discrepâncias, assegurando a acurácia dos dados de satélite. Algoritmos de modelagem são então aplicados para ajustar os dados do TIRS com base nas leituras meteorológicas, utilizando funções de transferência radiativa que consideram as condições atmosféricas para melhorar a precisão dos dados do satélite.

A validação dos dados de satélite com medições de estações meteorológicas é crucial em diversas aplicações práticas, como no monitoramento das condições de temperatura do solo e, particularmente ao caso, na análise de tendências de temperatura e seus impactos ambientais em estudos climáticos.

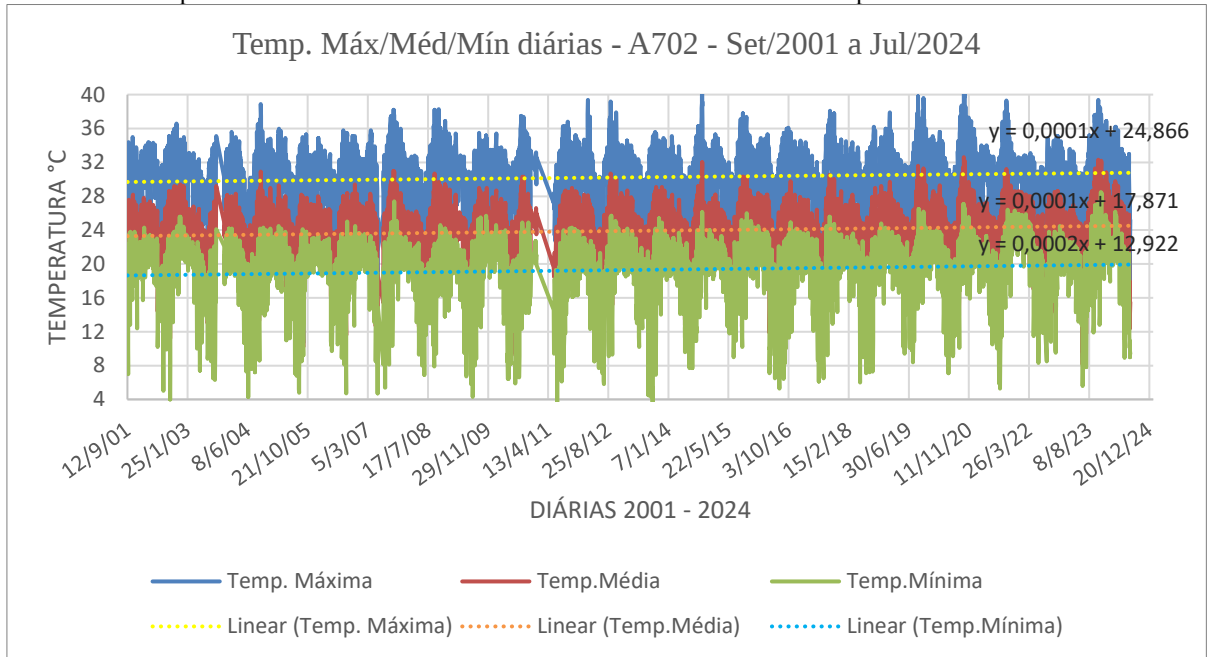
Contudo, além do citado, no caso deste trabalho, ocorre, de forma capital, a desvincular uma possível análise de aumento de temperatura da área em estudo, fruto da supressão vegetal, do aumento de temperatura global/regional, ilustrado pela análise climática dos últimos 30 anos.

Vale evidenciar a ausência de dados nas estações meteorológicas da EMBRAPA e UFMS, em diversas ocasiões. Falhas técnicas em sensores, hardware, comunicação ou manutenção inadequada são causas principais de problemas na coleta e transmissão de dados meteorológicos, resultando em períodos temporários sem dados, especialmente após eventos climáticos extremos que danificam as estações. Problemas de comunicação e erros humanos durante a coleta, registro ou transmissão de dados, como erros de entrada ou falhas em sistemas automatizados, também contribuem para a ausência de informações. Além disso, interrupções programadas para manutenção preventiva ou atualização de software, documentadas pelas organizações responsáveis, informam os usuários sobre possíveis inconsistências nos dados.

Diante deste problema, suprimimos, para fins de confecção de gráfico, os dados ausentes, não observados. Ressalta-se que tal medida não afetou a lógica do que se pretendia expor com os dados das estações, a saber, a variação climática ao longo do tempo. Ademais, essa abordagem permitiu expor um gráfico mais constante, com uma linha de tendência linear.

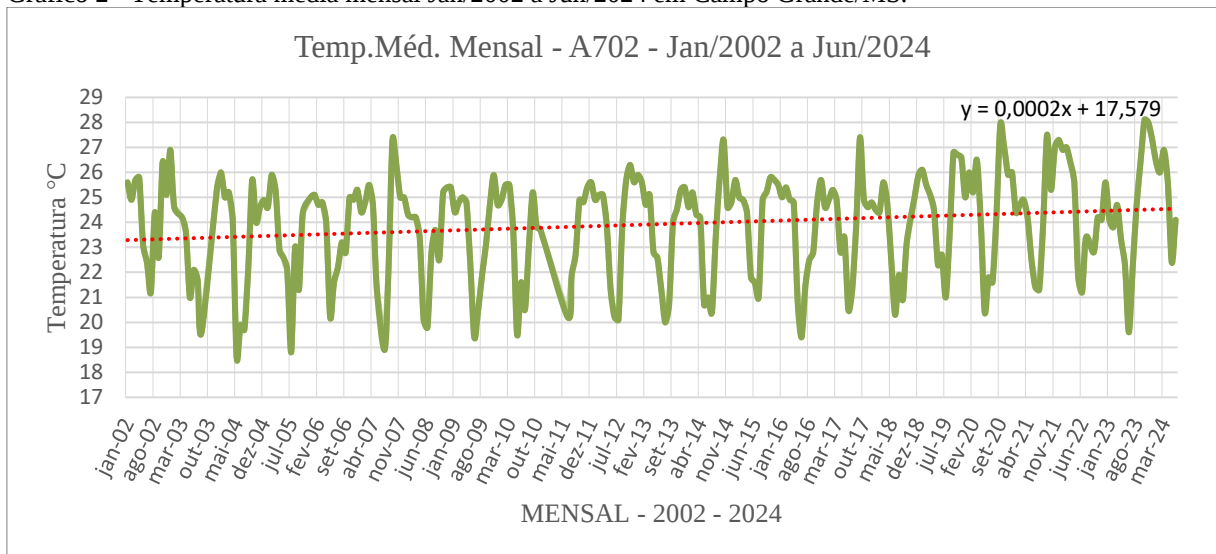
De acordo com o indicado no item 3.3.1, a estação automática A702 só disponibilizou dados de setembro de 2001 a julho de 2024, último mês pesquisado. Dessarte, visando a notabilidade dos dados daquela estação, produziu-se os gráficos (1 e 2) diário, de temperatura mínima, média e máxima, e mensal, com temperatura média, do período em questão.

Gráfico 1 - Temperaturas máx/méd/mín diárias de Set/2001 a Jul/2024 em Campo Grande/MS.



Fonte: Autor (2024).

Gráfico 2 - Temperatura média mensal Jan/2002 a Jun/2024 em Campo Grande/MS.

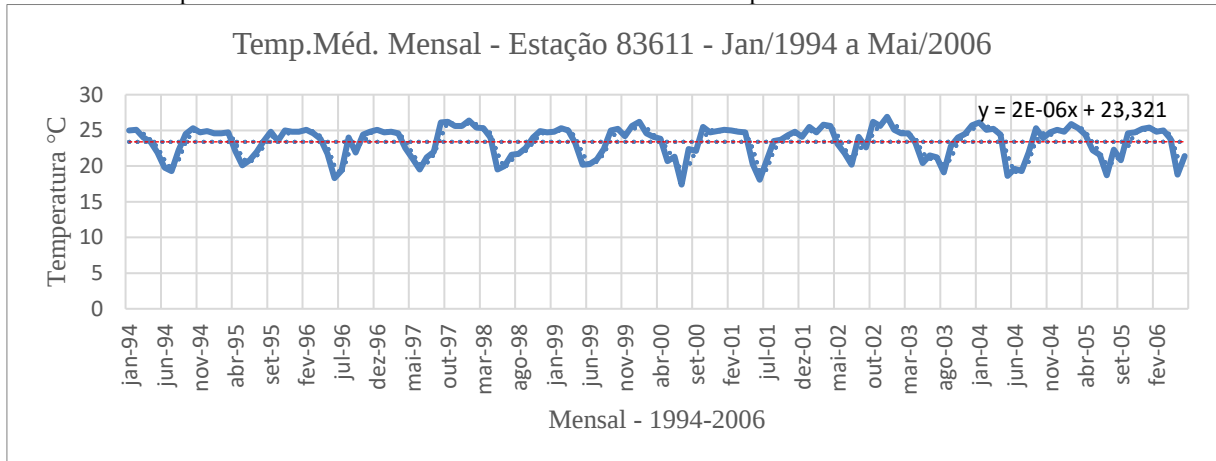


Fonte: Autor (2024)

Obseva-se, segundo os gráficos, sobretudo pela linha de tendência, que há um leve aumento de temperatura de 2001 a 2024, pois os valores atribuídos a “x”, correspondentes ao tempo, implicarão em um aumento de “y”, correspondente a temperatura.

Semelhantemente a estação A702, buscando a propalação dos dados da estação 83611, de janeiro de 1994 a maio de 2006, produziu-se o gráfico (3) mensal, com temperatura média, do período em questão.

Gráfico 3 - Temperatura média mensal Jan/1994 a Mai/2006 em Campo Grande/MS.

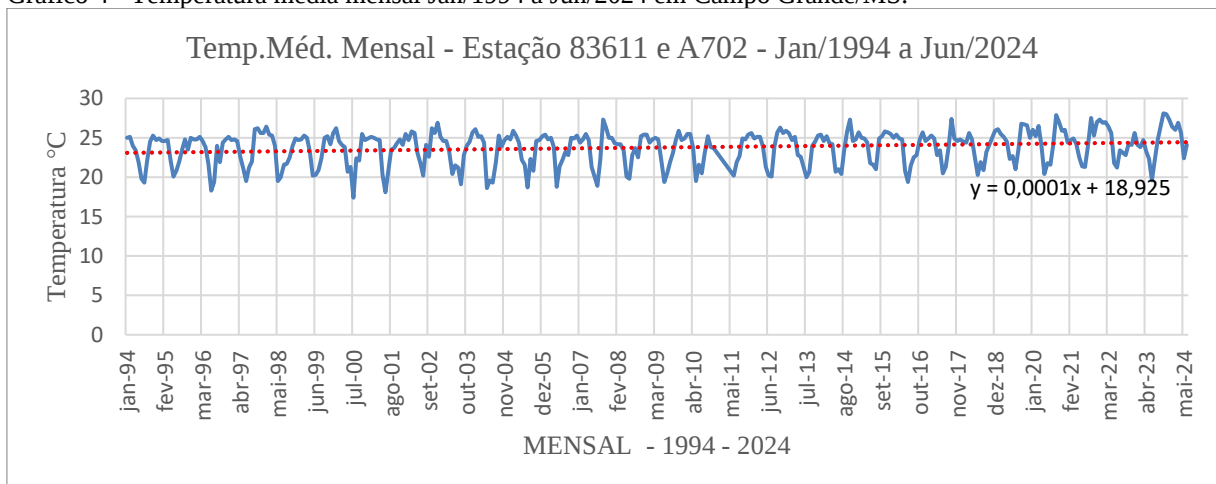


Fonte: Autor (2024).

De forma similar, segundo o gráfico, há um leve aumento de temperatura de 1994 a 2006, consoante com a linha de tendência.

Por fim, na figura a junção dos dados das estações, automática e convencional, com o intuito de compor um quadro analítico climático dos últimos 30 anos, gráfico 4.

Gráfico 4 - Temperatura média mensal Jan/1994 a Jun/2024 em Campo Grande/MS.



Fonte: Autor (2024)

Nos últimos 30 anos, segundo o gráfico, sobretudo pela linha de tendência, Campo Grande-MS tem registrado um aumento na temperatura, refletindo as tendências globais de aquecimento. As médias históricas mostram que os verões estão ficando mais quentes, com temperaturas ultrapassando 40°C em alguns períodos, mas, logicamente, que tal fato não é observado no gráfico, uma vez que o mesmo expressa a temperatura média. Esse aquecimento está relacionado tanto a fatores globais, como o aumento da concentração de gases de efeito estufa, quanto a questões locais, como o avanço da urbanização, que intensifica o efeito de

"ilhas de calor". A redução de áreas verdes e o aumento de superfícies impermeáveis agravam essa situação, tornando a cidade mais vulnerável ao calor extremo.

As consequências desse aumento são percebidas no cotidiano da população de Campo Grande. A saúde pública tem sido impactada, com mais casos de doenças respiratórias e golpes de calor durante os períodos mais quentes. Além disso, a agricultura, setor essencial para a economia local, sofre com a alteração nos ciclos de chuvas e secas mais intensas, prejudicando a produtividade. As mudanças no regime climático também desafiam a gestão dos recursos hídricos, exigindo políticas de adaptação e mitigação para minimizar os impactos sobre o abastecimento de água e o meio ambiente urbano.

4.2 Análise das respostas espectrais das imagens de satélite

A banda 10 do Landsat 8 fornece valores de radiança que precisam ser convertidos em temperatura de brilho, conforme já descrito no item 3.4.3 e pela equação 2. Depois de calcular a temperatura de brilho, houve a necessidade de analisar as variações térmicas na área de estudo. Com isso, criou-se perfis térmicos, como estatísticas raster para calcular média, máximo e mínimo, ou mapas temáticos para melhor visualizar e interpretar os dados.

No mapeamento, conforme segue, são apresentadas as cenas imageadas, pela composição cor verdadeira e a classificação da temperatura. Desse modo, na composição cor verdadeira as feições são identificadas de acordo com o espectro de luz visível ao olho humano. Ou seja, as vegetações são verdes, as águas em tons azuis escuros, concreto e asfalto em tons cinza, e assim por diante.

Já na classificação, podemos verificar que a vegetação densa tende a apresentar temperaturas mais amenas, representada em cores mais frias (verde para o azul). A vegetação rasteira é representada pelas temperaturas médias nas cores verdes claras para o amarelo-alaranjado e as vegetações esparsas possuem cores com tons alaranjados.

As estruturas urbanas e solos expostos são identificadas em cores vermelhas, uma vez que as construções civis refletem as bandas espectrais. E, por fim, os cursos d'água possuem tons bem escuros, praticamente na cor preta, pois a água absorve as ondas espectrais.

4.3 Análise e Classificação das imagens de satélite

Por meio da análise inicial de verificação das feições apresentadas na cena imageada foi feita a classificação orientada a objetos que podem ser visualizadas nos mapas abaixo. Dessa forma, a partir da área que sofreu a supressão vegetal, atual 9º B Com GE, foi gerado um *buffer* de 1 (um) quilômetro para utilizar como zona de acompanhamento. Para tanto, conforme o ano

e diferentes tipos de cobertura vegetal e usos do solo presentes, obteve-se a variação de temperatura em intervalos regulares de aproximadamente um grau celsius ($\approx 1^\circ \text{C}$), entre a mínima a máxima, através da composição colorida RGB 432 para as imagens de satélite Landsat 8, identificadas nos mapeamentos apresentados nos apêndices A ao L.

No apêndice A a temperatura mais amena do *buffer*, entre $18,1^\circ\text{C}$ e $20,2^\circ\text{C}$ foi registrada no telhado do Supermercado Fort Atacadista, da Av. Presidente Vargas. Tal apontamento traz a inferência que a banda 10 do Landsat 8, que é usada para medir a temperatura da superfície terrestre, pode não registrar corretamente a temperatura de telhas termoacústicas brancas, a exemplo do supermercado. Essas estruturas utilizam materiais projetados para refletir o calor e isolar o ambiente interno. Assim, esses materiais tendem a ter uma baixa emissividade, significando que não emitem muita radiação infravermelha. Como a banda 10 do Landsat 8 mede a radiação infravermelha emitida pela superfície, a leitura da temperatura pode ser imprecisa ou subestimada.

Portanto, a classificação do telhado acabou se destacando em detrimento da área de estudo, que deveria apresentar a temperatura mais amena dentro da área em estudo, variando entre $21,3^\circ\text{C}$ e $22,4^\circ\text{C}$.

De igual modo, no apêndice B, a classificação incorreta do telhado do Fort também se destacou, registrando a temperatura mais baixa do *buffer*. Entretanto, em julho de 2014 já havia ocorrido a supressão vegetal. A área de estudo, de acordo com a legenda de temperatura, não disputava mais as classificações mais baixa, mais, sim, a maior, entre $21,4^\circ\text{C}$ e $22,4^\circ\text{C}$.

Semelhantemente, nos apêndices C, D, E e F, de acordo com a classificação obtida, a área de estudo continuou registrando as maiores temperaturas da zona de acompanhamento. É relevante apontar que em 2017, apêndice E, a classificação incorreta do telhado continuou, mas sobreveio também um pequeno bosque no Colégio Militar de Campo Grande, edificação ao lado do 9º Btl Com GE.

Em 2019, apêndice G, devido à vegetação seca e aos frequentes focos de incêndio nas proximidades do paiol de munições, a unidade militar, responsável pela área, decidiu criar um aceiro, delimitado por um círculo dentro do *buffer*. Como resultado, mais uma vez, de acordo com a classificação obtida, a área de estudo registrou uma alta temperatura dentro do *buffer*, entre $26,0^\circ\text{C}$ e $27,2^\circ\text{C}$, perdendo somente para o aceiro, por conta da exposição do solo.

Neste ponto evidencia-se a eficácia da banda 10 do Landsat 8 na medição da temperatura do solo exposto, devido à sua capacidade de detectar a radiação térmica infravermelha emitida pelo solo. Isso ocorre porque o solo tem alta emissividade, emitindo mais radiação térmica do que outros materiais, e não há interferência de camadas isolantes, como telhas termoacústicas.

O solo também absorve e retém calor, aumentando a quantidade de radiação emitida, especialmente em áreas com pouca vegetação. A resolução térmica da banda 10 é ideal para captar grandes superfícies de solo exposto, permitindo medições precisas.

Tornando-se um padrão, a área de estudo, de acordo com a classificação obtida, segundo os apêndices H, I, J, K e L, continuou registrando a maior temperatura do *buffer*.

Com base no exposto, a análise dos mapas (apêndices) revelou um aumento na temperatura da área de estudo, fruto da supressão vegetal, visto que em 2013, guardadas as exceções, a exemplo do telhado do Fort Atacadista, possuía a menor temperatura do *buffer* e, desde então, entre as maiores, segundo evidenciado nas imagens termográficas (Grifo nosso).

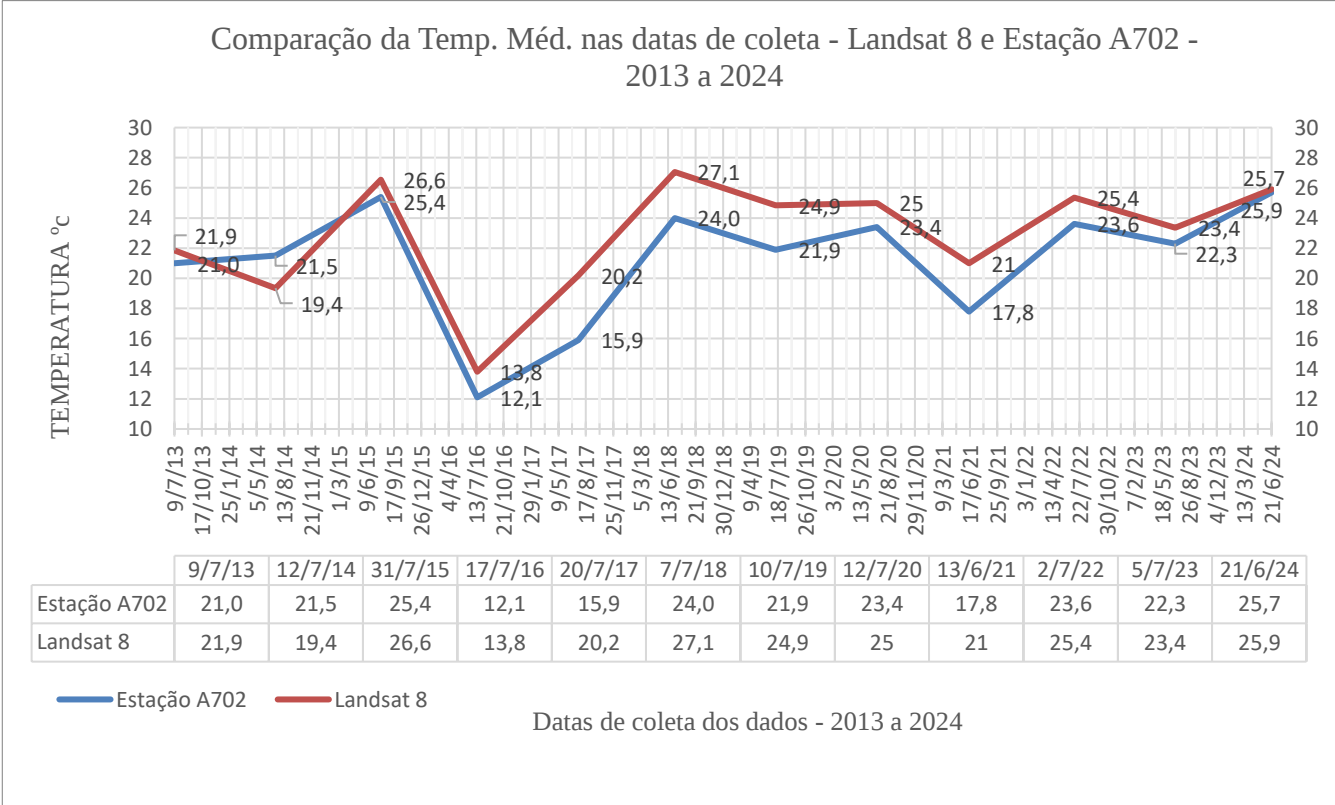
4.4 Validação dos Dados Termais do Satélite

4.4.1 Análise gráfica das médias de temperatura

Pelo gráfico 5, abaixo, temos a comparação gráfica das médias de temperatura da Landsat 8 e da estação A702, em graus Celsius (° C), nas datas de coleta, de 2013 a 2024.

Registra-se que as temperaturas mediais do Landsat foram obtidas pela média aritmética das temperaturas máxima e mínima encontradas por ocasião da classificação das imagens.

Gráfico 5 - Comparação das Temperaturas Médias de 2013 a 2024 (datas de coleta) em Campo Grande/MS.



Fonte: Autor (2024)

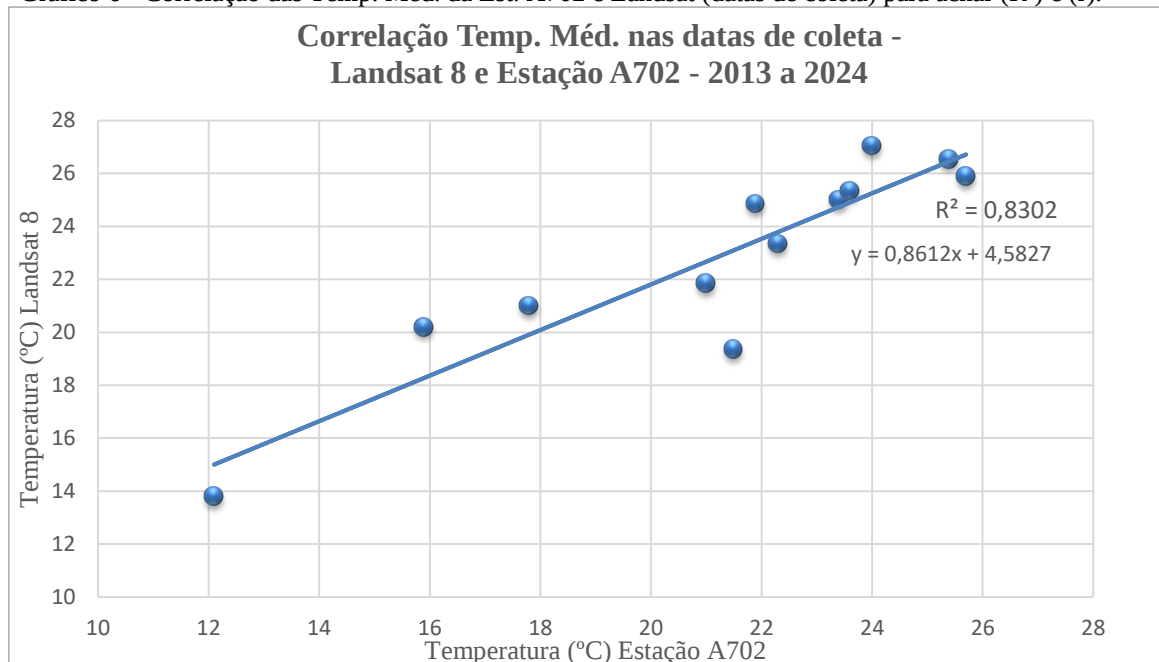
4.4.2 Análises de tendência e significância estatística

4.4.2.1 Coeficiente de Determinação (R^2)

De acordo com o gráfico 6, com os dados de entrada do eixo x e y correspondentes as médias de temperatura, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), nas datas de coleta, da estação A702 e da Landsat 8, respectivamente, foi possível apurar o valor de R^2 .

Quando se diz que o coeficiente de determinação é de 0,8302, isso significa que 83,02% da variação observada nos dados da variável dependente pode ser explicada pelo modelo. Em outras palavras, o modelo é capaz de explicar bem os dados, deixando apenas 16,98% da variação sem compatibilidade (erros ou fatores não considerados no modelo).

Gráfico 6 - Correlação das Temp. Méd. da Est. A702 e Landsat (datas de coleta) para achar (R^2) e (r).



Fonte: Autor (2024).

4.4.2.2 Coeficiente de Correlação de Pearson (r)

O r de Pearson foi obtido pela raiz quadrada do valor do coeficiente de determinação ($\sqrt{0,8302}$), ou seja, o valor de r é 0,91.

Consoante com o item 3.5.2.2, supracitado, não há na literatura uma única posição sobre a direção e força da correlação, mas, sim, uma noção interpretativa. Assim sendo, o valor encontrado ($r=0,91$) indica uma forte correlação positiva entre as duas variáveis, isto é, a temperatura do satélite Landsat 8 com a temperatura da estação meteorológica. Isso implica que, conforme uma variável cresce, a outra tendência a crescer simultaneamente, e essa relação

é próxima de linear, embora não perfeita.

4.4.2.3 Teste de Mann-Kendall

Com os dados da estação A702 e Landsat 8, nas datas de coleta, obtivemos os seguintes resultados, de acordo as tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Estatística do Teste de Mann-Kendall para os dados da Estação A702.

Data Medição	9/7/13	12/7/14	31/7/15	17/7/16	20/7/17	7/7/18	10/7/19	12/7/20	13/6/21	2/7/22	5/7/23	21/6/24
Temp.Méd. Est. A702 (°C)	21,0	21,5	25,4	12,1	15,9	24,0	21,9	23,4	17,8	23,6	22,3	25,7
21,0	0,0	1,0	1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0
21,5		0,0	1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0
25,4			0,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	1,0
12,1				0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15,9					0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24,0						0,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	1,0
21,9							0,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0
23,4								0,0	-1,0	1,0	-1,0	1,0
17,8									0,0	1,0	1,0	1,0
23,6										0,0	-1,0	1,0
22,3											0,0	1,0
25,7												0,0

Fonte: Autor (2024)

Tabela 6 - Estatística do Teste de Mann-Kendall para os dados da Landsat.

Data Medição	9/7/13	12/7/14	31/7/15	17/7/16	20/7/17	7/7/18	10/7/19	12/7/20	13/6/21	2/7/22	5/7/23	21/6/24
Temp. Méd. Landsat 8 (°C)	21,9	19,4	26,6	13,8	20,2	27,1	24,9	25,0	21,0	25,4	23,4	25,9
21,9	0,0	-1,0	1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0
19,4		0,0	1,0	-1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
26,6			0,0	-1,0	-1,0	1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
13,8				0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20,2					0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
27,1						0,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
24,9							0,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	1,0
25,0								0,0	-1,0	1,0	-1,0	1,0
21,0									0,0	1,0	1,0	1,0
25,4										0,0	-1,0	1,0
23,4											0,0	1,0
25,9												0,0

Fonte: Autor (2024)

Empregando as equações de (4) a (7) foram obtidos os seguintes resultados de tendência, indicados na tabela 7.

Em uníssono com o item 3.5.2.3, destaca-se, mais uma vez, que não existe um consenso sobre a interpretação dos valores da correlação. Todavia, aproveitou-se a interpretação bastante apropriada da tabela 4.

Tabela 7 - Resultado do Teste de Mann-Kendall para os dados da Estação A702 e Landsat 8.

	S	n	Var	Zcrítico *	Zobtido	Significância
Estação A702	20	12	212,67	1,96	1,44	TNSC
Landsat 8	18	12	212,67	1,96	1,30	TNSC

Fonte: Autor (2024)

Observação: * Zcrítico de 1,96 = nível de confiança de 95%.

Vale mencionar que a tendência não significativa crescente (TNSC) não é algo inexpressivo, mas, tão somente, uma série homogênea, com uma tendência crescente.

5 **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho apresentou uma análise detalhada da variação de temperatura decorrente da supressão vegetal e construção do 9º Batalhão de Comunicações e Guerra Eletrônica (9º B Com GE) na região do bairro Vila Sobrinho, em Campo Grande, MS. Com base nos dados coletados de imagens do satélite Landsat 8, especificamente através da banda termal, foi possível identificar alterações significativas no microclima, impactando diretamente no aumento da temperatura local.

Ao comparar os dados das estações meteorológicas (A702 e UFMS) com os resultados obtidos do Landsat 8, observou-se um padrão semelhante de elevação térmica. As temperaturas médias mensais e diárias confirmam uma tendência crescente de aumento, reforçando a hipótese de que ações antrópicas, tais como, a supressão vegetal e urbanização, estão fortemente associadas as mudanças em estudo.

Outro aspecto relevante foi a validação dos dados termais do Landsat 8, que confirmou a confiabilidade do uso do sensor termal na medição da temperatura da superfície. A correção atmosférica, feita com base nos dados das estações meteorológicas, garantiu que as observações capturadas pelo satélite refletissem a realidade local, eliminando possíveis discrepâncias. O coeficiente de Pearson de 0,91 indicou uma forte correlação positiva entre os dados, o que reforça a confiança na metodologia aplicada.

Em termos de aumento de temperatura, os resultados apontaram uma tendência de elevação das temperaturas na área de estudo, corroborados pelo teste de Mann-Kendall. A análise termográfica mostrou um crescimento contínuo das temperaturas médias ao longo dos anos (2013 – 2024). Esse aumento está diretamente relacionado à diminuição da cobertura vegetal, conforme evidenciado nas imagens e dados desenvolvidos.

Além disso, o uso de geotecnologias é uma alternativa econômica e eficiente para o monitoramento de variáveis ambientais como a temperatura. O cruzamento dos dados meteorológicos com as imagens de satélite permitiu uma análise robusta das variações térmicas, com mapas detalhados da distribuição de temperatura ao longo do tempo, sendo possível observar picos de temperatura em solos expostos /ou com menos vegetação.

A análise espacial das respostas espectrais destacou que as áreas com vegetação densa registravam temperaturas mais baixas, enquanto as áreas com solo exposto e construções urbanas apresentavam picos de temperatura. Essa diferenciação térmica sustenta a conclusão de que a supressão vegetal contribui diretamente para o aumento da temperatura, especialmente em áreas expostas.

Em conclusão, este estudo confirmou que a remoção de vegetação, mesmo que em pequenas áreas, causa impactos significativos no microclima urbano, contribuindo para o aumento das temperaturas. A continuidade das pesquisas com esse enfoque é essencial para a implementação de políticas públicas que promovam a mitigação dos efeitos da urbanização, como o reflorestamento urbano e a criação de áreas verdes, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população e a sustentabilidade.

Por fim, os resultados deste estudo são cruciais para entender a relação entre urbanização e variabilidade climáticas. Eles fornecem subsídios importantes para a formulação de estratégias de adaptação e mitigação, que devem considerar o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental, garantindo que as futuras gerações possam viver em um ambiente mais saudável e sustentável.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, K. M. A. S.; NÓBREGA, R. S. **Tendencia Pluviométrica Y Concentración Estacional de Precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Río Moxotó**. Revista Geográfica de América Central, vol. 1, núm. 58, pp. 295-313, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/4517/451750038021/html/>. Acessado em: 17 e 18 de setembro de 2024.

BOEHM, S.; SCHUMER, C. **10 conclusões do relatório do IPCC sobre mudanças climáticas de 2023**. Porto Alegre – RS. WRI Brasil: 24 mar. 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023#:~:text=Essa%20disparidade%20entre%20os%20n%C3%ADveis,adaptar%20%C3%A0s%20mudan%C3%A7as%20no%20clima>. Acesso em: 17 de julho de 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). **Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese**. Brasília: ONU/IPCC, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 17 a 25 de julho de 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF. Diário Oficial da União: 28 mai. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso em: 28 de agosto de 2024.

BRASIL. Câmara dos Deputados. 11º Conferência das Cidades. **Cidades e Transporte: Urbanização elevou de 2 a 4 °C a temperatura em São Paulo, diz pesquisador**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2010. Disponível em: <https://camara.leg.br/noticias/144589-urbanizacao-elevou-de-2-a-4-oc-a-temperatura-em-sao-paulo-diz-pesquisador/#:~:text=A%20eleva%C3%A7%C3%A3o%20da%20temperatura%2C%20apontada,chamadas%20%E2%80%9Cilhas%20de%20calor%E2%80%9D>. Acesso em: 17 a 25 de julho de 2024.

COELHO, André Luiz Nascentes; CORREA, Wesley de Souza Campos. **Temperatura de superfície Celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações**. Revista Geográfica Acadêmica, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285343251_TEMPERATURA_DE_SUPERFICIE_CELSIUS_DO_SENSOR_TIRSLANDSAT-8_METODOLOGIA_E_APLICACOES. Acesso em: 04 e 05 de agosto de 2024.

COHEN, J. **Statistical power analysis: Current Directions in Psychological Science**, 1(3), 98–101, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>. Acessado em 03 e 04 de setembro de 2024.

RIBEIRO, J. Felipe; WALTER, B. M. Teles. **Bioma Cerrado: Tipos de vegetação do Bioma Cerrado**. Brasília. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma->

[cerrado/vegetacao](#). Acesso em: 24 de julho de 2024.

ENGESAT. Imagem de Satélite Landsat 8. Disponível em: <https://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GOOGLE EARTH PRO, versão 7.3.3. Disponível em: <https://www.google.com/earth/versions/>. Acesso em: 24 a 30 de julho de 2024.

ICMBio - Instituto Chico Mendes da Biodiversidade., Centro Nacional de Avaliação da Biodiversidade e de Pesquisa e Conservação do Cerrado (CBC). **Biodiversidade do Cerrado**. Brasília: ICMBio/CBC, [2010?]. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html>. Acesso em: 17 de julho de 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. **Dados Diário e Mensais**. Brasília. INMET: 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> . Acesso em: 22 de julho de 2024.

LIMA, M. (2021). **O que é correlação de Pearson?** Blog Psicometria Online. Disponível em: <https://www.blog.psicometriaonline.com.br/o-que-e-correlacao-de-pearson/> . Acesso em: 03 e 04 de setembro de 2024.

MAIA, Alexandre Gori. **Econometria: conceitos e aplicações** . Capítulo 7. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: <https://www4.eco.unicamp.br/docentes/gori/105-menu-principal/304-econometria-i>. Acesso em: 03 a 07 de setembro de 2024.

QGIS Development Team. (2021). QGIS Geographic Information System. Versão 3.28.2. RUMSEY, D. J. (2023). What is r value correlation? Dummies. Disponível em: <https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/math/statistics/how-to-interpret-a-correlation-coefficient-r-169792/>. Acesso em: 03 a 08 de setembro de 2024.

SAVE CERRADO. **Cerrado: Desmatamento atinge maior número desde 2015**. Belo Horizonte-MG: savecerrado, 2022. Disponível em: https://www.savcerrado.org/noticias/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIkPiRkLrQiQM_VcUJIAB1a3DTGEAAAYASAAEgKyKfD_BwE . Acesso em: 17 a 20 de julho de 2024

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R ; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. **Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil**: Dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, 2008. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/6646>. Acesso em: 10 a 17 de setembro de 2024.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R ; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. **Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/DZTtpK7zzvLRYH8zbBJyvcp/?lang=pt>. Acessado em: 10 a 17 de setembro de 2024.

SORRE, Max. **Objeto e Método da Climatologia**. 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47268>. Acesso em: 03 de maio 2024.

TEMPO.COM. Previsão do tempo para Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Disponível em: https://www.tempo.com/campo-grande_mato-grosso-do-sul. Acesso em: 22 de julho de 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2024. Earth Explorer. Landsat 8, OLI/TIRS. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acessado em: 17 julho a 18 agosto de 2024.

WWF-BRASIL. World Wildlife Fund Brasil. **Ameaças:** Bioma Cerrado. [S.l.]: WWF-Brasil. [S.d.]. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_cerrado/bioma_cerrado_ameacas/. Acesso em: 17 de julho de 2024.

7 APÊNDICE

Apêndice A – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2013

Apêndice B – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2014

Apêndice C – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2015

Apêndice D – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2016

Apêndice E – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2017

Apêndice F – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2018

Apêndice G – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2019

Apêndice H – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2020

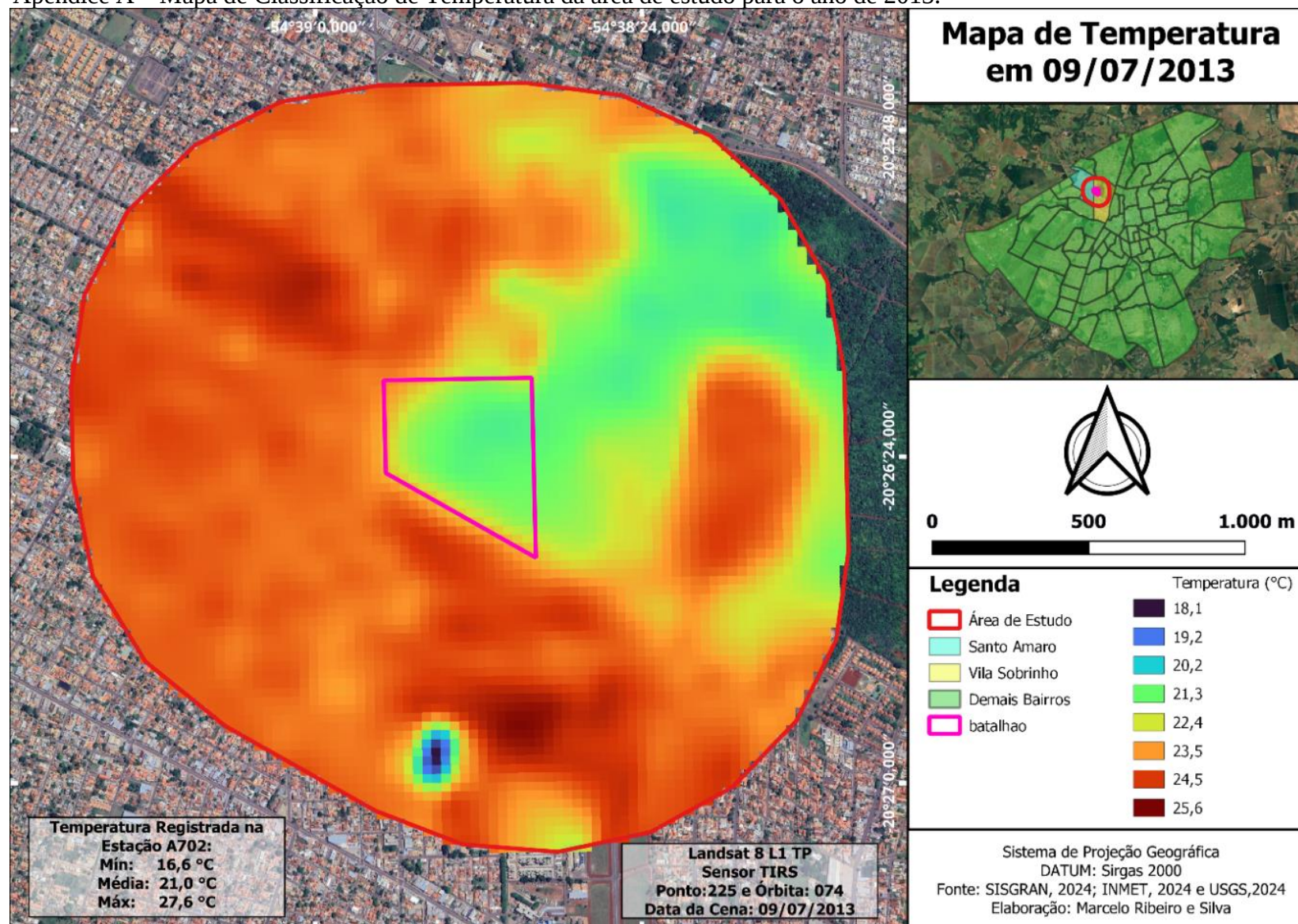
Apêndice I – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2021

Apêndice J – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2022

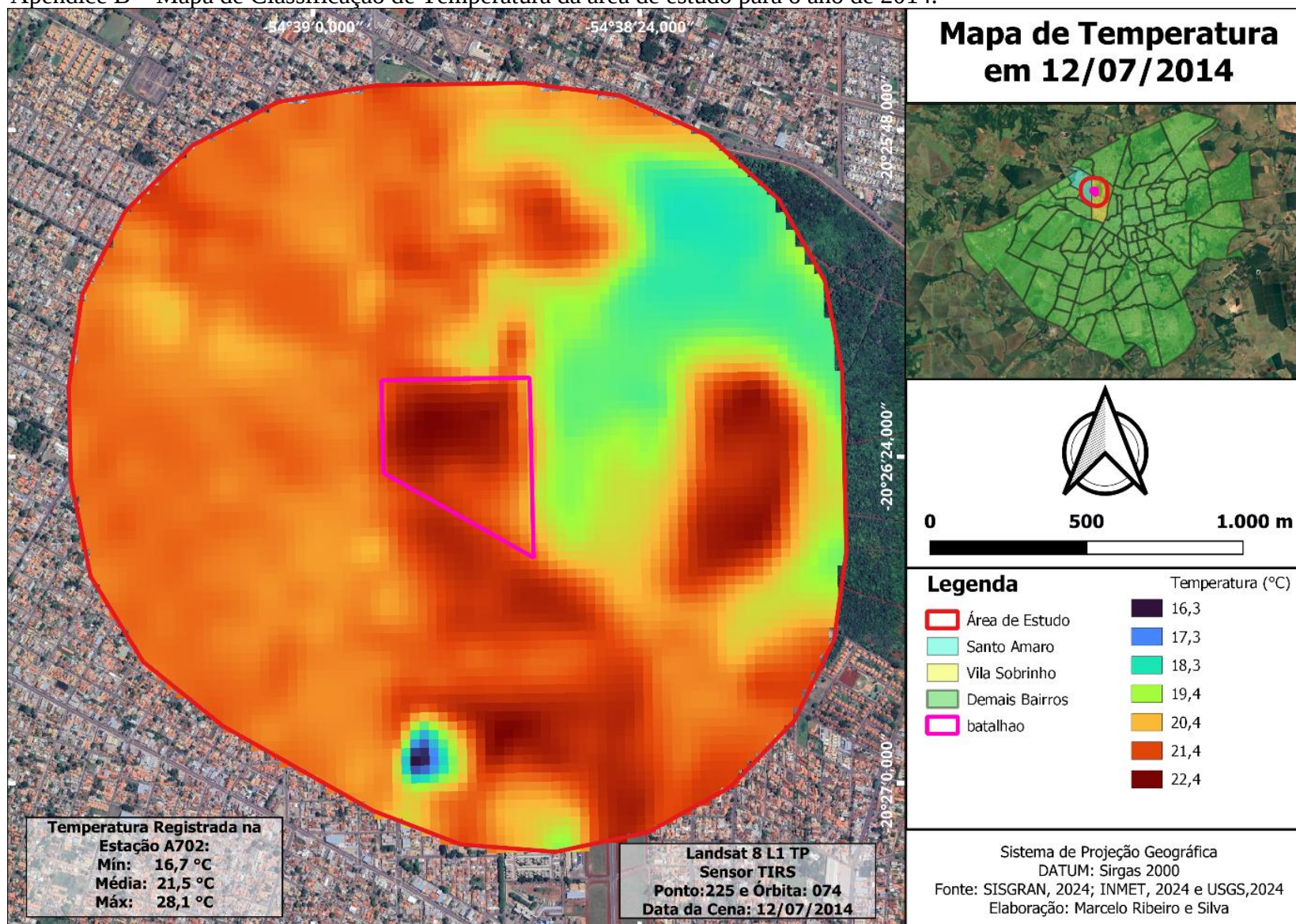
Apêndice K – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2023

Apêndice L – Mapa de Classificação de Temperatura da Área de Estudo para o ano de 2024

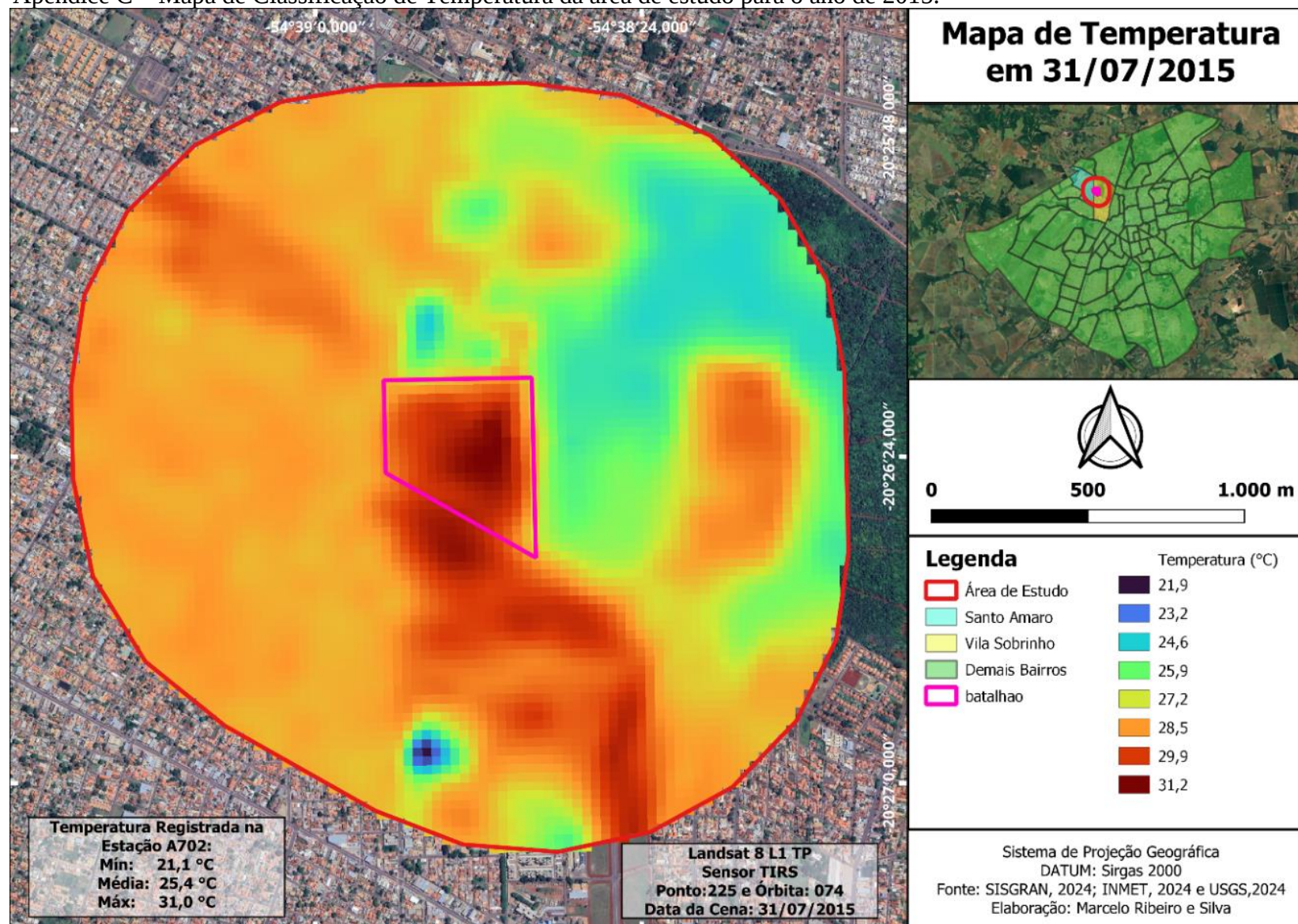
Apêndice A – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2013.



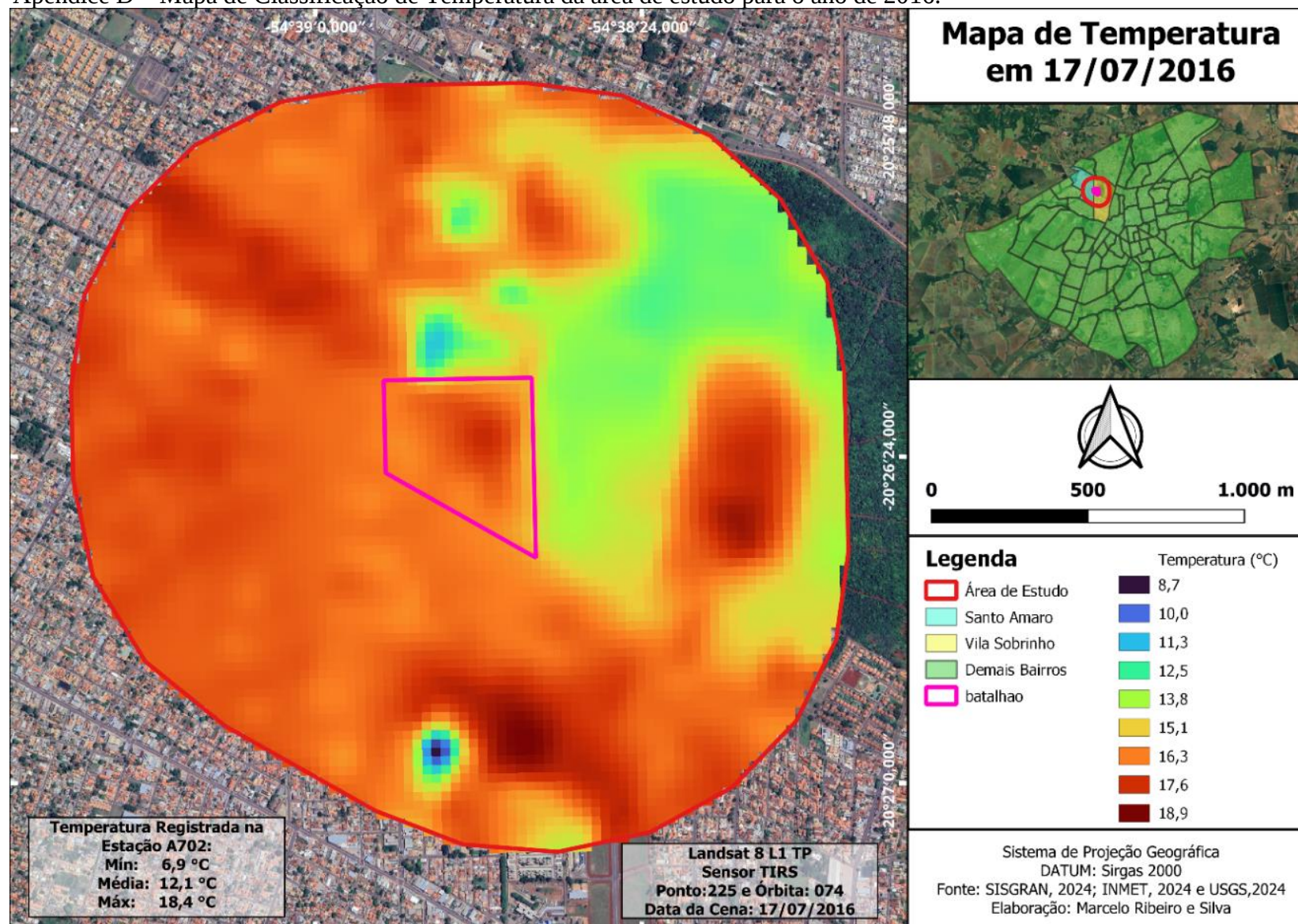
Apêndice B – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2014.



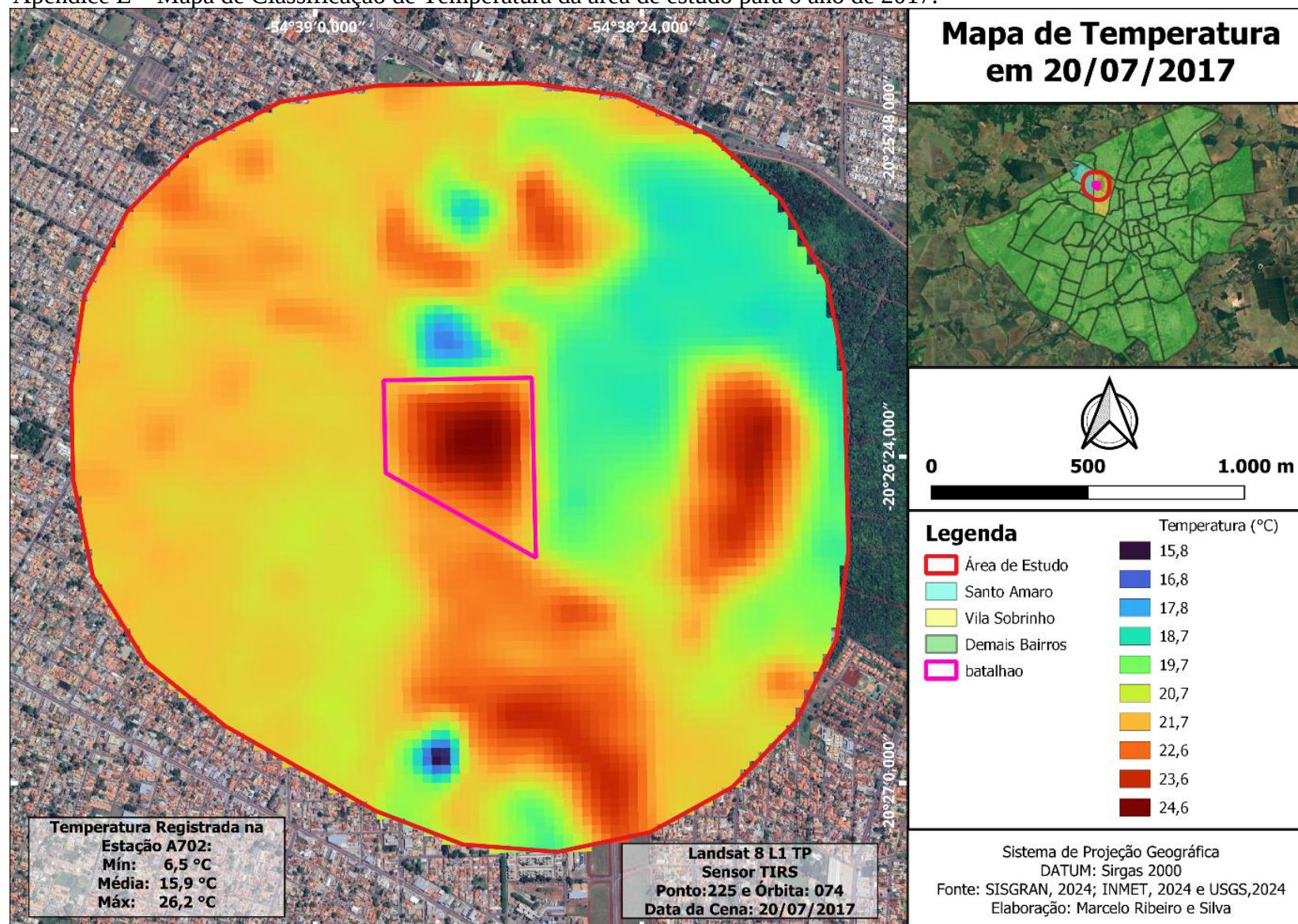
Apêndice C – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2015.



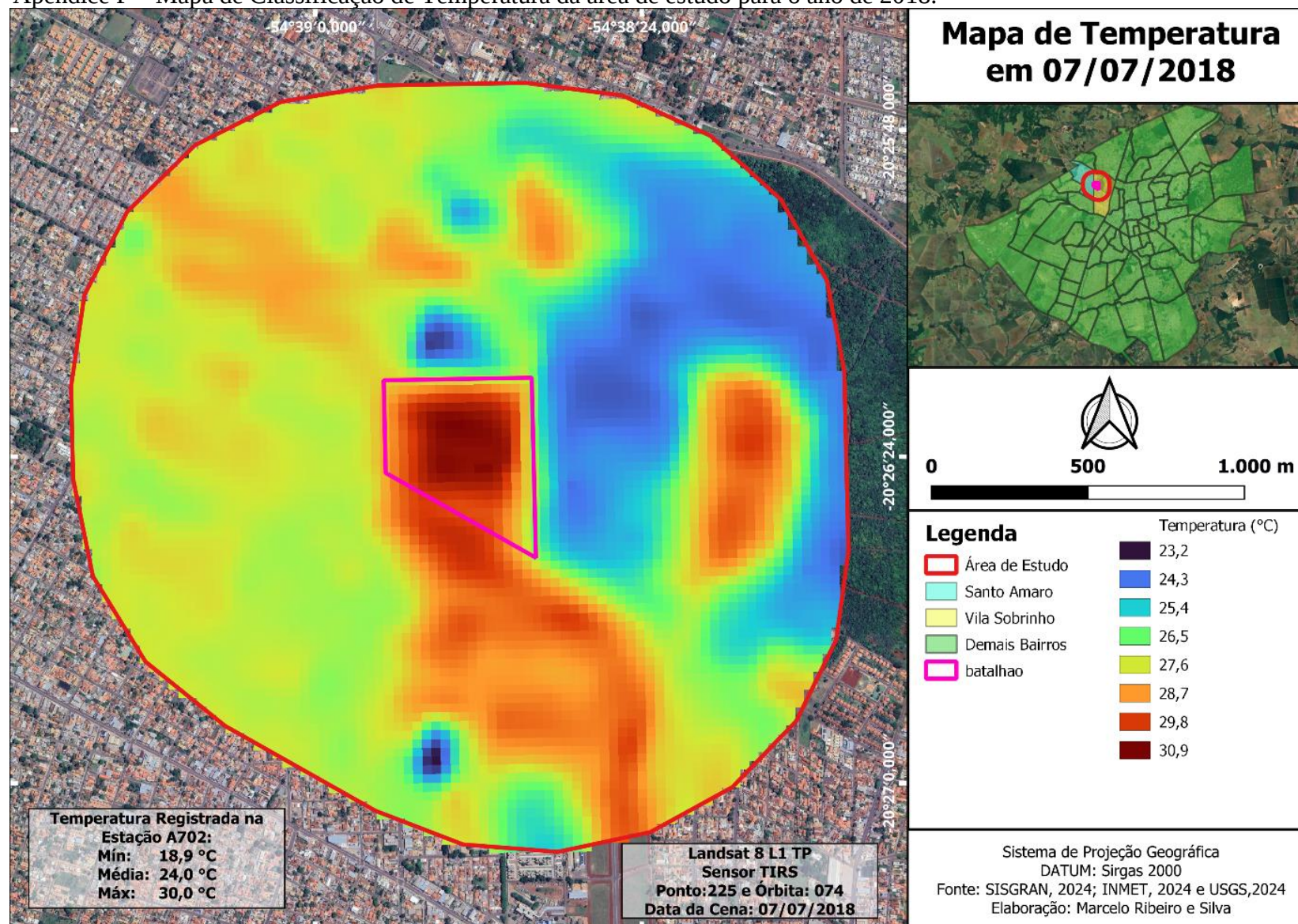
Apêndice D – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2016.



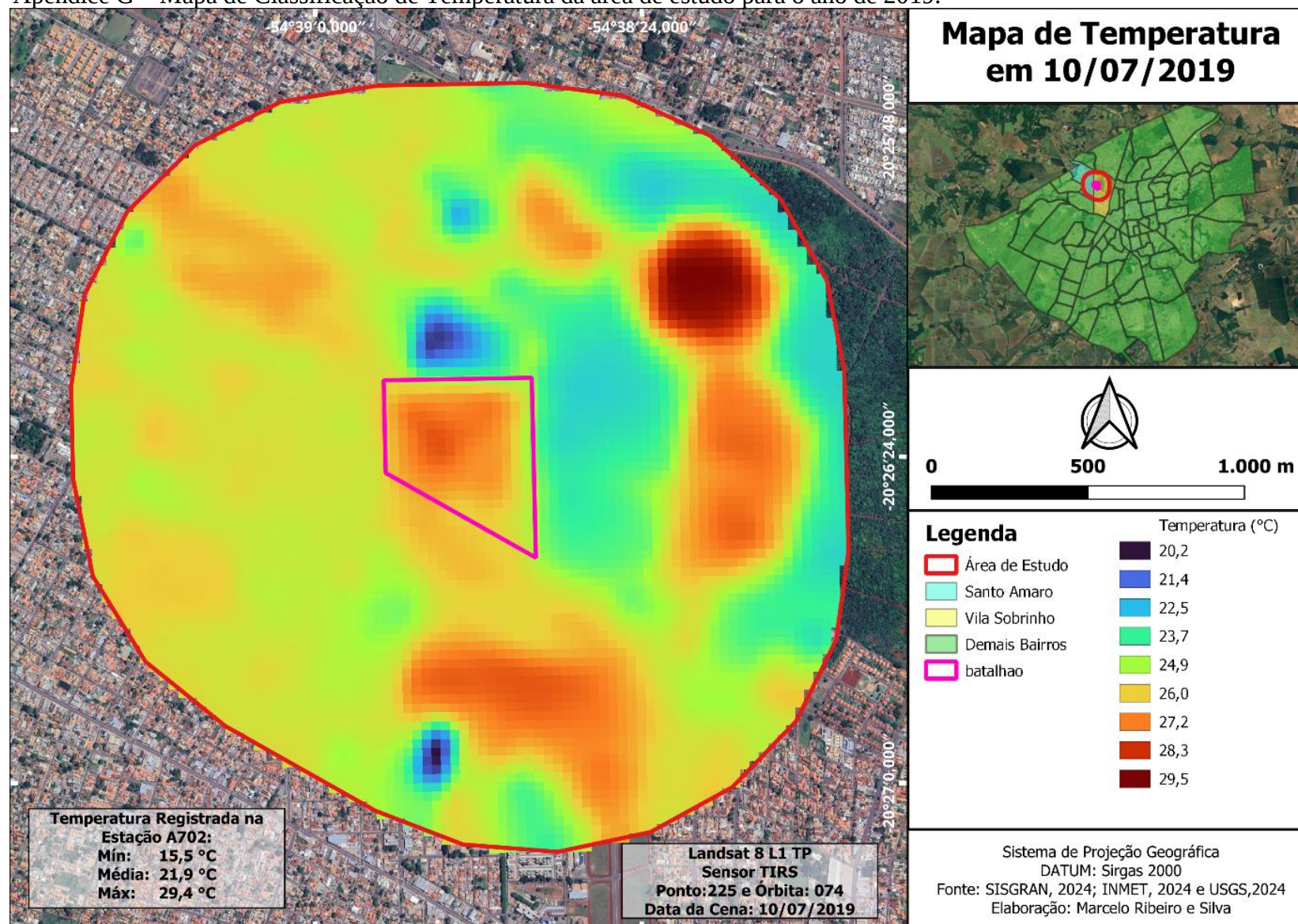
Apêndice E – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2017.



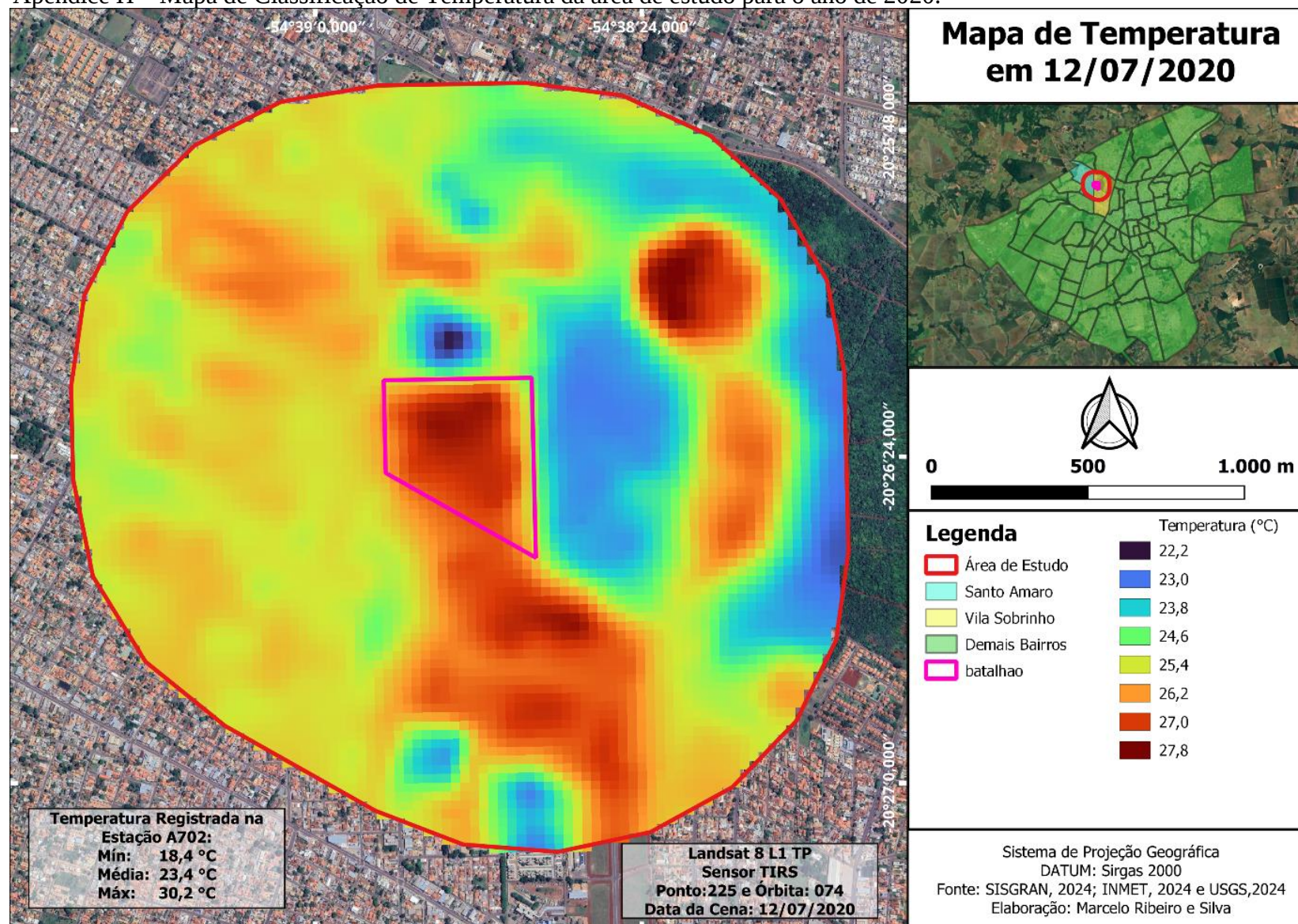
Apêndice F – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2018.



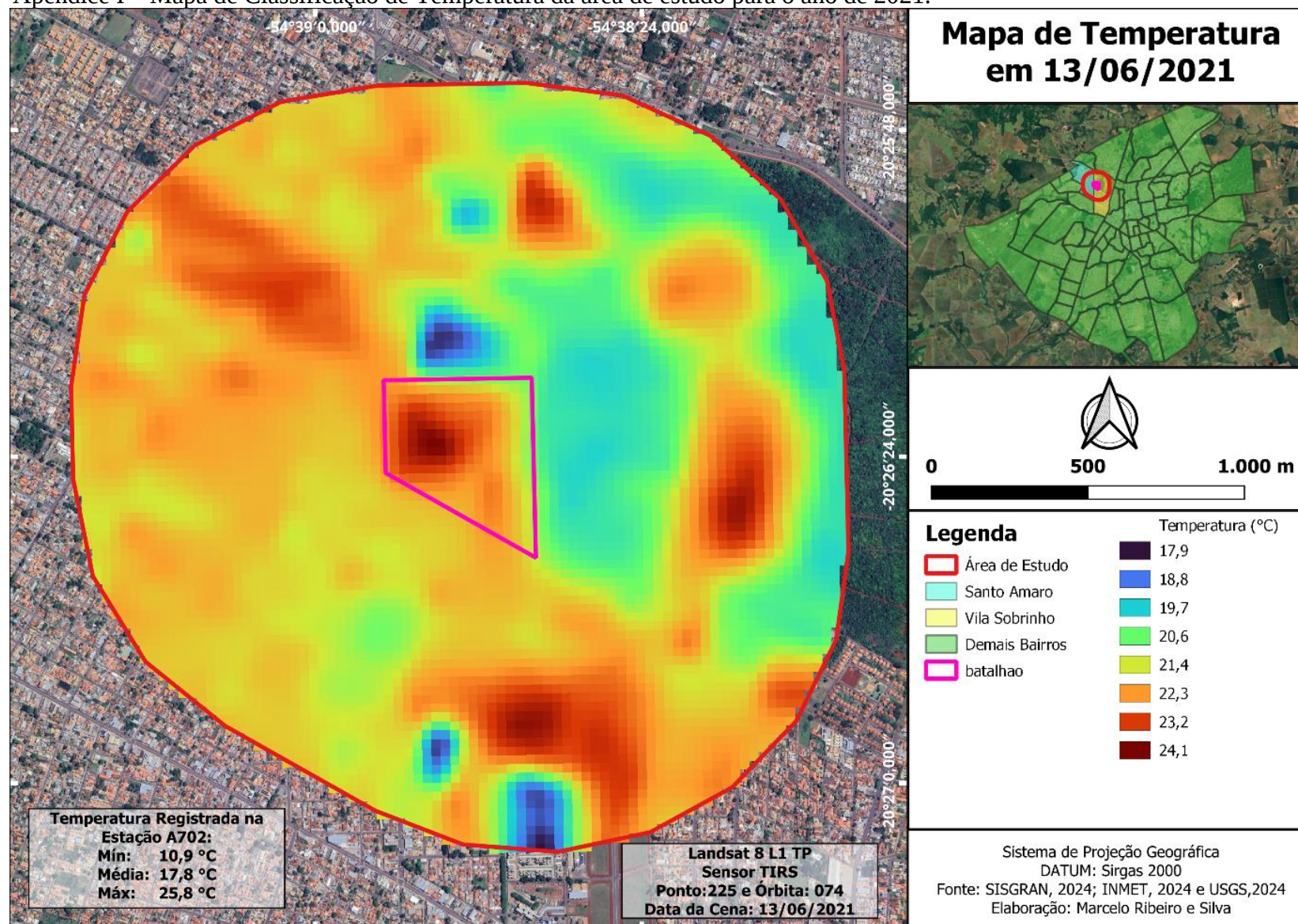
Apêndice G – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2019.



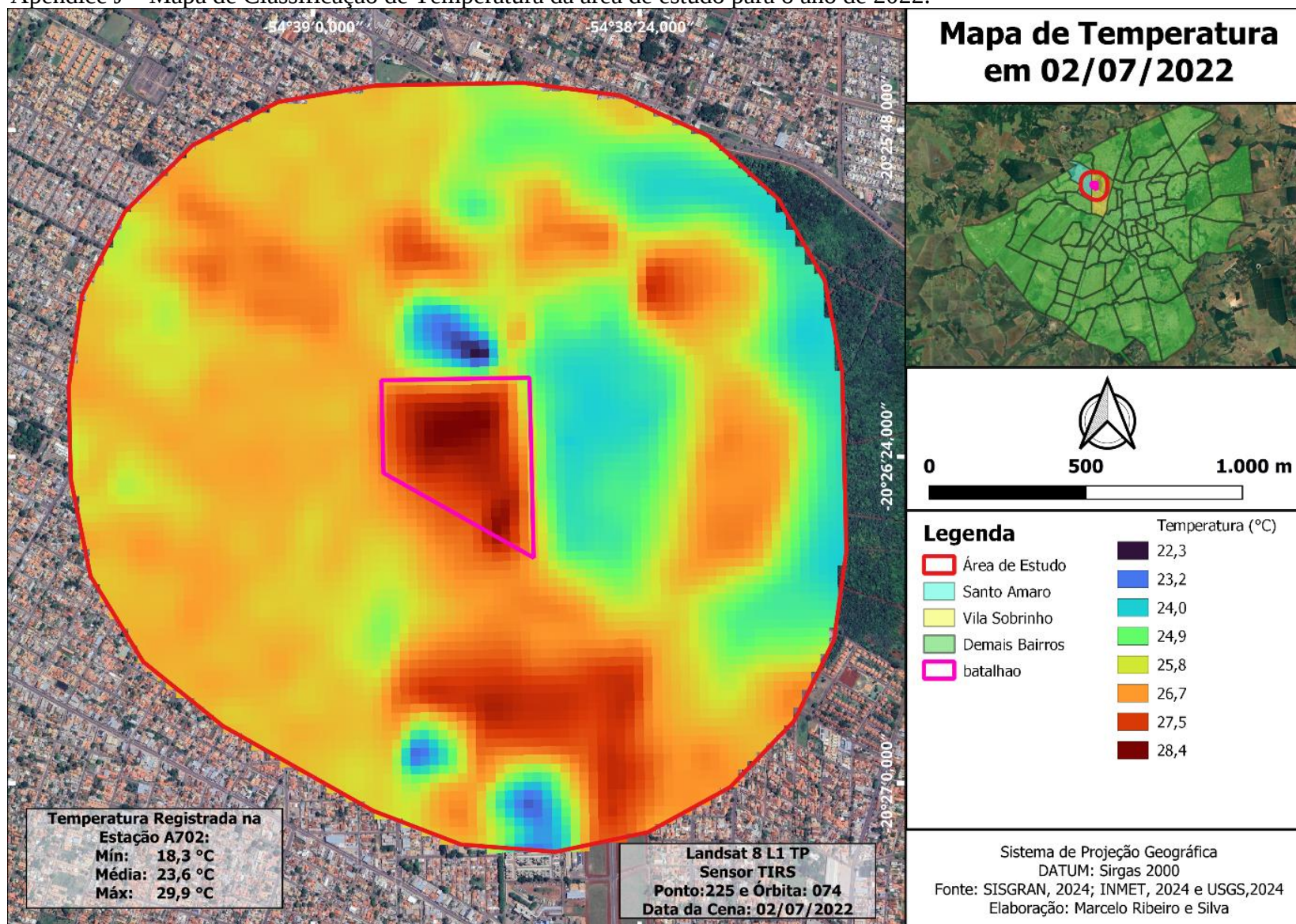
Apêndice H – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2020.



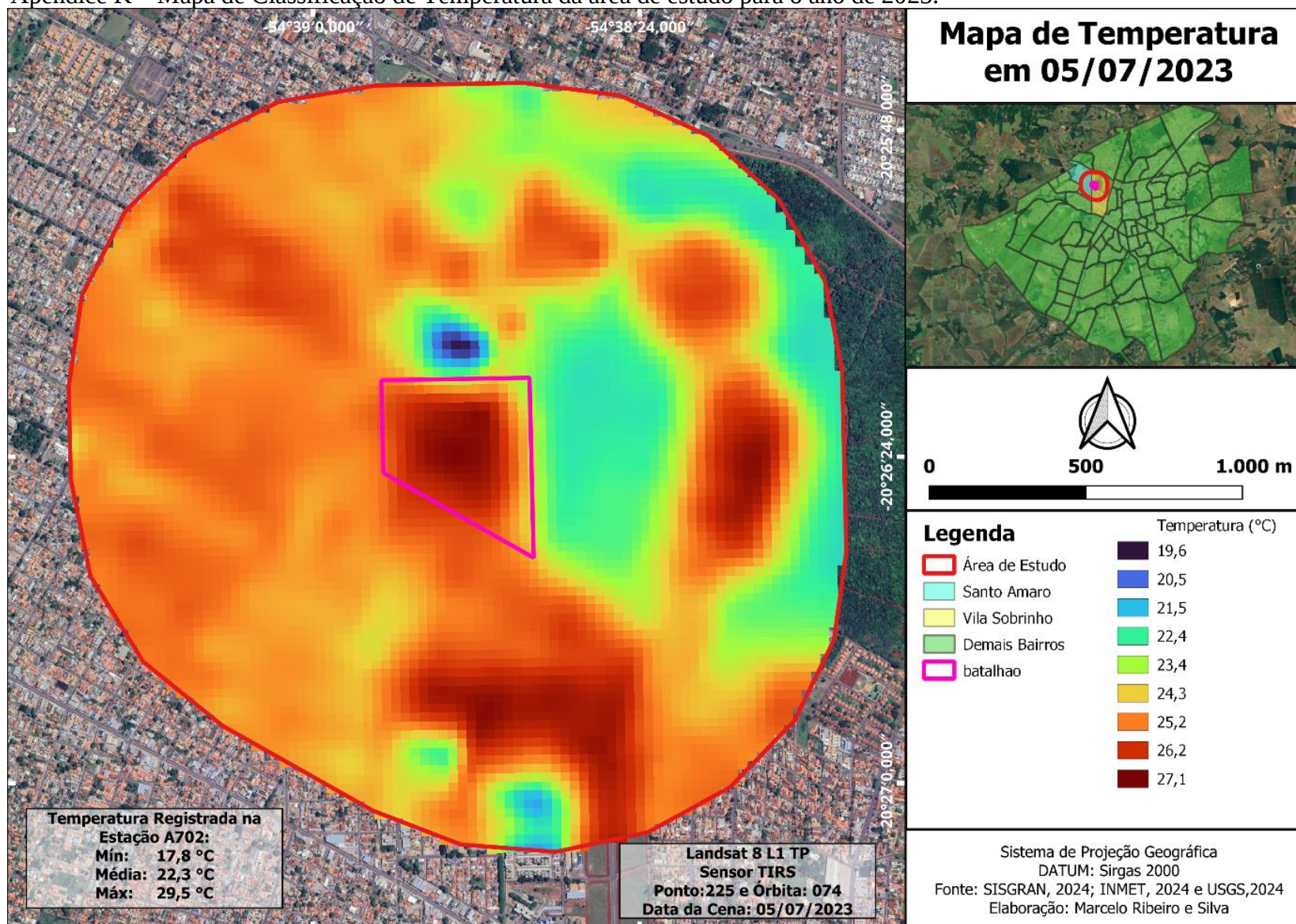
Apêndice I – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2021.



Apêndice J – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2022.



Apêndice K – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2023.



Apêndice L – Mapa de Classificação de Temperatura da área de estudo para o ano de 2024.

