

O PAPEL DA VEGETAÇÃO NO CLIMA LOCAL: CONTRIBUIÇÕES DA TERRA INDÍGENA AMAMBAI PARA A MITIGAÇÃO DE ONDAS DE CALOR

Amanda Trindade Amorim¹

Charlei Aparecido da Silva²

RESUMO

As atividades humanas têm provocado alterações na superfície terrestre, potencializando e acelerando os efeitos adversos das mudanças climáticas. As geotecnologias desempenham um papel fundamental no monitoramento desses fenômenos e no apoio à tomada de decisões. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo analisar as condições da vegetação, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e a Temperatura de Superfície (TS) na Terra Indígena de Amambai, no município de Amambai (MS), e em seu entorno de 6km, durante as ondas de calor nas diferentes estações do ano de 2024. Para isso, foram analisados os dados de temperaturas máximas diárias, e imagens do Landsat 9. Foi constatado um número alarmante de dias quentes e de ondas de calor em 2024. Os resultados oferecem uma contribuição importante para orientar estratégias que visem mitigar os impactos das ondas de calor, principalmente em áreas protegidas que abrigam populações tradicionais com um papel essencial na conservação dos recursos naturais, na manutenção da biodiversidade e no equilíbrio do clima local.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas; onda de calor; fragmentos florestais; índices espectrais; sensoriamento remoto.

¹ Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, Mestra em Ciências Ambientais pelo Instituto de Ciência e Tecnologia – ICTS/Unesp Sorocaba, Doutora em Geografia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/Unesp Presidente Prudente, Pós-Doutorado em Geografia pela Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. Professora do Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/Unesp Presidente Prudente-SP, Brasil. Email: amanda.amorim@unesp.br

² Geógrafo, Mestre em Geociências pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE/Unesp Rio Claro, Doutor em Geografia pelo Instituto de Geociências da Unicamp. Professor o Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados-MS, Brasil. Email: charleisilva@ufgd.edu.br

THE ROLE OF VEGETATION IN THE LOCAL CLIMATE: CONTRIBUTIONS OF THE AMAMBAI INDIGENOUS LAND TO HEAT WAVES MITIGATION

ABSTRACT

Human activities have caused changes to the Earth's surface, increasing and accelerating the adverse effects of climate change. Geotechnologies play a fundamental role in monitoring these phenomena and supporting decision-making. In this context, the aim of this research was to analyze the vegetation conditions, using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Surface Temperature (TS) in the Amambai Indigenous Land, in the municipality of Amambai (MS), and in its 6km surrounding, during heat waves in the different seasons of 2024. For this, data on daily maximum temperatures and Landsat 9 images were analyzed. An alarming number of hot days and heat waves were observed in 2024. The results offer an important contribution to guiding strategies aimed at mitigating the impacts of heat waves, especially in protected areas that are home to traditional populations who play an essential role in conserving natural resources, maintaining biodiversity and balancing the local climate.

KEYWORDS: Climate change; heat wave; forest fragments; spectral indices; remote sensing.

EL PAPEL DE LA VEGETACIÓN EN EL CLIMA LOCAL: CONTRIBUCIONES DE LA TIERRA INDÍGENA AMAMBAI A LA MITIGACIÓN DE LAS OLAS DE CALOR

RESUMEN

Las actividades humanas han provocado cambios en la superficie terrestre, aumentando y acelerando los efectos adversos del cambio climático. Las geotecnologías juegan un papel fundamental en el monitoreo de estos fenómenos y en el apoyo a la toma de decisiones. En este

contexto, la investigación tuvo como objetivo analizar las condiciones de la vegetación, a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), y la Temperatura Superficial (TS) en la Tierra Indígena Amambai, en el municipio de Amambai (MS), y en su entorno de 6km, durante las olas de calor en las diferentes estaciones del año 2024. Para ello, se analizaron los datos de temperaturas máximas diarias e imágenes del Landsat 9. Se encontró un número alarmante de días calurosos y olas de calor en 2024. Los resultados ofrecen un importante aporte para orientar estrategias que apunten a mitigar los impactos de las olas de calor, especialmente en áreas protegidas que albergan poblaciones tradicionales con un papel esencial en la conservación de los recursos naturales, en el mantenimiento de la biodiversidad y en el equilibrio del clima local.

PALABRAS-CLAVE: Cambio climático; ola de calor; fragmentos florestales; índices espectrales; teledetección.

INTRODUÇÃO

O estado de Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, destaca-se pela sua grande aptidão agropecuária, além de apresentar outras dinâmicas territoriais, como o crescimento dos setores de energia, mineração, indústria e turismo, resultando em uma diversidade de paisagens (ZEE-MS, 2015). No entanto, essas dinâmicas, apesar de gerarem benefícios econômicos para o estado, também acarretam impactos negativos ao meio ambiente, especialmente no que diz respeito à remoção da vegetação nativa para o plantio de soja, milho, cana-de-açúcar, eucalipto e pastagem, em grande parte visando a produção de commodities para exportação.

A vegetação florestal é essencial para a manutenção da biodiversidade, dos serviços ecossistêmicos e do bem-estar humano. Ela oferece espaços de vida para plantas e animais, benefícios na proteção do solo, conservação da água, regulação do clima e armazenamento de carbono, além de fornecerem subsistência, segurança alimentar, identidade cultural e abrigo para as comunidades locais (Hallaj *et al.*, 2024).

As Terras Indígenas, além de abrigarem populações tradicionais, possuem grande potencial para a conservação dos recursos naturais e desempenham um importante papel na manutenção da biodiversidade e na economia do Brasil (Bensusan, 2004; Arruda *et al.*, 2023). No Mato Grosso do Sul, esses povos e seus territórios têm sido afetados diretamente com os impactos adversos das mudanças climáticas e das dinâmicas territoriais¹ estabelecidas em razão do modelo econômico predominante, pois dependem dos recursos naturais para sua sobrevivência e também os utilizam para fins culturais, espirituais e medicinais. Embora sejam reconhecidos por sua resiliência e pelo desenvolvimento de conhecimentos sobre as adaptações climáticas, os eventos extremos estão ocorrendo em um ritmo mais rápido do que conseguem se adaptar (Ricardo, 2004; Salick; Byg, 2007; Garai *et al.*, 2022; Samuels *et al.*, 2022).

Os dados mais recentes do IPCC revelam que a composição química da atmosfera tem se alterado desde o início da Revolução Industrial, principalmente devido a atividades humanas. Embora as mudanças climáticas naturais ocorram ao longo de períodos mais longos, as ações humanas têm acelerado esse processo, provocando alterações rápidas na atmosfera e nos padrões climáticos, e no Mato Grosso do Sul essas evidências já se fazem presentes (IPCC, 2023; Silva, Fialho e Rocha 2022).

Os efeitos dessas mudanças estão cada vez mais visíveis, manifestando-se em impactos negativos que ameaçam a segurança e o bem-estar das populações globalmente. Entre os efeitos mais notáveis está o aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como as ondas de calor, que representam um grande risco para as sociedades atuais (Oliveira *et al.*, 2019; Porangaba *et al.*, 2024). Estudos recentes alertam para o aumento da frequência e intensidade desses eventos em diversas regiões do globo (Parente *et al.*, 2018; Tavakol *et al.*, 2020; Wang e Yan 2021; Silva *et al.*, 2022; Santos e Silva, 2024) e indicam que as atividades humanas têm intensificado os efeitos adversos esses eventos (Cheng *et al.*, 2023).

No contexto da análise de eventos de ondas de calor, o uso de geotecnologias, especialmente o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG), tem se

¹ O projeto “DINÂMICAS TERRITORIAIS NAS TERRAS INDÍGENAS DE MATO GROSSO DO SUL: diagnóstico dos impactos socioambientais” tem evidenciado o papel significativo das Terras Indígenas naquilo que se refere aos serviços geocossistêmicos proporcionados por esses territórios tradicionais, bem como os impactos sobre eles. Os resultados podem ser observados em @terrasindigenasms.

mostrado essenciais para monitorar as alterações na superfície terrestre (Bari *et al.*, 2021). Índices espectrais, como a Temperatura da Superfície Terrestre (TS), uma variável climática importante reconhecida pelo Sistema Global de Observação do Clima (Malakar *et al.*, 2018), são fundamentais para compreender os processos físicos na interface entre a superfície e a atmosfera (Guillevic *et al.*, 2017). Além disso, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que avalia a qualidade fotossintética e o vigor vegetativo (Rouse *et al.*, 1974; Jensen, 2009), tem sido utilizado em conjunto com a TS para apoiar o planejamento sustentável e a elaboração de estratégias de mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas.

Considerando o potencial de conservação dos serviços ambientais das Terras Indígenas, especialmente no que diz respeito à proteção e preservação dos ecossistemas e da biodiversidade, parte-se da hipótese de que essas terras desempenham um papel fundamental na manutenção das temperaturas locais, contribuindo ativamente para o equilíbrio climático em um cenário de mudanças globais.

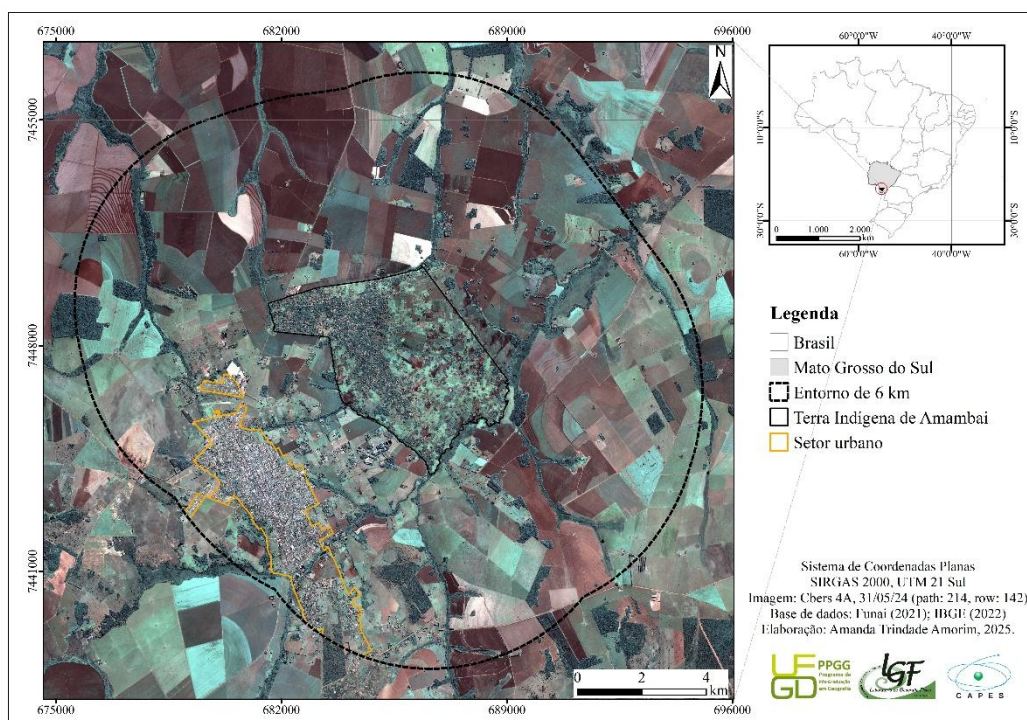
Nesse contexto, a presente investigação teve por objetivo analisar as condições da vegetação, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e a Temperatura de Superfície (TS) na Terra Indígena de Amambai (TIA) e em seu entorno, em um raio de 6 km, durante períodos de ondas de calor nas diferentes estações do ano de 2024. Essa análise visa compreender de forma mais detalhada como essa área protegida e seus elementos podem contribuir para a mitigação e amenização dos efeitos adversos provocados por eventos extremos de ondas de calor.

ÁREA DE ESTUDO

A Terra Indígena de Amambai (TIA) está localizada a aproximadamente de 4 quilômetros da área urbana do município de Amambai, no sul de Mato Grosso do Sul (Figura 1). Foi criada pelo Serviço de Proteção ao Índio (SPI) por meio do Decreto Estadual nº 404, de 1915. A TIA possui uma área de cerca de 2.427 hectares, enquanto seu entorno, em um raio de 6 km, abrange aproximadamente 24.152 hectares. O município de Amambai conta com uma

população de 39.325 habitantes (IBGE, 2022), dos quais cerca de 8 mil vivem na TIA e pertencem às etnias Guarani Kaiowá e Nandeva (Terras Indígenas no Brasil, 2025).

Figura 1. Localização da área de estudo



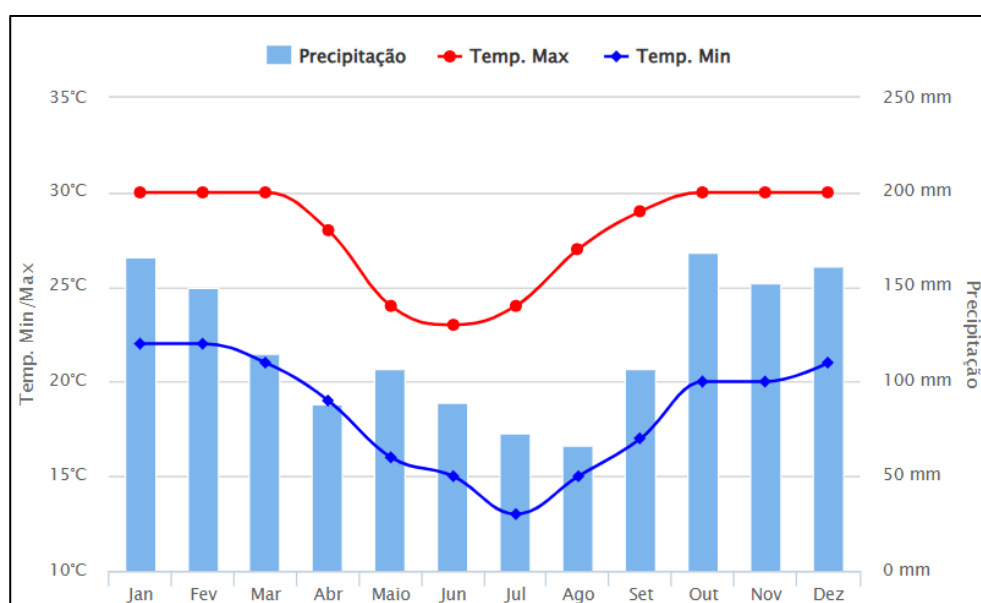
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A TIA está localizada no Bioma Mata Atlântica, em contato com Cerrado, com vegetação característica de ambos os biomas (IBGE, 2021). A altitude da área que envolve a TIA e o seu entorno de 6km varia entre 362 e 534 metros, com altitude média de 457 metros e a declividade média de 5% de inclinação (suavemente ondulado). Os solos predominantes são os Latossolos Vermelho (IBGE, 2023), profundos e com propriedades físicas características de boa à moderada permeabilidade e capacidade de retenção de água (Embrapa, 2018), sendo seus nutrientes facilmente corrigidos, tornando esses solos aptos para a agricultura.

Quanto ao clima, possui característica Am (Dubreuil *et al.*, 2017), com temperatura média anual de 22,5°C. Existe uma época curta de seca, mas não muito significativa nos meses de

julho e agosto (com média histórica mensal de 72mm), enquanto na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa (variando de 90 a 165mm mensais) (Climate Data, 2025). A Figura 2 apresenta o Climograma do município, a partir de uma série de dados de 30 anos (Climatempo, 2025).

Figura 2. Climograma da região de Amambai (MS)



Fonte: Climatempo (2025).

Amorim e Silva (2025) constataram que cerca de 13% do interior da TIA é coberto por fragmentos florestais remanescentes, no entanto, o seu entorno apresenta uma forte pressão devido à expansão agrícola. Os reflexos dessa pressão já são observados no interior da TIA, especialmente na sua porção nordeste. Condições essas favorecidas principalmente pelas suas características físicas de solo, relevo e clima.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar a ocorrência das ondas de calor de 2024, foram adquiridos os dados meteorológicos das temperaturas máximas diárias de 01 de janeiro de 2024 a 01 de janeiro de

2025, disponibilizados pelo Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de Mato Grosso do Sul (CEMTEC²). Os dados são da estação meteorológica A750, de Amambai, gerenciada pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Para a análise, os dados de precipitação e temperaturas máximas diárias foram organizados no *Microsoft Excel*. De acordo com os dados históricos de 30 anos, o município apresenta uma média de temperaturas máximas de 28°C (Climate Data, 2025; Climatempo, 2025). Assim, os dias considerados quentes são aqueles em que a temperatura máxima é 5°C acima dessa média, ou seja, 33°C. E, para a definição das ondas de calor, Fante (2024) apresenta diferentes metodologias, no entanto, para essa pesquisa, as ondas de calor foram definidas conforme estabelecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que caracteriza esses eventos como períodos de cinco ou mais dias consecutivos em que a temperatura máxima diária supera em 5°C a média climatológica de referência, condição também proposta por Santos e Silva (2024).

Após identificar as ondas de calor de 2024, foram definidos os períodos de análise nas diferentes estações do ano em que essas ondas ocorreram e para os quais havia imagens disponíveis do satélite Landsat 9, para análise do NDVI e da TS. Assim, foram utilizadas imagens do Landsat 9 (*path* 225, *row* 076) capturadas em 22 de fevereiro (verão), 26 de abril (outono), 18 de agosto (inverno) e 20 de novembro (primavera) de 2024. Essas imagens foram adquiridas por meio da plataforma *online* e gratuita *EarthExplorer*³, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*), e processadas no *software* ArcGIS.

O NDVI varia de +1 a -1 sendo que os valores próximos a +1 indicam áreas com maior vigor vegetativo. Para o cálculo desse índice, utilizou-se a Equação 1 (Rouse *et al.*, 1974).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (\text{Equação 1})$$

² CEMTEC. Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima e Mato Grosso do Sul. Banco de dados. Disponível em: <https://www.cemtec.ms.gov.br/bancodedados/>.

³ *United States Geological Survey. EarthExplorer*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Onde:

- ρ_{NIR} : reflectância do Infravermelho próximo (Banda 5); e
- ρ_{RED} : reflectância do Vermelho (Banda 4).

Para o cálculo da Temperatura de Superfície (TS), o primeiro procedimento que deve ser feito com a banda termal (Banda 10) é a conversão dos números digitais (DN) em valores de radiância espectral no topo da atmosfera (L_λ) (Equação 2) (USGS, 2019).

$$L_\lambda = M_L * Q_{\text{cal}} + A_L \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- L_λ : radiância espectral ($\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$);
- M_L : fator de escala multiplicativo de radiância para a Banda 10 (obtido nos metadados);
- A_L : fator de escala aditivo de radiância para a Banda 10 (obtido nos metadados); e
- Q_{cal} : valor de pixel em nível 1 em números digitais (DN).

Posteriormente, foi aplicada a Equação 3 para a obtenção da Temperatura de Brilho do sensor (T_b) (USGS, 2019):

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- T_b : Temperatura de Brilho do sensor em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$);
- L_λ : radiância espectral ($\text{W}/(\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m})$);
- K_1 : constante de conversão térmica específica da Banda 10 (obtido nos metadados); e

- K_2 : constante de conversão térmica específica da Banda 10 (obtido nos metadados).

Para o cálculo da TS, a Emissividade da superfície terrestre (E) deve ser conhecida, uma vez que se trata de um fator de proporcionalidade que dimensiona a radiação do corpo negro (lei de Planck) para prever a radiação emitida, e é a eficiência de transmissão de energia térmica através da superfície para a atmosfera (Avdan; Jovanovska, 2016). Para a determinação da Emissividade da superfície terrestre (E), inicialmente aplicou-se a Equação 4 para a determinação da Proporção de vegetação (P_v) e em seguida a Equação 5 (Sobrino *et al.*, 2004).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- $NDVI_{min}$: menor valor calculado do NDVI; e
- $NDVI_{max}$: maior valor calculado do NDVI.

$$E = m * P_v + n = 0,004 * P_v + 0,986 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- m: emissividade do solo = 0,004 (Sobrino *et al.*, 2004); e
- n: emissividade da vegetação = 0,986 (Sobrino *et al.*, 2004).

Por fim, para a determinação as TS corrigida pela Emissividade, aplicou-se a Equação 6 (Avdan; Jovanovska, 2016; Mirchooli *et al.*, 2020).

$$TS = \frac{T_b}{\left(1 + \left(\frac{\lambda B}{\rho}\right) * \ln(E)\right)} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

- TS: Temperatura da Superfície terrestre corrigida pela Emissividade em °C;
- T_b : temperatura de brilho do sensor em °C;

- λ : comprimento de onda da radiação emitida = 0,010895 (Mirchooli *et al.*, 2020);
- $\rho = h \frac{c}{\sigma} = 0,01438$ mK, onde h é a constante de Plank ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J/s), c é a velocidade da luz ($2,998 \cdot 10^8$ m/s) e σ é a constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K) (Mirchooli *et al.*, 2020);
- E : emissividade da superfície terrestre.

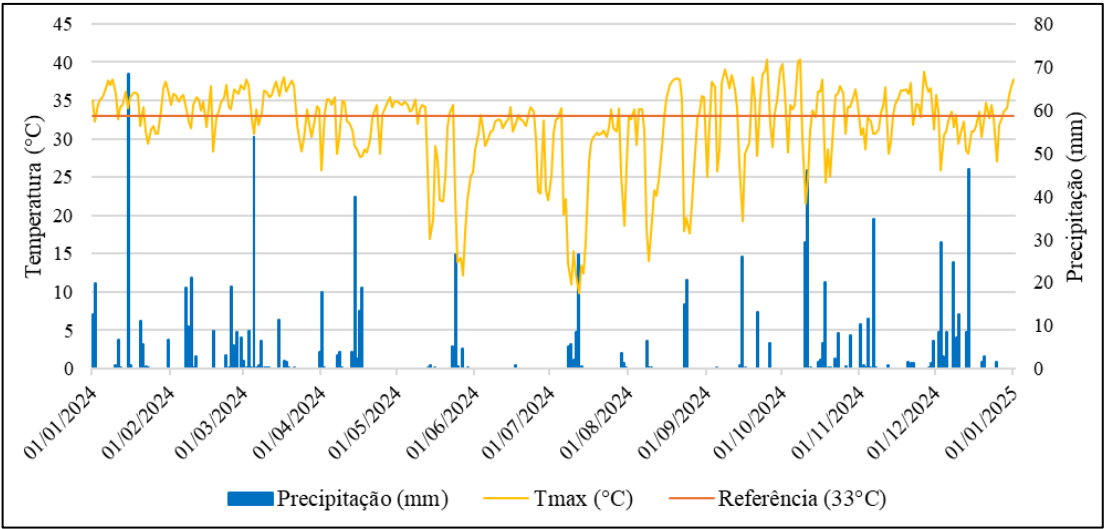
Para as análises, os valores de NDVI e TS foram avaliados e correlacionados com o mapeamento de uso e cobertura da terra realizado por Amorim e Silva (2025). Essa integração foi viabilizada por meio da sobreposição arquivos geoespaciais correspondentes, armazenados e disponibilizados pelo Laboratório de Geografia Física (LGF) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), o que permitiu a extração e análise dos índices em cada classe de uso e cobertura, considerando as ondas de calor em cada estação do ano de 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo de 2024, foram registrados 184 dias quentes, definidos como dias em que as temperaturas máximas igualaram ou excederam em 5°C a média histórica das temperaturas máximas, atingindo ou superando 33°C. Esses dias quentes ocorreram ao longo de todas as estações do ano, sendo mais intensos no verão e na primavera e menos frequentes no outono e no inverno.

A Figura 3 apresenta um gráfico das temperaturas máximas e da precipitação registradas pela estação A 750 de Amambai. Nele, é possível visualizar a frequência e a intensidade dos dias em que as temperaturas ultrapassaram os 33°C, destacado pela linha vermelha no gráfico.

Figura 3. Temperaturas máximas e precipitação diárias de Amambai em 2024



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A elevada quantidade de dias quentes ao longo de 2024 resultou em um número significativo de ondas de calor, que ocorreram em todas as estações do ano. O Quadro 1 apresenta os períodos de ocorrência dessas ondas de calor, bem como o número de dias consecutivos que foram observadas em Amambai durante 2024.

Quadro 1. Ondas de calor em Amambai no ano de 2024

Estação	Ondas de calor	Número de dias consecutivos
Verão	03/01/24 – 10/01/24	8
	12/01/24 – 19/01/24	8
	28/01/24 – 07/02/24	11
	10/02/24 – 14/02/24	5
	20/02/24 – 03/03/24	13
	08/03/24 – 21/03/24	14
Outono	02/04/24 – 06/04/24	5
	25/04/24 – 08/05/24	14
Inverno	16/08/24 – 22/08/24	7
	07/09/24 – 13/09/24	7
Primavera	28/09/24 – 02/10/24	5
	04/10/24 – 08/10/24	5
	27/10/24 – 31/10/24	5

	14/11/24 – 21/11/24	8
Verão	28/12/24 – 01/01/25	5

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Foram identificadas 15 ondas de calor, destacando-se especialmente as estações do verão e da primavera, quando o clima é mais úmido. Essas ondas de calor durante período úmido representam riscos significativos à saúde humana, uma vez que o calor combinado com a umidade interfere diretamente na fisiologia térmica humana, dificultando a capacidade do corpo de dissipar o calor (Mora *et al.*, 2017).

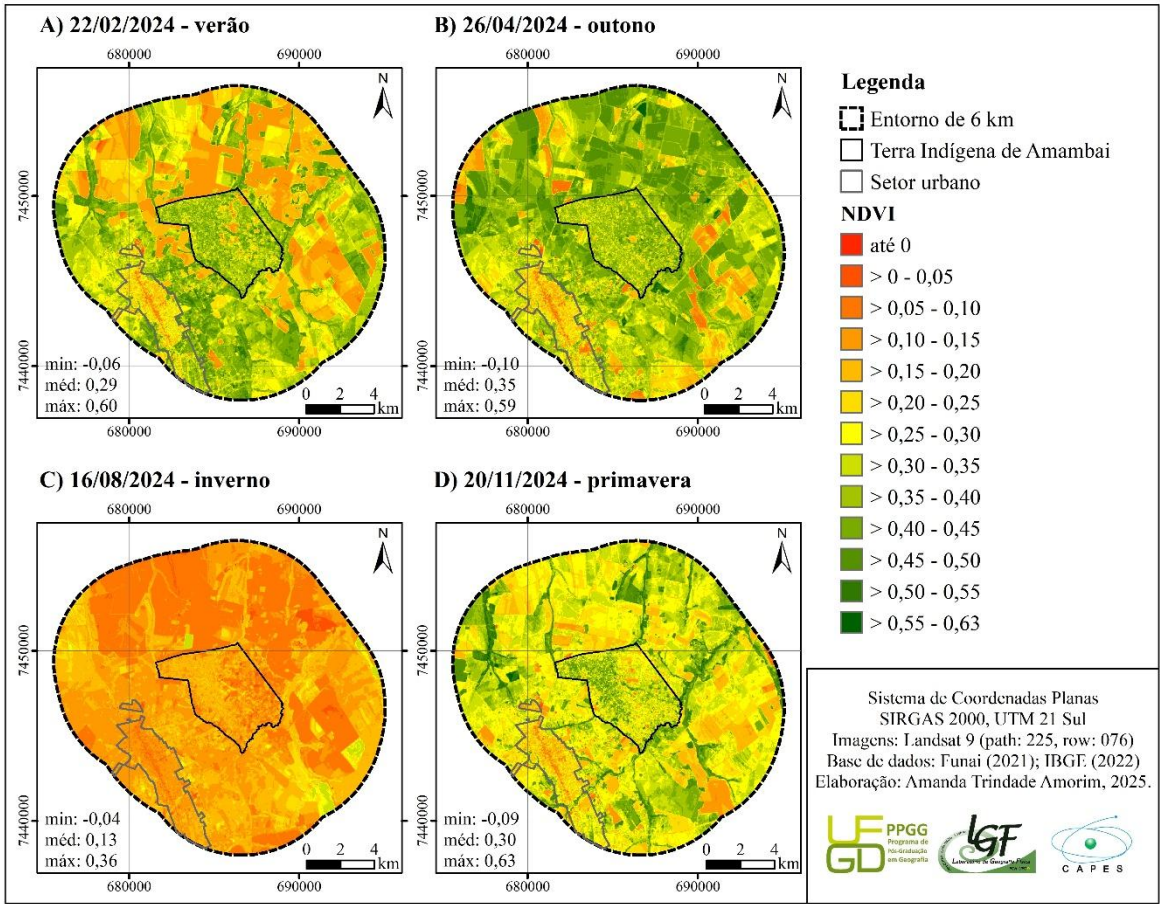
Em ambientes quentes e secos, a maior parte do suor produzido pelo corpo evapora, auxiliando no resfriamento corporal. No entanto, a capacidade humana de suar é limitada, e temperaturas mais altas também aumentam a absorção de calor pelo corpo. Por outro lado, o calor excessivo aliado à alta umidade eleva os riscos de doenças respiratórias e cardiovasculares. Além disso, a condição quente e úmida cria condições propícias para a proliferação de mosquitos (Kenney *et al.*, 2022), como o *Aedes aegypti*, vetor de doenças infecciosas como dengue, zika e chikungunya, fato agravado devido à falta de elementos de saneamento básico e tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos, condição evidenciada nas terras indígenas de Mato Grosso do Sul.

Embora o outono e o inverno sejam estações caracterizadas por temperaturas máximas históricas inferiores a 28°C e clima mais secos, com menor retenção de calor, ondas de calor também foram registradas nesses períodos. Durante esses períodos, ocorreram episódios de 5, 7 e até 14 dias consecutivos de onda de calor, com temperaturas máximas superando os 38°C, evidenciando a severidade das anomalias térmicas ao longo do ano.

Diante do cenário evidente de aumento na frequência e intensidade dos eventos extremos de ondas de calor, torna-se imprescindível adotar uma postura consciente e implementar medidas urgentes para combater e mitigar os impactos negativos desses fenômenos sobre o meio ambiente e os seres vivos que dele dependem. Nesse contexto, foram analisadas as condições da vegetação, por meio do NDVI, e da TS na TIA, que possui importantes fragmentos de vegetação remanescentes no seu interior, e em seu entorno, em um raio de 6 km.

A Figura 4 apresenta o NDVI calculado durante as ondas de calor nas diferentes estações do ano de 2024, sendo: verão em 22 de fevereiro (Figura 4A), outono em 26 abril (Figura 4B), inverno em 16 de agosto (Figura 4C) e primavera em 20 de novembro (Figura 4D).

Figura 4. NDVI em períodos de onda de calor nas diferentes estações do ano de 2024



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Tabela 1 apresenta os valores médios do NDVI em cada classe de uso e cobertura da terra nos períodos analisados.

Tabela 1. NDVI médio das classes de uso e cobertura em cada período analisado

Classe de uso e cobertura	22/02	26/04	16/08	20/11
Fragmentos florestais	0,43	0,40	0,18	0,47
Vegetação de várzea	0,42	0,38	0,18	0,46
Campo alagado/pantanososo	0,36	0,34	0,15	0,36

Silvicultura	0,38	0,37	0,17	0,35
Pastagem/vegetação gramínea	0,37	0,35	0,14	0,31
Área urbanizada	0,25	0,23	0,12	0,22
Cultivos temporários	0,24	0,36	0,12	0,27

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As áreas cobertas por cultivos agrícolas temporários ocupam a maior parte da área em análise, com cerca de 18% da área interna e 62% do entorno TIA (Amorim; Silva, 2025). O NDVI dessa classe de uso apresenta variações significativas ao longo dos períodos analisados, principalmente à sazonalidade, aos estágios de crescimento e colheita das culturas, o que frequentemente deixa o solo exposto.

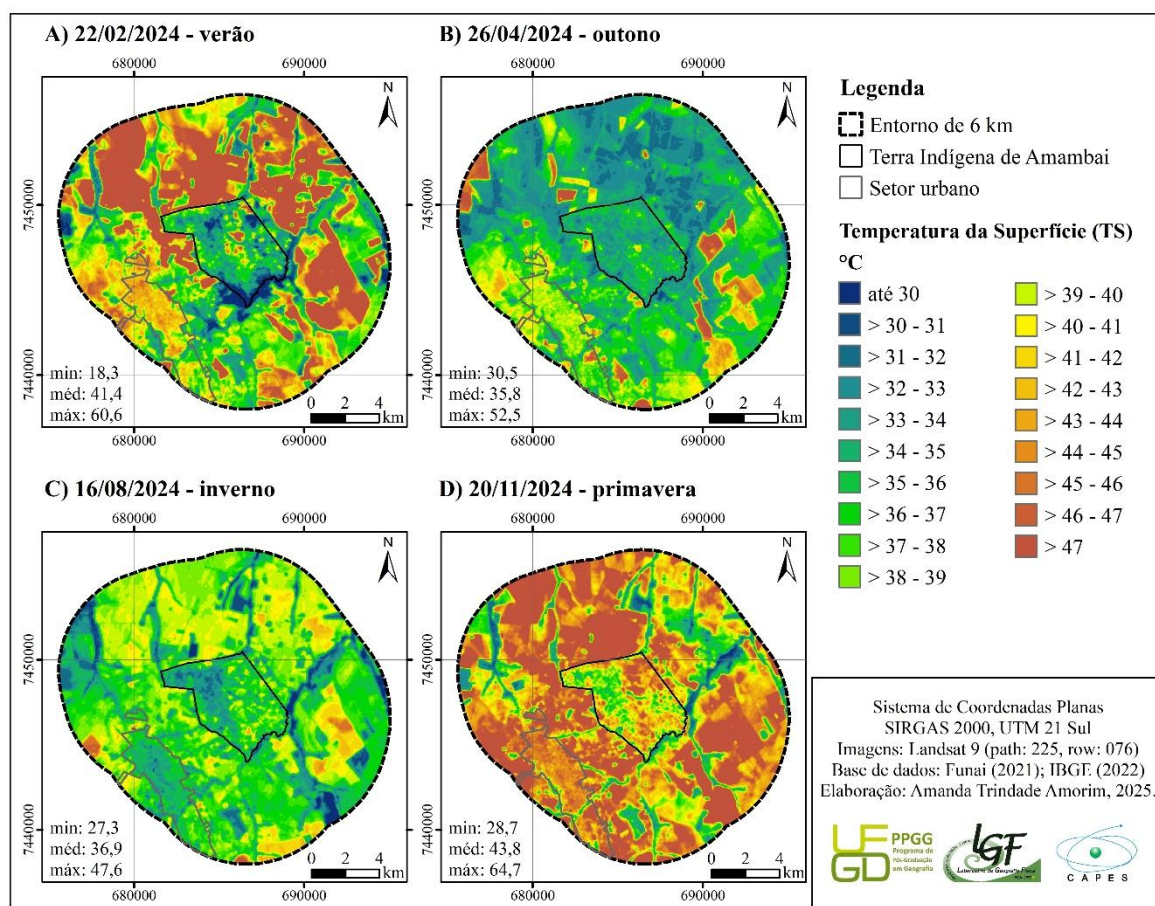
A segunda classe de maior ocorrência é a de pastagens e vegetação gramíneas, ocupando aproximadamente 64% do interior e 21% do entorno da TIA (Amorim; Silva, 2025). Essa classe apresenta menor variação no NDVI, com médias variando de 0,31 a 0,37, com exceção ao período do inverno (16/08, Figura 4C), quando os valores caíram drasticamente. Essa queda reflete os efeitos de uma onda de calor durante um período seco.

A onda de calor registrada durante o inverno foi marcada por uma seca intensa, que afetou todas as coberturas vegetais, incluindo os cultivos agrícolas, pastagens, gramíneas, vegetação de várzea e até mesmo os fragmentos florestais remanescentes. Esse cenário resultou em baixo vigor vegetativo (baixos valores do NDVI), causado pelo ressecamento das folhas e, em alguns casos, pela exposição do solo devido à colheita ou à degradação das culturas.

A terceira maior classe de cobertura é a de fragmentos florestais remanescentes, que apresentam os maiores valores de NDVI. No interior da TIA, esses fragmentos ocupam cerca de 13%, concentrando-se na porção noroeste, enquanto no entorno representam apenas 8%, localizando-se em áreas reduzidas próximas a rios e córregos (Amorim; Silva, 2025). Além de suas funções essenciais na conservação da biodiversidade, do solo, da umidade e da qualidade do ar, esses fragmentos florestais remanescentes desempenham uma importante função na manutenção do clima local (Hallaj *et al.*, 2024), evidenciada pelos valores das TS calculadas e apresentadas a seguir.

A Figura 5 apresenta a TS calculada durante as ondas de calor nas diferentes estações do ano de 2024, sendo: verão em 22 de fevereiro (Figura 5A), outono em 26 abril (Figura 5B), inverno em 16 de agosto (Figura 5C) e primavera em 20 de novembro (Figura 5D).

Figura 5. TS em períodos de onda de calor nas diferentes estações do ano de 2024



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Tabela 2 apresenta os valores médios da TS em cada classe de uso e cobertura da terra nos períodos analisados.

Tabela 2. NDVI médio das classes de uso e cobertura em cada período analisado

Classe de uso e cobertura	22/02	26/04	16/08	20/11
Fragmentos florestais	33,6	33,0	32,7	35,4
Vegetação de várzea	33,3	33,2	32,1	34,2
Campo alagado/pantanososo	34,9	34,7	33,8	36,8

Silvicultura	36,5	35,1	35,2	39,4
Pastagem/vegetação gramínea	37,6	36,1	36,7	43,1
Área urbanizada	41,1	38,4	35,3	44,7
Cultivos temporários	44,6	35,9	38,0	45,6

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As áreas de cultivos agrícolas apresentaram as maiores TS na maioria dos períodos analisados, superando até mesmo o setor urbano do município de Amambai. A única exceção foi no outono, em 26 de abril, quando os cultivos agrícolas estavam predominantemente em estágios vegetativos mais avançados, devido às condições sazonais e fenológicas, o que resultou em NDVI mais altos e TS mais amenas.

No período seco, a intensidade do calor do setor urbano diminui em relação às áreas rurais, especialmente nas áreas de cultivos agrícolas e de pastagens. Isso ocorre porque o solo rural seco e/ou exposto contribui para o aumento das temperaturas superficiais (Amorim, 2018).

As áreas cobertas por fragmentos florestais remanescentes, especialmente aquelas localizadas no interior da TIA, e a vegetação de várzea apresentaram as menores TS. Amorim (2018) apresenta que temperatura do ar resulta da interação entre a atmosfera e a superfícies. Nesse contexto, Algretawee *et al.* (2019), Atwa *et al.* (2020) e Arshad *et al.* (2021) evidenciam que a vegetação contribui para os efeitos de resfriamento da superfície e da atmosfera.

Diante disso, mesmo em períodos secos, caracterizados por baixos valores de NDVI (Figura 4C), as áreas cobertas por fragmentos florestais remanescentes mantêm as temperaturas superficiais mais amenas (Figura 5C), com o potencial de contribuir para a redução da temperatura do ar, especialmente em períodos marcados por ondas de calor.

A maioria dos fragmentos florestais está localizada no interior da TIA, uma área especial que deve ser protegida, pois trata-se de um território que abriga uma população tradicional que vive e depende diretamente dos recursos naturais e sofre forte pressão agrícola em seu entorno. Ao comparar as respostas do NDVI e da TS no interior e no entorno da TIA, fica evidente a importância dos fragmentos florestais remanescentes dessa área, os quais devem ser preservados e conservados para mitigar os impactos das ondas de calor, independente do período do ano.

A Tabela 3 apresenta os valores médios do NDVI e da TS, comparando o interior da TIA e o seu entorno de 6 km.

Tabela 3. NDVI e TS médios no interior e no entorno da Terra Indígena de Amambai

Data	Interior da Terra Indígena		Entorno de 6 km	
	NDVI médio	TS média	NDVI médio	TS média
22/02	0,36	35,0	0,29	42,0
26/04	0,37	34,4	0,35	36,0
16/08	0,14	35,4	0,13	37,1
20/11	0,33	41,3	0,30	44,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Essa comparação permite observar que os valores médios do NDVI são maiores no interior da TIA em comparação com o seu entorno, evidenciando melhores condições de vigor e qualidade fotossintética da vegetação. Consequentemente, as TS apresentam-se mais amenas no seu interior, chegando a 7°C de diferença no verão, o que corrobora com a hipótese que as terras indígenas têm o potencial de contribuir na manutenção das temperaturas locais no cenário atual de mudanças climáticas, em que os eventos climáticos extremos estão cada vez mais frequentes e intensos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescente aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos ao redor do mundo demonstra que as mudanças climáticas são uma realidade inquestionável. A presente pesquisa constatou uma quantidade alarmante de dias quentes e ocorrência de ondas de calor em 2024. Essa situação evidencia ainda mais a necessidade urgente de medidas para mitigar os efeitos negativos dessa condição sobre o ambiente e os seres vivos que dele dependem.

Os dados obtidos por sensoriamento remoto são essenciais para entender as variações espaciais e temporais das propriedades físicas básicas de acordo com os diferentes usos e coberturas da terra. Os dados do NDVI e da TS, obtidos por imagens de satélite, apresentam-se como ferramentas importante para um diagnóstico inicial de fontes de calor em superfícies, assim como das coberturas que ajudam a amenizar as temperaturas da superfície e, consequentemente, do ar.

A presente pesquisa oferece uma importante contribuição para orientar gestores de terras, tomadores de decisão, planejadores e a população sobre a importância da preservação e da conservação dos fragmentos florestais remanescentes, especialmente como estratégias para mitigar os impactos adversos das ondas de calor. Destaca-se, ainda, por abordar uma Terra Indígena, que, além de abrigarem populações tradicionais, desempenha papel fundamental na conservação dos recursos naturais, na manutenção da biodiversidade e no equilíbrio do clima local.

Naquilo que diz respeito ao papel das Terras Indígenas quando analisado o cenário de mudanças climáticas e suas consequências diretas e indiretas no Mato Grosso do Sul se evidencia claramente a importância destes territórios, seja por abrigarem um significativo percentual de vegetação nativa ou por se constituírem como enclaves, ilhamentos, que possuem microclimas singulares, os quais ainda estão por serem estudados e compreendidos.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à CAPES, pela concessão da bolsa de Pós-Doutorado, edital nº 16/2022. O segundo autor agradece ao CNPq pela concessão da bolsa produtividade em pesquisa, chamada nº 09/2022. A FUNDECT, agradecemos pelo financiamento do projeto Dinâmicas territoriais nas Terras Indígenas de Mato Grosso do Sul: diagnóstico dos impactos socioambientais, Chamada Nº 25/2023.

REFERÊNCIAS

ALGRETAWEE, H.; RAYBURG, S.; NEAVE, M. Estimating the effect of park proximity to the central of Melbourne city on Urban Heat Island (UHI) relative to Land Surface Temperature (LST). **Ecological Engineering**, v. 138, p. 374-390, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.034>.

AMORIM, A. T.; SILVA, C. A Dinâmicas territoriais sobre terras indígenas de Mato Grosso do Sul: a Reserva Indígena de Dourados, a Terra Indígena Nhandê Ru Marangatu e a Terra Indígena Amambai. **Entre Lugar**, v. 16, n. 32, p. 238-260, 2025. DOI: <https://doi.org/10.30612/rel.v16i32.19945>.

AMORIM, M. C. C. T. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.11.001>.

ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONSECA, R., *et al.* Amazonian vegetation types and indigenous lands threatened by upcoming climate change: Forecast impact for Brazilian biomes. **Austral Ecology**, v. 49, n. 1, e13369, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/aec.13369>.

ARSHAD, M.; KHEDHER, K. M.; EID, E. M.; AINA, Y. A. Evaluation of the urban heat island over Abha-Khamis Mushait tourist resort due to rapid urbanisation in Asir, Saudi Arabia. **Urban Climate**, v. 36, 100772, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100772>.

ATWA, S.; IBRAHIM, M. G.; MURATA, R. Evaluation of plantation design methodology to improve the human thermal comfort in hot-arid climatic responsive open spaces. **Sustainable Cities and Society**, v. 59, 102198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102198>.

AVDAN, U; JOVANOVSKA, G. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. **Journal of Sensors**, v. 2016, n. 1, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1155/2016/1480307>.

BARI, E.; NIPA, N. J.; ROY, B. Association of vegetation indices with atmospheric & biological factors using MODIS time series products. **Environmental Challenges**, v. 5, 100376, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100376>.

BENSUSAN, N. Terras Indígenas: as primeiras Unidades de Conservação. In: Ricardo, F (org.). **Terras Indígenas & Unidades de Conservação da natureza** – o desafio das sobreposições. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2004.

CHENG, Q.; JIN, H.; REN, Y. Compound daytime and nighttime heatwaves for air and surface temperature based on relative and absolute threshold dynamic classified in Southwest China, 1980-2019. **Sustainable Cities and Society**, v. 91, 104433, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104433>.

Climate Data. **Clima de Amambai (Brasil)**. 2025. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso-do-sul/amambai-43482/>>. Acesso em 10/02/2025.

Climatempo. **Climatologia em Amambai, BR**. 2025. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/1109/amambai-ms>>. Acesso em 15/02/2025.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; *et al.* Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 01-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4000/echogeo.15017>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª Edição, revisada e ampliada, Brasília-DF: Embrapa, 2018. 590p.

FANTE, K. P. Eventos meteorológicos extremos de temperatura: a incidência de ondas de calor em Rio Claro - SP, com base em diferentes metodologias analíticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, n. 20, p. 336-361, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.18053>.

GARAI, J.; KU, H. B.; ZHAN, Y. Climate change and cultural responses of indigenous people: A case from Bangladesh. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 4, 100130, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100130>.

GUILLEVIC, P.; GÖTTSCHE, F.; NICKESON, J. *et al.* Land Surface Temperature Product Validation Best Practice Protocol. Version 1.0. *In: Guillevic, P. et al. Best Practice for Satellite-Derived Land Product Validation* (p. 60): Land Product Validation Subgroup (WGCV/CEOS), 2017. DOI: <https://doi.org/10.5067/doc/ceoswgcv/lpv/lst.001>.

HALLAJ, Z.; BIJANI, M.; KARAMIDEHKORDI, E.; YOUSEFPOUR, R.; YOUSEFZADEH, H. Forest land use change effects on biodiversity ecosystem services and human well-being: A systematic analysis. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 23, 100445, 20245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100445>.

IBGE. Brasil. Mato Grosso do Sul. **Amambai – População do último senso [2022]**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/amambai/panorama>>. Acesso em 15/02/2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Informações ambientais. Vegetação. Base de Dados Espacial 1:250.000, Brasil. **Mapa da Vegetação Brasileira**. 2021. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/versao_2021/>. Acesso em 20/05/2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Informações ambientais. Pedologia. **Pedologia 1:250.000 2023**. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>>. Acesso em 05 dez. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Mudança do Clima 2023**, Relatório Síntese. 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: 02/02/2025.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2 ed. São José dos Campos: Parenteses, 2009.

KENNEY, W. L.; VECCELLIO, D.; COTTLE, R.; WOLF, S. T. How hot is too hot for the human body? Our lab found heat + humidity gets dangerous faster than many people realize. **The conversation**, 2022. Disponível em: <<https://theconversation.com/how-hot-is-too-hot-for-the-human-body-our-lab-found-heat-humidity-gets-dangerous-faster-than-many-people-realize-185593>>. Acesso em 20/02/2025.

MALAKAR, N. K.; HULLEY, G. C.; HOOK, S. J. *et al.* An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data: Methodology and Validation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 56, n. 10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2824828>.

MIRCHOOI, S. F.; SADEGHI, S. H.; DARVISHAN, A. K. Analyzing spatial variations of relationships between Land Surface Temperature and some remotely sensed indices in different land uses. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 19, 100359, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100359>.

MORA, C.; DOUSSET, B.; CALDWELL, I. R.; POWELL, F. E. *et al.* Global risk of deadly heat. **Nature climate change**, v. 7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3322>.

OLIVEIRA, M. J.; VECCHIA, F. A. S.; CARNEIRO, C. D. R. Mudanças climáticas. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. C. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologias e gestão**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

PARENTE, J.; PEREIRA, M. G.; AMRAOUI, M.; FISHER, E. M. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. **Science of The Total Environment**, v. 631-632, p. 534-549, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.044>.

PORANGABA, G. F.; GALVANI, E.; AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor superficiais e ondas de calor em Três Lagoas, MS: análise pela ótica do risco e da vulnerabilidade socioambiental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, n. 20, p. 275-296, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.18319>.

RICARDO, B. Povos indígenas e “desenvolvimento sustentável”. In: Ricardo, F (org.). **Terras Indígenas & Unidades de Conservação da natureza** – o desafio das sobreposições. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2004.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, Greenbelt: NASA SP-351, p. 3010-3017, 1974.

SALICK, J.; BYG, A. **Indigenous Peoples and Climate Change**. A Tyndall Centre Publication. Tyndall Centre for Climate Change Research, Oxford, 2007, 32p. Disponível em: <https://library.uniteddiversity.coop/Climate_Change/Indigenous_Peoples_and_Climate_Change.pdf>. Acesso em 02/02/2025.

SAMUELS, M. I. MASUBELELE, M. L; CUPIDO, C. F. *et al.* Climate vulnerability and risks to an indigenous community in the arid zone of South Africa. **Journal of Arid Environments**, v. 199, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104718>.

SANTOS, S. C. P.; SILVA, C. A. Ocorrência, intensidade e duração de ondas de calor em Dourados (MS) no período de 1980 a 2019. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 34, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v34i20.16155>.

SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; ROCHA, V. M. Uma visão social sobre o clima e seus significados nas paisagens climáticas dos lugares, o Pantanal/Brasil no contexto das mudanças climáticas. In: Jorge Luis P. Oliveira-Costa; Andréa Aparecida Zacharias; Andréia Medinilha Panher. (Org.). **Métodos e técnicas no estudo da dinâmica da paisagem física nos países da CPLP - Comunidade dos Países de Expressão Portuguesa**. 1ed. Málaga-Espanha: EUMED, 2022, p. 49-76.

SILVA, N. S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOUSA, G. M. Ocorrência de Ondas de Calor com Dados de Reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 4, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863740067>.

SOBRINO, J. A.; JIMÉNES-MUÑOZ, J. C.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 30, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>.

TAVAKOL, A.; RAHMANI, V.; HARRINGTON JR. J. Evaluation of hot temperature extremes and heat waves in the Mississippi River Basin. **Atmospheric Research**, v. 239, 104907, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104907>.

Terras Indígenas no Brasil. **Terra Indígena Amambai**. 2025. Disponível em: <<https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3576>>. Acesso em 15/02/2025.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook**. Version 5.0. EROS Sioux Falls, South Dakota. 2019. 114 p.

WANG, J.; YAN, Z. Rapid rises in the magnitude and risk of extreme regional heat wave events in China. **Weather and Climate Extremes**, v. 34, 100379, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100379>.

ZEE-MS. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Mato Grosso do Sul**. 2ª aproximação. Elementos para construção da sustentabilidade do território sul-matogrossense. Campo Grande, MS. 2015.