Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

IMPACTO DO DESMATAMENTO NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE E VEGETAÇÃO NA RESERVA BIOLÓGICA DO JARU – RO

Impact of deforestation at surface temperature and vegetation in the Biological Reserve of Jaru – RO

Impacto de la deforestación en la temperatura de la superficie terrestre y la vegetación en la Reserva Biológica Jaru – RO

Jaina Rodrigues Evangelista
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
jaina83.jr@gmail.com

Sara Regiane Tavares Lopes
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
sararegiane55@gmail.com

Lucas Matheus Matos Pacheco Ziles
Engenharia Elétrica, São Lucas/AFYA
lucas.ziles75@gmail.com

Graziela Tosini Tejas
Departamento de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)
graziela.tejas@ifro.edu.br

João Paulo Assis Gobo
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
joao.gobo@unir.br

Resumo: A Reserva Biológica do Jaru tem enfrentado ameaças à estabilidade ambiental, especialmente nas margens limítrofes. Este estudo objetivou avaliar a relação entre a Temperatura da Superfície Terrestre (TST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizando imagens dos satélites Landsat 5 e 8, para o período de 1992 a 2023. Os resultados indicaram uma perda

de 11,77% da vegetação nativa e aumento de até 13 °C na TST, com correlação negativa progressiva entre TST e NDVI (-0,9004 em 2023). Áreas com vegetação densa apresentaram temperaturas mais baixas, enquanto regiões alteradas sofreram aquecimento significativo, refletindo os impactos das mudanças no uso do solo. Esses resultados reforçam a relevância do monitoramento da TST e destacam a urgência de implementar estratégias eficazes de gestão para mitigar as pressões antrópicas nas unidades de conservação.
Palavras-chave: Temperatura da Superfície Terrestre (TST). Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Mudança no uso e cobertura do solo.

Abstract: The Jaru Biological Reserve has been experiencing threats to environmental stability, especially along its edges. This study aimed to assess the relationship between Land Surface Temperature (LST) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), based on Landsat 5 and 8 imagery spanning 1992 to 2023. The results showed an 11.77% reduction in native vegetation and an increase of up to 13 °C in LST, with an increasingly negative correlation between LST and NDVI (-0.9004 in 2023). Areas with dense vegetation exhibited lower temperatures, while altered regions experienced significant warming, reflecting the impacts of land-use changes. These findings highlight the importance of LST monitoring and underscore the urgent need for effective management strategies to mitigate anthropogenic pressures on conservation units.
Keywords: Land Surface Temperature (LST). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Land use and land cover change.

Resumen: La Reserva Biológica de Jaru ha sido objeto de crecientes presiones que comprometen su estabilidad ambiental, especialmente en sus zonas limítrofes. Este estudio tuvo como finalidad evaluar la relación entre la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST, por sus siglas en inglés) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), mediante el análisis de imágenes de los satélites Landsat 5 y 8, correspondientes al período 1992–2023. Los resultados evidenciaron una pérdida del 11,77 % de la vegetación nativa y un incremento de hasta 13 °C en la LST, con una correlación negativa progresiva entre LST y NDVI (−0,9004 en 2023). Las áreas con cobertura vegetal densa presentaron temperaturas superficiales más bajas, mientras que las zonas alteradas registraron un calentamiento significativo, reflejando los impactos derivados de los cambios en el uso del suelo. Estos hallazgos subrayan la importancia del monitoreo sistemático de la temperatura superficial terrestre y refuerzan la urgencia de implementar estrategias de gestión ambiental eficaces para mitigar las presiones antrópicas sobre las unidades de conservación.
Palabras clave: Temperatura de la Superficie Terrestre (LST). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Cambio en el uso y cobertura del suelo.

Submetido em: 17/07/2024
Aceito para publicação em: 20/06/2025
Publicado em: 04/07/2025

1. INTRODUÇÃO

O avanço de práticas agrícolas na Amazônia, como pecuária, extração madeireira e mineração, tem intensificado as mudanças ambientais, inclusive dentro e no entorno das Unidades de Conservação (UCs) (Fearnside, 1980). Entre 2000 e 2021, 52% das áreas florestais da Amazônia Legal foram destinadas a Terras Indígenas (TIs) e UCs, respondendo por apenas 5% da perda florestal líquida e 12% da perda de floresta densa. Após sua implementação, a perda bruta de floresta caiu 48% nas UCs de proteção restrita (Qin *et al*., 2023). Apesar disso, há uma pressão crescente de desmatamento, representando um sinal alarmante nas TIs e UCs, que enfrentam constantes pressões externas e frequentes eventos de desmatamento dentro dos seus limites.

A expressiva conversão da floresta densa em pastagens, motivada principalmente pela expansão da pecuária próxima à Reserva Biológica (Rebio) do Jaru, uma unidade de conservação de proteção integral regulada pela Lei nº 9.985/2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC) (Brasil, 2000), traz consequências como a redução na umidade relativa do ar e o aumento no fluxo de calor sensível devido à exposição do solo (Gomes *et al*., 2015).

Essas alterações aumentam a incidência de radiação solar no interior das florestas (Milan *et al*., 2016), elevando as temperaturas locais, intensificando os ventos e acelerando a evapotranspiração (Kapos, 1989). Além disso, a modificação na distribuição da vegetação compromete o balanço de radiação, impactando negativamente componentes bióticos e abióticos do ecossistema.

Em áreas desflorestadas, a menor densidade de vegetação favorece o aquecimento da superfície e do ar adjacente, pois a energia disponível é convertida em calor. Já em florestas densas, predomina a evapotranspiração, que contribui para o resfriamento da superfície (Leal, 2012).

Localizada no sudoeste da Amazônia, a Rebio Jaru encontra-se em uma região com baixa variabilidade interanual de precipitação, o que potencializa os efeitos do desmatamento sobre o microclima (Leite-Filho *et al*., 2021). Estudos apontam que alterações na cobertura vegetal estão associadas à redução da rugosidade superficial e ao comprometimento da estabilidade atmosférica (Khanna *et al*., 2017). A zona de amortecimento (ZA), conforme

previsto no SNUC, desempenha papel fundamental na mitigação desses impactos, sobretudo durante a estação seca.

As pressões sobre essas zonas indicam a necessidade de integração entre o planejamento das UCs e a gestão territorial das áreas adjacentes (Beiroz, 2015), embora persistam resistências à conservação por parte de setores interessados na expansão agrícola (DeFries e Rosenzweig, 2010). As florestas tropicais estão entre os ecossistemas mais sensíveis às mudanças nos padrões climáticos, sendo impactadas tanto por alterações diretas no uso do solo quanto por estresses térmicos e hídricos (Webler *et al*., 2013).

Nesse contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tem sido amplamente empregado para monitorar a degradação ambiental e a dinâmica da cobertura vegetal (Silva, 2015; Gomes *et al*., 2015), em conjunto com a Temperatura da Superfície Terrestre (TST), indicador relevante das alterações microclimáticas induzidas pelo desmatamento.

Doughty *et al*. (2018) afirmam que áreas protegidas podem ter a massa foliar por área diminuída por conta das constantes temperaturas altas, associadas a longos períodos de estiagem e perda de vegetação. Além disso, as folhas de florestas tropicais podem escurecer em resposta às mudanças climáticas. De acordo com Tol (2009), as alterações climáticas em áreas protegidas, têm um impacto profundo na biodiversidade, não somente por meio de alterações na temperatura e na precipitação, mas também em aspectos como acidificação do solo, alteração no uso da terra, disponibilidade de nutrientes e proliferação de espécies exóticas invasoras em novos habitats.

Diante das modificações antrópicas recentes na Unidades de Conservação Rebio Jaru, torna-se imprescindível compreender as respostas da vegetação às mudanças ambientais, especialmente durante a estação seca, período de maior visibilidade para o monitoramento via sensoriamento remoto (Silva, 2015). Visto que, a expansão do desmatamento nas áreas adjacentes e na zona de amortecimento tem potencial para alterar o microclima interno da unidade, comprometendo seus serviços ecossistêmicos. Assim, este estudo visa analisar a relação multitemporal entre o desmatamento, a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no período de 1992 a 2023, a fim de identificar os impactos climáticos decorrentes das mudanças no uso e cobertura do solo.

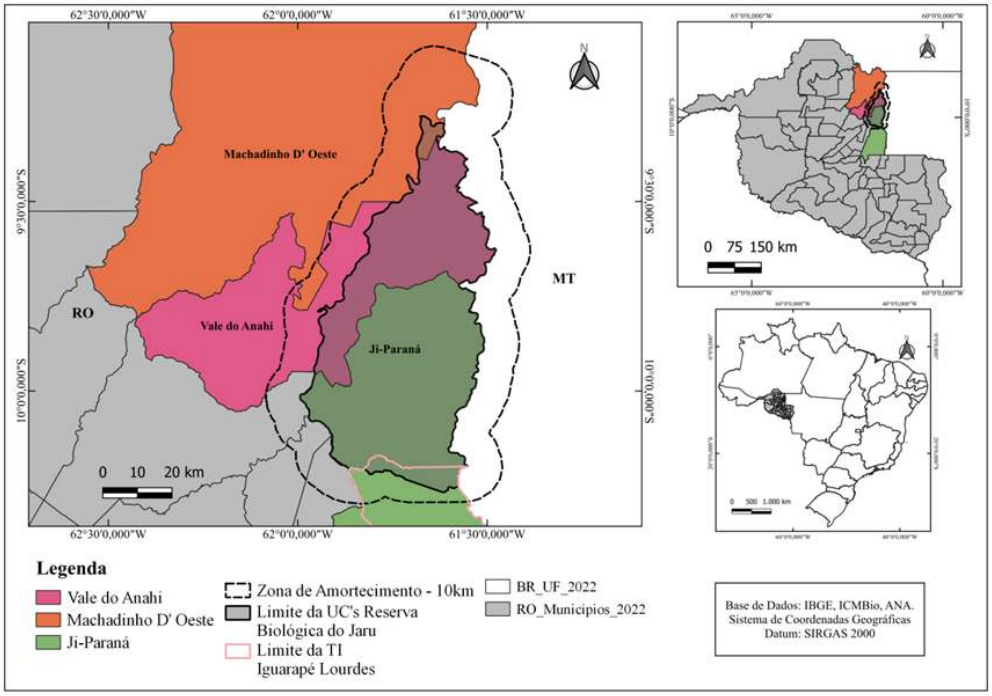
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

As análises foram conduzidas na Reserva Biológica do Jaru, que está sob a gestão do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). A Rebio Jaru é considerada uma unidade de conservação de proteção integral e está situada nos municípios de Ji-Paraná, Vale do Anahi e Machadinho d'Oeste, no estado de Rondônia (Figura 1).

Praticamente isolada de outras áreas protegidas, conectada apenas à Terra Indígena Igarapé Lourdes em sua divisa sul, a reserva tem seu entorno considerado prioritário para conservação da biodiversidade amazônica e refúgio de fauna silvestre. No entanto, a pressão antrópica na região ocorre desde a década de 1970, quando a ocupação da região foi incentivada e dirigida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), através de projetos de assentamentos. Os únicos pontos de áreas preservadas a oeste e noroeste da zona de amortecimento ocorrem devido aos planos de manejos florestais das áreas de Reservas extrativistas. Já as áreas florestadas, situadas a nordeste da área de entorno da Rebio Jaru, no estado do Mato Grosso, estão destinadas a usos especiais com manejo florestal sustentável que assegure a proteção da vegetação robusta da região (Justina, 2009).

Figura 1: Mapa de localização da Reserva Biológica do Jaru - ICMBio



Fonte: Elaborado pelo autor.

A vegetação na área apresenta um dossel vegetativo bem estruturado, principalmente caracterizado pela presença de um estrato arbustivo típico da Floresta Ombrófila Aberta, com alguns indivíduos arbóreos dispersos e uma alta concentração de cipós e palmeiras, variando apenas em termos de densidade. A altura média do dossel é de cerca de 30 m, mas algumas árvores emergentes chegam a medir 45 m (Zeri *et al*., 2015).

O clima predominante nessa região é classificado como Equatorial semiúmido, característico da região central da Amazônia, com um período de seca de 4 a 5 meses, caracterizada pelo tipo climático Am, com chuvas de monções, uma temperatura média anual superior a 26 °C e uma precipitação média anual superior a 2200 mm, conforme a classificação climática de Novais e Machado (2023).

A Reserva é caracterizada por alta temperatura e elevado teor de umidade, com estação seca (inverno austral) em junho, julho, agosto e setembro, e a predominância de uma estação chuvosa (verão austral) durante o restante do ano, sendo o primeiro trimestre o de maior pluviosidade. Maio e setembro são meses de transição (Webler *et al*., 2013).

2.2. Processamento de imagens

O software QGIS, versão 3.28.3 Firenze foi utilizado no processamento de imagens e elaboração de mapas temáticos. O estudo apresenta o fluxograma metodológico dos processamentos realizados no QGIS, como: a aquisição de dados; delimitação da área de estudo; combinação de bandas; desenvolvimento do banco de dados; geração dos mapas de NDVI e TST; análise das estatísticas zonais.

A metodologia foi subdividida nas seguintes etapas: (a) aquisição das imagens Landsat; (b) processamento de imagens; (c) análise das assinaturas temporais do NDVI, da TST; e (d) análise das relações estatísticas de correlação entre o NDVI e a TST.

Guha e Govil (2021) destacam que a análise de TST e NDVI depende da qualidade das imagens. Para garantir precisão, foram selecionadas imagens sem obstruções atmosféricas, como nuvens. Este estudo adotou a mesma abordagem, escolhendo datas com condições atmosféricas favoráveis para assegurar a confiabilidade dos dados. Para reforçar a análise, foram verificados os dados meteorológicos da Estação Fluviométrica Ji-Paraná (Código 15560000), obtidos por meio do sistema Hidrotelemetria da Agência Nacional de Águas (ANA),

a fim de garantir que as condições climáticas dos dias correspondentes às imagens coletadas fossem apropriadas para a análise.

Adicionalmente, adotou-se a seleção rigorosa de imagens com céu limpo, o que reduz consideravelmente os efeitos da atmosfera sobre a radiação térmica registrada (Gallo e Krishnan, 2022). Essa prática, aliada à estimativa da emissividade espectral via NDVI, contribui para minimizar incertezas na estimativa da TST, especialmente em superfícies vegetadas (Rosas, Houborg e McCabe, 2017). Em regiões tropicais úmidas e de baixa altitude — como a área de estudo —, a transmitância atmosférica (τ) é naturalmente baixa, o que fa com que seus efeitos sejam reduzidos a níveis mínimos (Sekertekin e Bonafoni, 2020).

As imagens dos satélites Landsat 5, Thematic Mapper (TM), e Landsat 8, Imageador Operacional Terrestre (OLI) e Sensor Infravermelho Térmico (TIRS), foram obtidas gratuitamente no site do United States Geological Survey (USGS) e utilizadas as bandas 3, 4 para o NDVI e banda 6 Termal para calcular o TST, do Landsat 5. Já do Landsat 8 foram utilizadas as bandas 4 e 5 para o NDVI, sensor OLI, e a banda 10 infravermelho termal, do sensor TIRS. A tabela 1 corresponde as informações de cada satélite dos anos de 1992 a 2023, conforme a obtenção das imagens para o presente estudo.

Tabela 1: Informações das imagens utilizadas

Satélite	Bandas Espectrais	Sensor	Resolução	Órbita/Ponto	Data de
Landsat5	B3 – Vermelho B4 – Infravermelho B6 – Termal	TM	0,63 – 0,69 0,76 – 0,90 10,4 – 12,5	231/066 231/067	07/06/1992
	B3 – Vermelho B4 – Infravermelho B6 – Termal	TM	0,63 – 0,69 0,76 – 0,90 10,4 – 12,5	231/066 231/067	03/08/2001
	B3 – Vermelho B4 – Infravermelho B6 – Termal	TM	0,63 – 0,69 0,76 – 0,90 10,4 – 12,5	231/066 231/067	30/07/2011
Landsat8	B4 - Vermelho B5 - Infravermelho B10 Termal	OLI OLI TIRS	0,64 - 0,67 0,85 - 0,88 10,6 - 11,19	231/066 231/067	04/08/2013
	B4 - Vermelho B5 - Infravermelho B10 Termal	OLI OLI TIRS	0,64 - 0,67 0,85 - 0,88 10,6 - 11,19	231/066 231/067	25/07/2021
	B4 - Vermelho B5 - Infravermelho B10 Termal	OLI OLI TIRS	0,64 - 0,67 0,85 - 0,88 10,6 - 11,19	231/066 231/067	31/07/2023

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o processamento digital de imagem da Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a primeira etapa consistiu na reprojeção das bandas do sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 20S, com meridiano central a 63º oeste e datum SIRGAS 2000. Após, recortou os arquivos raster das bandas 3 e 4 (vermelho e infravermelho próximo) e banda 6 (infravermelho termal) do Landsat 5 e Landsat 8 as bandas 4 e 5 (vermelho e infravermelho próximo) e banda 10 (infravermelho termal), para a área de estudo, seguido da correção radiométrica em radiância e reflectância para identificação espectral dos materiais terrestres (Meneses e De Almeida, 2019).

As imagens de satélite foram processadas seguindo as etapas abaixo para elaborar os mapas de TST e NDVI:

(1) Radiância espectral do Landsat 5:

$$L\lambda = \left(\frac{Lmáx - Lmin}{DNmáx}\right) \times DN + Lmin \quad (1)$$

Onde:

- Lλ representa a radiância espectral, medida em W/m2/sr/µm;
- Lmáxλ e Lminλ são os limites máximo e mínimo da radiância para a banda específica do sensor, valores fornecidos nos metadados da imagem. Banda 3 (264.0 e -1.170) e na Banda 4 (221.0 e -1.510);
- DNmax: valor máximo do número digital (DNmáx=255);
- DN: número digital de cada pixel.

(2) Radiância espectral do Landsat8:

$$L\lambda = ML \times Qcal + AL \quad (2)$$

Onde:

- Lλ = Radiância espectral (W/ m2.sr.µm);
- ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda;
- Qcal = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN);
- AL = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000).

Essa fórmula é utilizada para converter os valores digitais (DN) registrados pelos sensores do Landsat 8 em unidades físicas de radiância espectral.

(3) Obtenção da reflectância realizada em todas as bandas espectrais:

A fórmula de reflectância planetária (ρλ) é usada para converter os valores de radiância espectral em reflectância, considerando e ajustando as influências atmosféricas e solares. Essa conversão é permite comparar a quantidade de luz refletida por diferentes superfícies, independentemente das condições de iluminação. A equação, apresentada por Chander *et al*. (2009), é descrita da seguinte forma:

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times cos\theta_s} \quad (3)$$

Onde:

- ρλ = Reflectância planetária, sem a correção do ângulo solar;
- Lλ = Radiância espectral na abertura do sensor;
- d² = Distância entre a Terra e o Sol em unidades astronômicas;
- ESUNλ = Irradiância solar na exoatmosfera;
- CθsλCθsλ = Ângulo zenital solar.

(4) Temperatura de brilho:

A temperatura de brilho é obtida convertendo os valores de radiância espectral (Lλ) em temperatura utilizando a equação, descrita no manual do Landsat 8 (USGS, 2021) e por Chander *et al*. (2009), é apresentada da seguinte forma:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

Onde:

- TB = Temperatura de brilho em Kelvin (K);
- Lλ = Refletância no topo da atmosfera (Watts/ (m2 * srad * µm));
- K1 = constante de conversão K1 específica para cada banda, também denominada de constante térmica, disponível no arquivo de metadados (K1_CONSTANT_BAND_x, onde x é o número da banda);

- K2 = constante de conversão K2 específica para cada banda, também denominada de constante térmica, disponível no arquivo de metadados (K2_CONSTANT_BAND_x, onde x é o número da banda).

(5) Conversão da temperatura do brilho em Kelvin para graus Celsius:

$$T_c = T_B - 273{,}15 \quad (5)$$

Onde:

- Tc = temperatura de brilho em graus Celsius (°C).

(6) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI):

Trata-se de metodologia proposta por Tucker (1979) que combina informações espectrais para avaliar a vegetação terrestre. Valores positivos de NDVI indicam maior densidade de vegetação, enquanto valores próximos de zero ou negativos correspondem a superfícies não vegetadas, como solo exposto ou corpos d'água. Estudos recentes, como o de Bernales *et al*. (2016), reforçam a utilidade do NDVI em análises de mudanças no uso e cobertura do solo, além de sua aplicação em estudos de relação entre temperatura e vegetação.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (6)$$

Onde:

- NIR = Reflectância na banda do infravermelho próximo;
- RED = Reflectância na banda do vermelho.

(7) Proporção da Vegetação:

A proporção de vegetação (PV) é utilizada para estimar a fração de cobertura vegetal a partir do NDVI. O cálculo segue a fórmula proposta por Carlson e Ripley (1997):

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}}\right)^2 \quad (7)$$

Onde:

- NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

- $NDVI_{min}$ e $NDVI_{max}$: Valores mínimo e máximo de NDVI.

Sendo esta fundamental para calcular a emissividade de superfícies terrestres, especialmente em ambientes com vegetação escassa ou fragmentada (Sobrino *et al*., 2004).

(8) Emissividade:

$$\varepsilon = 0{,}004 \times P_V + 0{,}986 \quad (8)$$

Onde:

- 0,004 e 0,986: são coeficientes empíricos determinados com base em estudos sobre a relação entre a proporção da vegetação (PV) e a emissividade de superfícies terrestres heterogêneas. Sobrino *et al*. (2004) propuseram essa relação linear porque ela simplifica o cálculo da emissividade para superfícies heterogêneas, como mosaicos de vegetação e solo, sem a necessidade de medições diretas

(9) Temperatura de Superfície em graus Celsius:

$$TST = \left[\frac{T_B}{1} + \left(\lambda \times \frac{T_B}{\rho}\right) \times \ln(\varepsilon)\right] - 273{,}15 \quad (9)$$

Onde:

- TST: Temperatura de superfície terrestre, em Kelvin;
- TB: Temperatura de brilho, em Kelvin;
- λ: Comprimento de onda efetivo da radiação;
- ρ: Constante calculada como h x c/ σ, onde:
    - h: Constante de Planck (6,626 × 10-34 Js);
    - c: Velocidade da luz (2,998 × 108 m/s);
    - σ: Constante de Boltzmann (1,38 × 10-23 J/K);
- ε: Emissividade da superfície terrestre.

2.3. Análise estatística

Após o cálculo dos índices NDVI e TST, foi criado um *dataframe* com 7.000 pontos de controle distribuídos por toda a área de estudo (excetuando-se corpos hídricos), utilizando o software R. Como as bandas utilizadas para TST e NDVI possuem resoluções espaciais distintas,

os dados raster foram reprojetados e reamostrados para uma resolução comum, assegurando que cada pixel representasse a mesma área.

Com isso, os valores de TST e NDVI foram extraídos para os mesmos pontos, permitindo associar cada par de valores em uma linha do *dataframe*. Com as variáveis organizadas, foram aplicadas as correlações de Pearson e Spearman: a primeira avalia a força e direção de uma relação linear entre variáveis; a segunda, relações monotônicas, mesmo que não lineares.

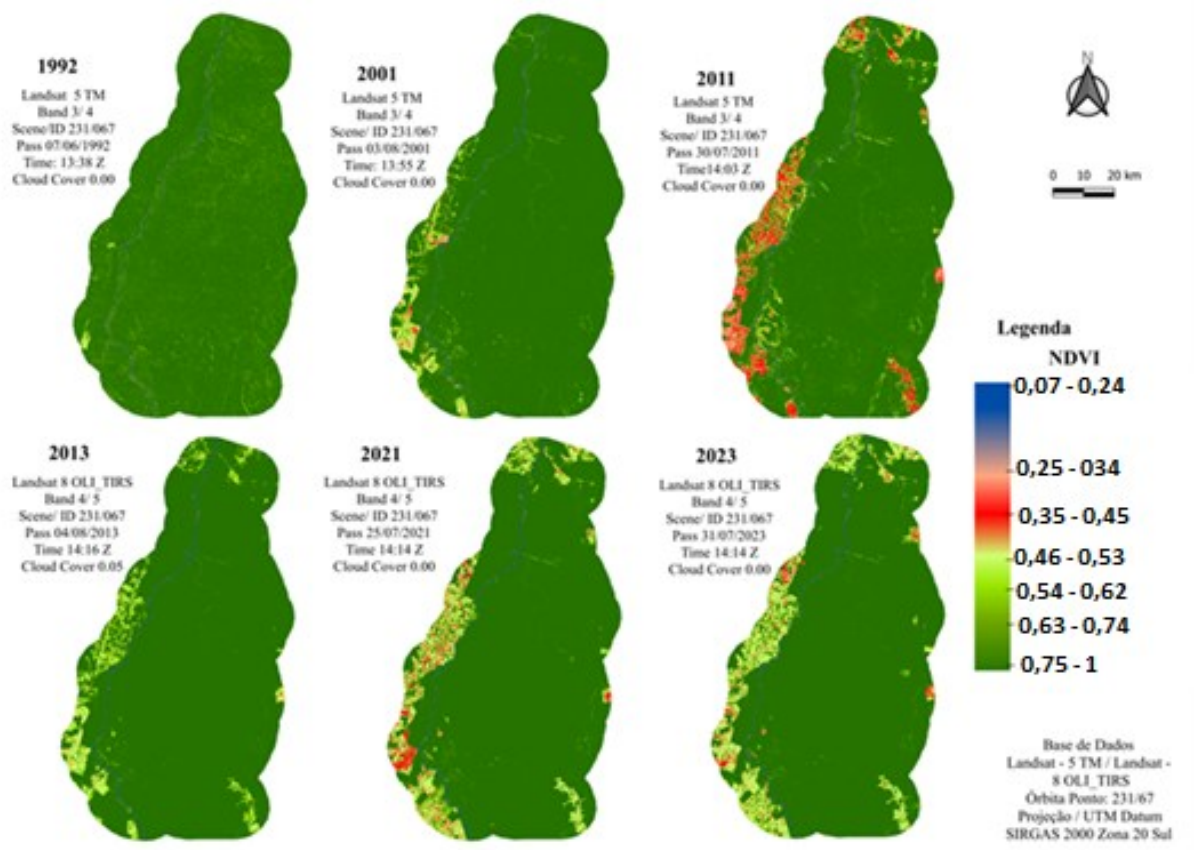
Segundo Ortiz Pinilla e Ortiz Rico (2021), o coeficiente de Pearson é mais adequado para distribuições normais e relações lineares, enquanto o coeficiente de Spearman é robusto para distribuições não normais e dados com *outliers*. A análise gráfica baseou-se na intensidade da correlação, com valores variando de -1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita), conforme destacado por Anderson, Sweeney e Williams (2007).

3. RESULTADOS

3.1. Resultado NDVI

Os espectros temporais analisados na pesquisa identificaram oscilações no padrão de variação do NDVI ao longo da série temporal de 1992-2023, com uma queda acentuada dos valores do índice ao longo dos anos (Figura 2). Em 1992 e 2001, a classe Área Preservada e cobertura vegetal predominavam na região do estudo, com valores altos de NDVI, de 0,85 a 1, o que, segundo Minatti *et al*. (2023), indica uma densa vegetação saudável. No entanto, entre 2011 e 2013, houve mudanças na cobertura vegetal dentro da Rebio Jaru, próximas às margens do Rio Machado, devido à invasão e criação ilegal de pasto. A área de recuperação apresentou valores de NDVI de 0,25 a 0,35, evidenciando clareiras.

Figura 2: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para os diferentes anos. Painel – 1992: NDVI. Painel – 2001: NDVI. Painel – 2011: NDVI. Painel – 2013: NDVI. Painel – 2021: NDVI. Painel – 2023: NDVI.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A formação da floresta secundária, resultado da recuperação de distúrbios passados, registrou valores de NDVI de 0,46 a 0,54. Muitas formações florestais consideradas intactas possuem um histórico de cultivo agrícola e extração de madeira (White e Oates, 1999).

Comparando as tipologias de NDVI do primeiro ano do estudo multitemporal, observou-se uma queda de 7% nas áreas de NDVI de 0,63 a 0,74 e de 3% nas áreas com valores entre 0,75 e 1, indicando o avanço do desmatamento na zona de amortecimento, com valores de 0,25 a 0,34 de solo exposto na área de desmatamento e recuperação. A diferença progressiva do NDVI entre 1992 e 2023 mostra que 2011 teve a maior incidência de solo exposto na Unidade de Conservação, enquanto 2013 foi um ano de recuperação, com a segunda maior quantidade de vegetação densa após 2011. No entanto, em 2021, as condições pioraram novamente, e em 2023 a área correspondente à vegetação de transição e densa registrou uma perda somada de 10,6% em relação a 1992, permitindo um aumento de 6,48% na vegetação rala e 2% no solo exposto (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de NDVI encontrados em cada tipo de uso e cobertura, referentes aos anos amostrais

Classe	Tipologia	Intervalo NDVI	1992	2001	2011	2013	2021	2023	Diferença (2023 – 1992)
1	**Água**	0,07 – 0,24	0,42%	0,45%	0,46%	0,50%	0,51%	0,50%	0,09%
2	**Solo Exposto Arenoso**	0,25 – 0,34	0,08%	0,17%	1,26%	0,07%	0,25%	0,26%	0,18%
3	**Solo Exposto**	0,35 – 0,45	0,04%	0,41%	3,28%	0,16%	1,84%	2,10%	2,06%
4	**Veg. Rala**	0,46 – 0,53	0,15%	1,50%	2,45%	2,19%	5,74%	6,62%	6,48%
5	**Veg. Aberta**	0,54 – 0,62	0,23%	1,19%	1,57%	2,37%	2,02%	2,15%	1,92%
6	**Veg. De Transição**	0,63 – 0,74	9,64%	2,79%	5,42%	2,39%	1,94%	2,29%	-7,36%
7	**Veg. Densa**	0,75 - 1	89,44%	93,48%	85,55%	92,32%	87,69%	86,08%	-3,36%
	TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. Resultado TST

A análise da Figura 3 indica que locais com cobertura vegetal densa apresentam menores valores de temperatura de superfície (TST) e maiores valores de NDVI. Andronis *et al*. (2022) confirmam que a TST diminui conforme o NDVI aumenta. Na região central da Rebio Jaru, considerada intocada dentro da Unidade de Conservação, as temperaturas foram inferiores a 25 °C em 1992, 2001 e 2011, enquanto entre 2013 e 2023 as temperaturas variaram de 26 °C a 28 °C.

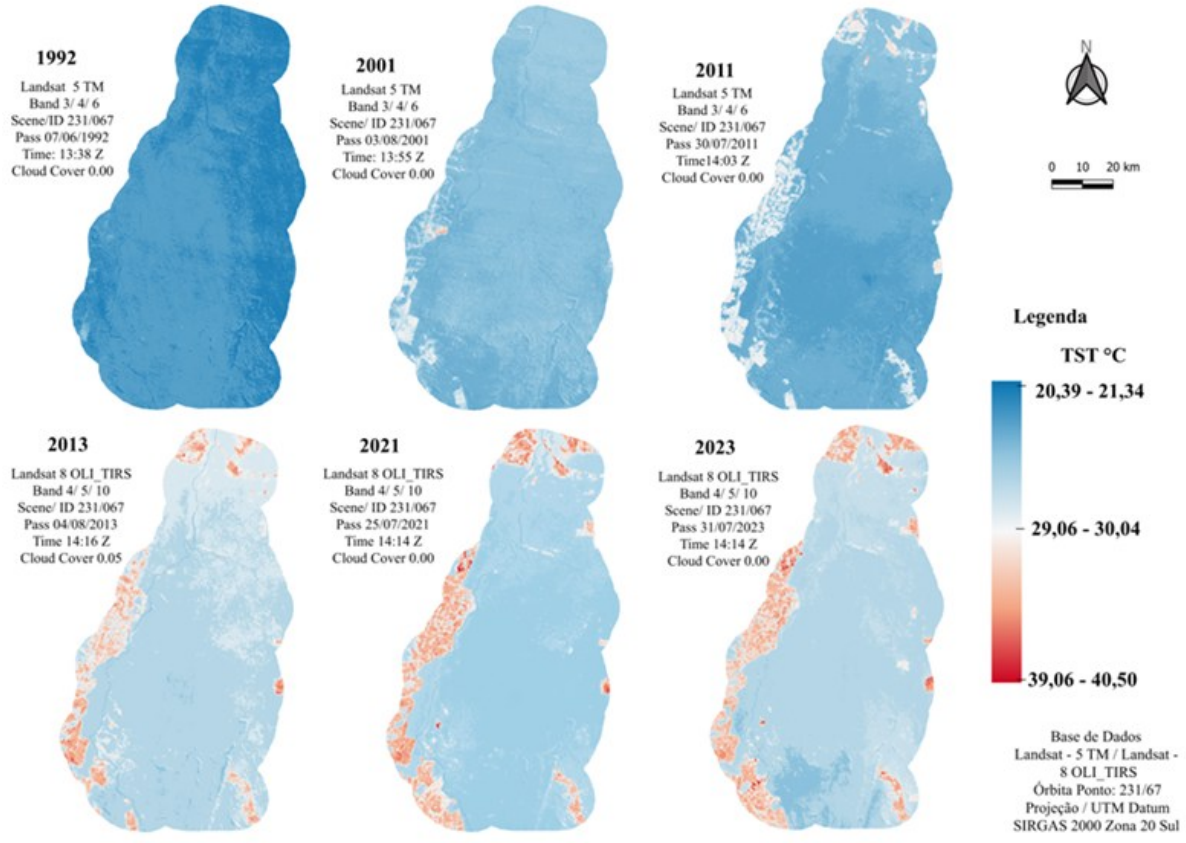
Em contraste, a zona de amortecimento (10 km) registrou as maiores temperaturas, especialmente nas áreas de NDVI entre 0,25 e 0,34, que se refere a regiões onde a vegetação é rala ou inexistente e geralmente compostas por solo exposto arenoso, e NDVI entre 0,35 e 0,45 que é caracterizado por áreas onde a cobertura vegetal foi removida ou está ausente. Essas áreas, devido à falta de vegetação, tendem a armazenar mais calor em comparação com

áreas com NDVI entre 0,46 e 1, geralmente vegetadas, resultando em temperaturas mais altas da superfície terrestre, como discutido por Muniz *et al*. (2016).

Enquanto os valores de NDVI entre 0,75 e 1 indicam vegetação densa, com TST variando entre 20 e 27,5 °C, áreas com NDVI entre 0,25 e 0,35, associadas a solo exposto, apresentaram temperaturas entre 30 e 40,5 °C.

Pavão *et al*. (2015) observam que, à medida que a cobertura florestal é reduzida, a temperatura de superfície aumenta continuamente. Esse fenômeno é confirmado pelos estudos de Moreira e Vitorino (2017), que indicam que a redução da vegetação resulta no aumento da temperatura da superfície.

Figura 3: Temperatura de Superfície (TS) em °C para os diferentes anos. Painel – 1992: TST. Painel – 2001: TST. Painel – 2011: TST. Painel – 2013: TST .Painel – 2021: TST. Painel – 2023: TST



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em 1992, mais de 85% da Reserva Biológica apresentava temperaturas entre 21°C e 22°C, com máxima de 25°C. Em 2001, mais da metade da área registrou 24°C a 25°C. Apesar de uma redução na média em 2011, houve uma máxima de 30°C em 1% da área, aumentando

para 5% em 2013, quando foi registrado um recorde de 35°C. Nas últimas coletas, a temperatura média variou entre 27°C e 28°C, com máxima de 37°C (Tabela 3).

A utilização de uma única data por ano foi uma escolha metodológica para garantir imagens de qualidade, livres de nuvens, que poderiam comprometer a precisão das análises de TST. A seleção de datas específicas assegura a confiabilidade dos resultados, refletindo as condições reais da superfície.

Tabela 3: Valores da quantificação das classes de TST referentes aos anos amostrais

Classe	Intervalo (°C)	1992	2001	2011	2013	2021	2023	Diferença (2023–1992)
1	**20–21**	2,98%	0%	0%	0%	0%	0%	-2,98%
2	**21–22**	85,44%	0%	0%	0%	0%	0%	-85,44%
3	**22–23**	11,35%	0%	76%	0%	0%	0%	-11,35%
4	**23–24**	0,20%	20%	12%	0%	0%	0%	-0,20%
5	**24–25**	0,03%	57%	3%	0%	0%	0%	-0,03%
6	**25–26**	0%	18%	2%	0%	0%	0%	0,47%
7	**26–27**	0%	2%	2%	0%	46%	35%	35,46%
8	**27–28**	0%	1%	3%	26%	36%	45%	44,86%
9	**28–29**	0%	1%	2%	59%	4%	5%	5,11%
10	**29–30**	0%	1%	1%	5%	2%	2%	1,74%
11	**30–31**	0%	0%	0%	2%	2%	2%	1,69%
12	**31–32**	0%	0%	0%	2%	2%	2%	2,14%
13	**32–33**	0%	0%	0%	2%	3%	3%	2,95%
14	**33–34**	0%	0%	0%	2%	3%	3%	3,23%
15	**34–35**	0%	0%	0%	1%	2%	2%	1,96%
16	**35–36**	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0,62%
17	**36–37**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,18%
18	**37–38**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,04%
19	**38–39**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20	**39–40**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
21	**40–41**	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
TOTAL		100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3. Processo de antropização

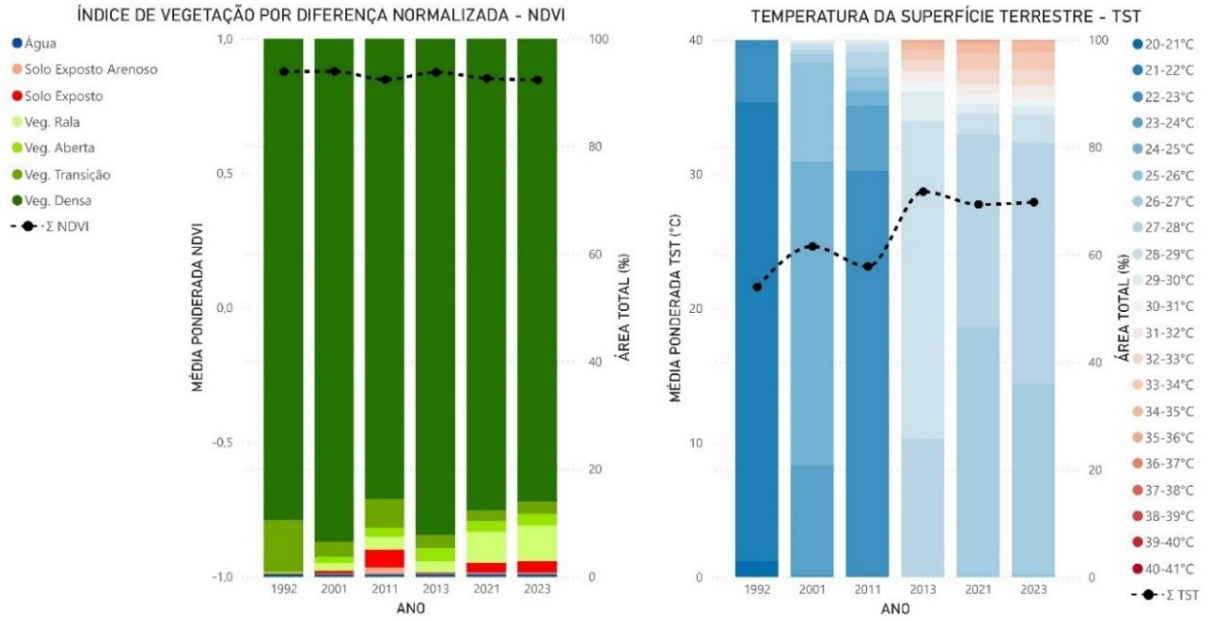
A partir do processamento das imagens Landsat dos anos de 1992, 2001, 2011, 2013, 2021 e 2023, ficou evidente a redução da cobertura vegetal como efeito direto do processo de antropização, e consequente aumento da temperatura de superfície, que ocorreu na Reserva Biológica do Jaru (Figura 2 e 3).

Analisando o índice de vegetação, áreas com NDVI entre 0,35 e 0,45 apresentaram um aumento de 2% entre 1992 e 2023. De forma semelhante, porções classificadas entre 0,46 e 0,53, geralmente associadas à 'vegetação rala', composta por vegetação herbácea, arbustiva ou secundária, registraram um crescimento de 6% no mesmo período, sendo predominantemente convertidas em pastagens e plantações devido ao processo de urbanização. As gramíneas e herbáceas, que representam a maior parte da cobertura pós-desmatamento na Amazônia, têm raízes superficiais e menor taxa de evapotranspiração durante a estação seca; portanto, o desmatamento pode amplificar as condições de seca (Mu, Biggs e De Sales (2021). Consequentemente, o NDVI pode ter valores baixos com temperaturas baixas.

Ao longo do período analisado, o vigor vegetativo predominava em 1992, com grande extensão de vegetação densa. Nos anos seguintes, houve transição para vegetação secundária, refletida na redução de 3,36% do NDVI na faixa de 0,75 a 1 e de 7,36% entre 0,63 e 0,74 (Tabela 2).

As alterações de TST ao longo do tempo indicam mudanças climáticas significativas a partir de 2011, com tendência de aumento das temperaturas em áreas desflorestadas (Figura 4). Em 1992, cerca de 12% das temperaturas mais elevadas concentravam-se entre 22 °C e 23 °C. Já em 2023, aproximadamente 15% situaram-se entre 30 °C e 35 °C, em áreas com baixos valores de NDVI. Esses resultados corroboram Ayanlade *et al*. (2021), ao apontarem que a TST está fortemente relacionada às mudanças no uso e cobertura do solo, além da intensificação das estiagens, resultando em aquecimento progressivo da superfície terrestre.

Figura 4: Gráfico de distribuição de NDVI e TST ao longo dos anos analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4. Correlação entre NDVI e TST

Em 1992, os índices TST e NDVI apresentaram correlação praticamente nula (r = 0,002), possivelmente devido à ausência de dispersão entre as variáveis, associada à redução sazonal da vegetação densa durante o inverno austral na Amazônia, o que compromete os processos de evapotranspiração e sombreamento, levando à abertura do dossel florestal (Zheng *et al*., 2019; Zhou *et al*., 2020).

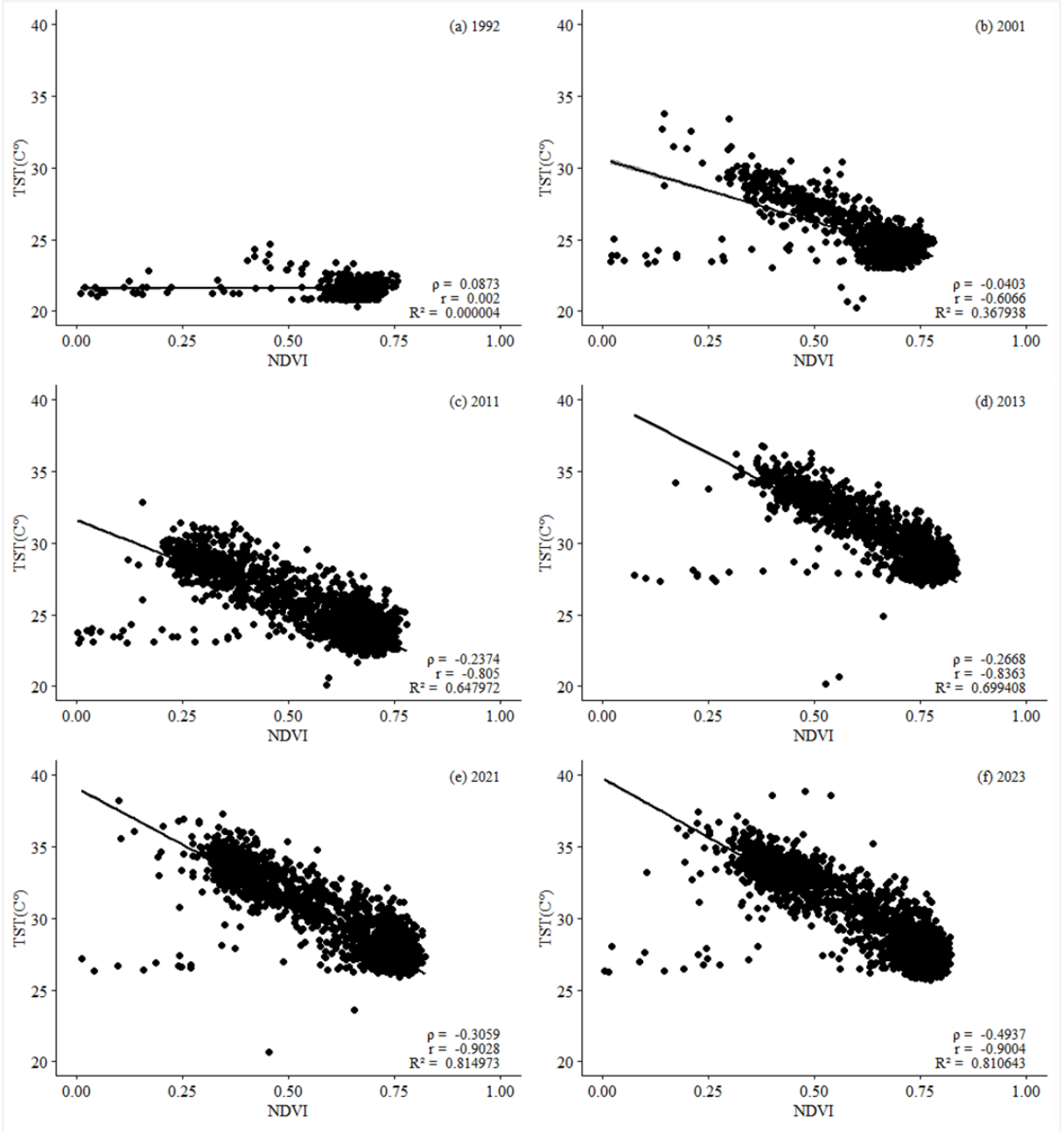
Em 2001, a correlação negativa moderada (r = -0,6066) indica que a diminuição do NDVI está associada ao aumento da TST (Figura 5), como descrito por Wu *et al*. (2014). Nos anos subsequentes, as correlações negativas tornaram-se mais intensas, como em 2011 (r = -0,805), 2013 (r = -0,8363), 2021 (r = -0,9028) e 2023 (r = -0,9004), evidenciando o vínculo crescente entre alterações na cobertura do solo e o aquecimento superficial (Guha e Govil, 2020).

Com o avanço do desmatamento na zona de amortecimento da Rebio, verifica-se um aumento na dispersão dos pontos observados, com áreas de menor NDVI associadas a temperaturas de superfície mais elevadas. Isso reforça a intensificação da correlação negativa entre a perda de cobertura vegetal e o aumento da TST.

Foram excluídos os valores negativos de NDVI, geralmente associados a corpos d'água (NDVI entre -1 e 0,07), por não representarem cobertura vegetal e distorcerem a análise de correlação com a TST (Deng *et al*., 2018).

Por fim, os coeficientes de Pearson e Spearman foram aplicados para avaliar a força e direção da correlação entre NDVI e TST, variando entre -1 e 1, sendo que valores próximos a -1 indicam correlação negativa forte. O coeficiente de Pearson é recomendado para relações lineares, enquanto o de Spearman se mostra mais robusto diante de distribuições não normais ou presença de outliers. O coeficiente de determinação (R^2) complementa a análise ao indicar a proporção da variância explicada pela correlação (De Winter, Gosling e Potter, 2016).

Figura 5: Gráfico de dispersão para correlação de NDVI e TST



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. DISCUSSÃO

A interação entre a diminuição da luz solar refletida na superfície e o aumento da evapotranspiração das áreas vegetadas gerou variações significativas na TST. Isso foi atribuído ao efeito de resfriamento da evaporação e à diminuição do albedo associado às copas de florestas densas, que absorveram uma maior quantidade de radiação solar, levando a um fluxo de calor sensível intensificado Lian *et al*. (2022).

Embora o presente estudo tenha sido conduzido no período de estiagem da região amazônica (inverno austral), Souza *et al*. (2022) revelam que a Rebio Jaru apresenta mecanismos para lidar com as secas locais sem impactos significativos na estrutura do dossel e, consequentemente, nas taxas de evapotranspiração e fotossíntese. Isso explica a pequena variação dos elevados valores de NDVI ao longo dos anos, indicando a preservação da cobertura do dossel. No entanto, a diferença na TST ao longo dos anos está diretamente associada às atividades humanas, como o desmatamento e a pecuária ilegal na zona de amortecimento, que resultaram em uma maior exposição do solo e, consequentemente, em um aumento nas temperaturas. A transformação de áreas de vegetação densa em solo exposto gerou um impacto significativo nas temperaturas superficiais, tornando a área mais suscetível ao aquecimento.

As regiões tropicais têm enfrentado intensa degradação florestal, com atividades antrópicas como o desmatamento e a conversão de áreas naturais, levando à perda de cobertura florestal densa e ao aumento de áreas com solo exposto. De acordo com Jimenez Galo (2016), o uso de tecnologias de sensoriamento remoto, como índices de vegetação e imagens de satélite, tem sido essencial para monitorar e compreender essas transformações, destacando padrões de perda de cobertura florestal em regiões como a Amazônia. Esse desmatamento contínuo, pode favorecer o crescimento de vegetação secundária, que é mais sensível à estiagem (Zutta *et al*., 2023), o que explica as mudanças nos valores de NDVI nas áreas antropizadas na Rebio Jaru, assim como o aumento dos valores de TST.

A Rebio Jaru, uma Unidade de Conservação de grande extensão em Rondônia, apresenta valores elevados de NDVI, o que contribui para um efeito de resfriamento local, conforme observado nos resultados de Lin *et al*. (2015). Por outro lado, Tabassum *et al*. (2023) revelam que, entre 2000 e 2020, cerca de 25% da área da floresta amazônica sofreu um aumento na TST devido à conversão para uso agrícola. A maior TST registrada foi em áreas de solo exposto, enquanto a menor foi em áreas de floresta intacta.

Outros estudos indicam que a TST não é determinada apenas pela vegetação, mas também pela presença de água e pela cobertura superficial impermeável (Chang *et al*., 2014). Além disso, é importante considerar a capacidade fotossintética do crescimento florestal, pois, dependendo da idade, há um aumento gradual de NDVI nas primeiras décadas (Tang *et al*., 2014).

As correlações negativas observadas entre a TST e o NDVI na área de estudo indicam que, quanto maior a temperatura da superfície, menor a cobertura vegetal ou biomassa (Tan *et al*., 2010). Mohiuddin e Mund (2024) analisaram tendências globais do NDVI e sua relação com fatores climáticos, observando uma correlação negativa significativa entre a TST e o NDVI. Os resultados indicam que o aumento da temperatura da superfície terrestre está associado à redução da densidade vegetal. Além disso, a análise temporal revela que, em florestas tropicais, temperaturas mais altas durante estiagens reduzem os valores de NDVI (Cao *et al*., 2020).

Os presentes resultados se assemelham ao trabalho de Reis (2021), que identificou um aumento significativo da TST a partir de 2011, com os maiores picos ocorrendo a partir de 2020, no município de Ji-Paraná, onde situa-se a Rebio Jaru.

Embora a correção atmosférica completa não tenha sido aplicada, os resultados obtidos apresentaram coerência com padrões esperados para áreas com diferentes níveis de vegetação e pastagem. Guo *et al*. (2020) mostraram que, em condições similares, o erro médio absoluto na estimativa da TST permaneceu abaixo de 1 K (equivalente a 1 °C para fins comparativos) mesmo sem perfis atmosféricos completos, desde que fossem utilizadas imagens livres de nuvens e com emissividade estimada adequadamente. Além disso, Meneses e De Almeida (2019) destacam que, do ponto de vista físico, a emissividade espectral de um objeto tende a se aproximar da sua absortância, sendo válida a suposição de transmitância atmosférica nula na faixa do infravermelho térmico, especialmente em aplicações que utilizam o NDVI para estimar emissividade sob condições atmosféricas controladas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidencia como a antropização, manifestada principalmente pelo avanço das pastagens e outras alterações no uso do solo, influencia significativamente a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Reserva Biológica do Jaru. Observou-se que a redução da cobertura vegetal e a expansão das áreas de solo exposto, diretamente relacionadas à ação antrópica, resultaram em um aumento progressivo da TST e uma redução do NDVI, com valores inversamente proporcionais registrados de 2001 a 2023.

A análise multitemporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) demonstrou uma redução expressiva da vegetação densa e o avanço de áreas com vegetação rala e solo exposto, especialmente a partir de 2011, refletindo o impacto direto das atividades antrópicas nas zonas de amortecimento e até mesmo em áreas internas da unidade.

Apesar da ausência de correção da transmitância atmosférica, a abordagem utilizada, com imagens de céu limpo e estimativa da emissividade via NDVI, foi considerada compatível com as características tropicais de baixa altitude e alta umidade da área de estudo. Para futuras etapas, propõe-se a incorporação de perfis atmosféricos, de forma a permitir uma análise comparativa e a validação mais robusta dos resultados obtidos.

A pesquisa também evidencia que mesmo áreas oficialmente protegidas, como a Rebio Jaru, estão vulneráveis às pressões antrópicas, o que exige maior atenção à zona de amortecimento. Portanto, torna-se indispensável o fortalecimento da gestão territorial e ambiental integrada, com ênfase em políticas públicas de proteção da biodiversidade, controle do uso do solo e enfrentamento do desmatamento. Essas ações são essenciais para assegurar a resiliência dos ecossistemas amazônicos frente às crescentes mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A. **Estatística aplicada à administração e economia**. 2. ed. São Paulo: Thomson, 2007. p. 127–128.

ANDRONIS, V. *et al.* **Time-series analysis of Landsat data to investigate the relationship between land surface temperature and forest changes in Pafos Forest, Cyprus**. *Remote Sensing*, Basel, v. 14, n. 4, art. 1010, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14041010. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/14/4/1010. Acesso em: 14 fev. 2024.

AYANLADE, A.; AIGBIREMOLEN, M. I.; OLADOSU, O. R. **Variations in urban land surface temperature intensity over four cities in different ecological zones**. *Scientific Reports*, Londres, v. 11, p. 20537, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-99693-z. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-021-99693-z. Acesso em: 11 fev. 2024.

BEIROZ, H. **Zonas de amortecimento de Unidades de Conservação em ambientes urbanos sob a ótica territorial: reflexões, demandas e desafios**. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 35, p. 275–286, dez. 2015. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v35i0.38253. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/made/article/download/38253/27100. Acesso em: 21 fev. 2024.

BERNALES, A. M. *et al.* **Modelling the relationship between land surface temperature and landscape patterns of land use land cover classification using multi linear regression models**. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Hannover, v. XLI-B8, p. 851–857, 2016. DOI: https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-851-2016. Disponível em: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLI-B8/851/2016/isprs-archives-XLI-B8-851-2016.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema Hidrotelemetria: Estação Fluviométrica Ji-Paraná (Código 15560000)**. [S.l.]: ANA, [s.d.]. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria. Acesso em: 17 dez. 2023.

BRASIL. **Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 11 jan. 2025.

CARLSON, T. N.; RIPLEY, D. A. **On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index**. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdã, v. 62, n. 3, p. 241–252, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425797001041. Acesso em: 12 fev. 2024.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors**. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdã, v. 113, n. 5, p. 893–903, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709000169?via%3Dihub. Acesso em: 12 fev. 2024.

CHANG, C.-R.; LI, M.-H. **Effects of urban parks on the local urban thermal environment**. *Urban Forestry & Urban Greening*, Jena, v. 13, n. 4, p. 672–681, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866714000922?via%3Dihub. Acesso em: 13 fev. 2024.

DE WINTER, J. C. F.; GOSLING, S. D.; POTTER, J. P. **Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: a tutorial using simulations and empirical data**. *Psychological Methods*, Washington, v. 21, n. 3, p. 273–290, 2016. DOI: https://doi.org/10.1037/met0000079. Disponível em: https://doi.org/10.1037/met0000079. Acesso em: 13 fev. 2024.

DEFRIES, R. S.; ROSENZWEIG, C. **Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v. 107, n. 46, p. 19627–19632, 2010. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1011163107. Disponível em: https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1011163107. Acesso em: 13 fev. 2024.

DENG, Y. *et al.* **Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area**. *Scientific Reports*, Londres, v. 8, art. 641, 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-19088-x. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-017-19088-x. Acesso em: 11 fev. 2024.

DOUGHTY, C. E. *et al.* **Tropical forest leaves may darken in response to climate change**. *Nature Ecology & Evolution*, Londres, v. 2, n. 12, p. 1918–1924, 2018. DOI: https://doi.org/10.1038/s41559-018-0716-y. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41559-018-0716-y. Acesso em: 11 fev. 2024.

FEARNSIDE, P. M. **Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina**. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 10, n. 1, p. 119–132, mar. 1980. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-43921980101119. Disponível em: https://www.scielo.br/j/aa/a/YWPYXhYpvXzhppqfmVFYZRh/pdf/. Acesso em: 11 fev. 2024.

GALLO, K.; KRISHNAN, P. **Evaluation of the bias in the use of clear sky compared with all sky observations of monthly and annual daytime land surface temperature**. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Boston, v. 61, n. 10, p. 1485–1495, 2022. DOI: https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0240.1. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/61/10/JAMC-D-21-0240.1.xml. Acesso em: 12 fev. 2024.

GOMES, J. *et al.* **Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na amazônia: quais as implicações no microclima da região?** *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 17, p. 67–81, 2015. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42879. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42879. Acesso em: 12 fev. 2024.

GUHA, S.; GOVIL, H. **Annual assessment on the relationship between land surface temperature and six remote sensing indices using Landsat data from 1988 to 2019**. *Geocarto International*, Abingdon, England, v. 37, n. 15, p. 4292–4311, 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1886339. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10106049.2021.1886339. Acesso em: 14 fev. 2024.

GUHA, S.; GOVIL, H. **Temperatura da superfície terrestre e relação do índice de vegetação por diferença normalizada: um estudo sazonal em uma cidade tropical**. *SN Applied Sciences*, Cham, v. 2, art. 1661, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s42452-020-03458-8. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-03458-8. Acesso em: 21 mar. 2024.

GUO, J. *et al.* **Evaluation of land surface temperature retrieval from Landsat 8/TIRS images before and after stray light correction using the SURFRAD dataset**. *Remote Sensing*, Basel, v. 12, n. 6, art. 1023, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12061023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/1023. Acesso em: 16 fev. 2024.

JIMENEZ GALO, A. J. **Monitoring of tropical forest cover with remote sensing**. In: PANCEL, L.; KÖHL, M. (org.). *Tropical Forestry Handbook*. Berlin: Springer, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_145-2. Disponível em: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-41554-8_145-2. Acesso em: 15 fev. 2024.

KAPOS, V. **Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon**. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 5, n. 2, p. 173–185, 1989. DOI: https://doi.org/10.1017/S0266467400003448. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/abs/effects-of-isolation-on-the-water-stat

us-of-forest-patches-in-the-brazilian-amazon/C823177158512F09A4FE56FE3576700A. Acesso em: 11 fev. 2024.

KHANNA, J. *et al.* **Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation**. *Nature Climate Change*, Londres, v. 7, p. 200–204, 2017. DOI: https://doi.org/10.1038/nclimate3226. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nclimate3226. Acesso em: 11 fev. 2024.

JUSTINA, E. E. D. **Zoneamento geoambiental da Reserva Biológica do Jaru e zona de amortecimento – RO, como subsídio ao seu plano de manejo.** 2009. 225 f. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2009. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102891. Acesso em: 13 fev. 2024.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. 172 p. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/28276/R%20-%20T%20-%20LUCIANA%20LEAL.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acesso em: 12 fev. 2024.

LEITE-FILHO, A. T.; SOARES-FILHO, B. S.; DAVIS, J. L. **Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon.** *Nature Communications*, Londres, v. 12, art. 2591, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41467-021-22840-7. Acesso em: 14 fev. 2024.

LIAN, X. *et al.* **Biophysical impacts of northern vegetation changes on seasonal warming patterns**. *Nature Communications*, Londres, v. 13, art. 3925, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-31671-z. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41467-022-31671-z. Acesso em: 21 mar. 2024.

LIN, W. *et al.* **Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test**. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdã, v. 134, p. 66–75, fev. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614002448. Acesso em: 10 fev. 2024.

MENESES, P. R.; DE ALMEIDA, T.; DE MELLO BAPTISTA, G. M. **Fundamentos de espectrorradiometria**. In: MENESES, P. R.; DE ALMEIDA, T.; DE MELLO BAPTISTA, G. M. *Reflectância dos materiais terrestres*. Oficina de Textos, 2019. p. 11–38. eISBN 978-85-7975-319-0. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=maSWDwAAQBAJ&pg=PT5. Acesso em: 3 jan. 2025.

MILAN, A. E.; MORO, R. S. **O conceito biogeográfico de ecótono**. *Terr@ Plural*, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 75–88, 2016. DOI: https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.10i1.0006. Disponível em: https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/9667. Acesso em: 10 fev. 2024.

MINATTI, E. *et al.* **Mutli-temporal analysis of satellite and NDVI images in a conservation unit**. *Research, Society and Development*, [S.l.], v. 12, n. 4, e1112440839, 2023. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40839. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/40839. Acesso em: 12 fev. 2024.

MOHIUDDIN, G.; MUND, J.-P. **Spatiotemporal analysis of land surface temperature in response to land use and land cover changes: a remote sensing approach**. *Environmental Science Proceedings*, [S.l.], v. 29, n. 1, p. 15, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/ECRS2023-15836. Disponível em: https://www.mdpi.com/2673-4931/29/1/15. Acesso em: 12 fev. 2024.

MOREIRA, F. S. DE A.; VITORINO, M. I. **Relação de áreas verdes e temperatura da superfície para cidade de Belém**. *Papers do NAEA*, Belém, v. 26, n. 1 (edição 369), p. 1–25, 2017. DOI: https://doi.org/10.18542/papersnaea.v26i1.12145. Disponível em: https://periodicos .ufpa.br/index.php/pnaea/article/download/12145/8355. Acesso em: 12 fev. 2024.

MU, Y.; BIGGS, T. W.; DE SALES, F. **Forests mitigate drought in an agricultural region of the Brazilian Amazon: atmospheric moisture tracking to identify critical source areas**. *Geophysical Research Letters*, Washington, D.C., v. 48, n. 5, p. e2020GL091380, 2021. DOI: https://doi.org/10.1029/2020GL091380. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary .wiley.com/doi/full/10.1029/2020GL091380. Acesso em: 4 jan. 2024.

MUNIZ, R. A. *et al.* **Dinâmica espaço-temporal da temperatura de superfície, extraída do TM/Landsat, na bacia do Corumbataí, SP, utilizando imagens do sensor TM/Landsat**. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 31, n. 2, p. 169–177, 2016. DOI: https://doi.org/10.17224 /EnergAgric.2016v31n2p169-177. Disponível em: https://revistas.fca.unesp.br/index.php /energia/article/view/2051. Acesso em: 13 fev. 2024.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. **Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, v. 32, n. 19, p. 1–39, 2023. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/ rbclima/article/view/16163. Acesso em: 6 jan. 2025.

ORTIZ PINILLA, J.; ORTIZ RICO, A. F. **¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables?** *Comunicaciones en Estadística*, Bogotá, v. 14, n. 1, p. 53–63, 2021. DOI: https://doi.org/10.15332/23393076.6769. Disponível em: https://revistas.usanto tomas.edu.co/index.php/estadistica/article/view/6769. Acesso em: 2 mar. 2024.

PAVÃO, V. M. *et al.* **Temperatura e albedo da superfície por imagens TM Landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 16, p. 169–183, 2015. DOI: https://doi.org/10.5380/ abclima.v16i0.40128. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13812. Acesso em: 13 fev. 2024.

QIN, Y. *et al.* **Forest conservation in Indigenous territories and protected areas in the Brazilian Amazon.** *Nature Sustainability*, Londres, v. 6, p. 295–305, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41893-022-01018-z. Disponível em: https://www.nature.com/ articles/s41893-022-01018-z. Acesso em: 13 fev. 2024.

REIS, W. K. B. **Relação entre uso e ocupação do solo e temperatura de superfície no município de Ji-Paraná, RO**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná. Disponível em: https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3169. Acesso em: 13 jan. 2025.

ROSAS, V.; HOUBORG, R.; MCCABE, M. F. **Sensitivity of Landsat 8 Surface Temperature Estimates to Atmospheric Profile Data: A Study Using MODTRAN in Dryland Irrigated Systems**. *Remote Sensing of Environment*, Basel, v. 9, n. 10, art. 988, 2017. DOI: https://doi.org/10.3390/rs9100988. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/9/10/988. Acesso em: 14 fev. 2024.

SEKERTEKIN, A.; BONAFONI, S. **Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: assessment of different algorithms and emissivity models**. *Remote Sensing*, Basel, v. 12, n. 2, art. 294, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12020294. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/2/294. Acesso em: 14 fev. 2024.

SILVA, P. J. **Uso e ocupação do solo urbano: uma análise dos impactos ambientais nas áreas de dunas no bairro de Felipe Camarão/Natal-RN**. *Holos*, Natal, v. 5, p. 91–103, 2015. DOI: https://doi.org/10.15628/holos.2015.2350. Disponível em: http://www.redalyc.org/pdf/4815/481547288010.pdf. Acesso em: 14 fev. 2024.

SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; PAOLINI, L. **Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5**. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdã, v. 90, n. 4, p. 434–440, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425704000574. Acesso em: 11 fev. 2024.

SOUZA, R. *et al.* **Assessing drought response in the southwestern Amazon forest by remote sensing and in situ measurements**. *Remote Sensing*, Basel, v. 14, n. 7, art. 1733, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/rs14071733. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/14/7/1733. Acesso em: 11 fev. 2024.

TABASSUM, A.; BASAK, R.; SHAO, W. **Exploring the relationship between land use land cover and land surface temperature: a case study in Bangladesh and the policy implications for the global south**. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, Cham, v. 7, art. 25, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s41651-023-00155-z. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s41651-023-00155-z. Acesso em: 11 fev. 2024.

TAN, K. C. *et al.* **Landsat data to evaluate urban expansion and determine land use/land cover changes in Penang Island, Malaysia**. *Environmental Earth Sciences*, Dordrecht, v. 60, p. 1509–1521, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-009-0286-z. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-009-0286-z. Acesso em: 10 fev. 2024.

TANG, J. *et al.* **Steeper declines in forest photosynthesis than respiration explain age-driven decreases in forest growth**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, D.C., v. 111, n. 24, p. 8856–8860, 2014. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1320761111. Disponível em: https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1320761111. Acesso em: 10 fev. 2024.

TOL, R. S. J. **The Economic Effects of Climate Change**. *Journal of Economic Perspectives*, Pittsburgh, v. 23, n. 2, p. 29–51, spring 2009. DOI: https://doi.org/10.1257/jep.23.2.29. Disponível em: https://www.aeaweb.org/articles? id=10.1257/jep.23.2.29. Acesso em: 10 fev. 2024.

TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. *Remote Sensing of Environment*, Amsterdã, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979. DOI: https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425779900130. Acesso em: 15 fev. 2024.

UNITED STATES. GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 8 Data User's Handbook**. Version 5.0. Sioux Falls: Department of the interior, 2021. Disponível em: https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf. Acesso em: 13 jan. 2025.

WEBLER, A. D. *et al.* **Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 17, n. 8, p. 868–876, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/5vPZRp97mYrCvXqncPJ9VRB/?lang=pt. Acesso em: 15 fev. 2024.

WU, H. *et al.* **Assessing the effects of land use spatial structure on urban heat islands using HJ-1B remote sensing imagery in Wuhan, China**. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Amsterdã, v. 32, n. 1, p. 67–78, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.03.019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414000774. Acesso em: 15 fev. 2024.

ZERI, M.; SÁ, L. D. A.; NOBRE, C. A. **Contribution of coherent structures to the buoyancy heat flux under different conditions of stationarity over Amazonian forest sites**. *Atmospheric Science Letters*, Oxford, v. 16, n. 3, p. 228–233, 2015. DOI: https://doi.org/10.1002/asl2.544. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/asl2.544. Acesso em: 17 fev. 2024.

ZHENG, Z. *et al.* **The higher, the cooler? Effects of building height on land surface temperatures in residential areas of Beijing**. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*, Amsterdã, v. 110, p. 149–156, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.02.003. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706518302535. Acesso em: 17 fev. 2024.

ZHOU, W.; CAO, F. **Effects of changing spatial extent on the relationship between urban forest patterns and land surface temperature**. *Ecological Indicators*, Amsterdã, v. 109, art. 105778, fev. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105778. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19307721. Acesso em: 17 fev. 2024.

ZUTTA, B. *et al.* **Satellite-derived forest canopy greenness shows differential drought vulnerability of secondary forests compared to primary forests in Peru**. *Environmental Research Letters*, Bristol, v. 18, n. 6, art. 064004, 2023. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc8ea. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acc8ea. Acesso em: 17 fev. 2024.