ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS
SÃO PAULO

Boletim Paulista de Geografia

ISSN: 0006-6079 - e-ISSN: 2447-0945

Artigo

Mapeamento da temperatura superficial terrestre (TST) associada ao uso e cobertura da terra na Área de Influência Indireta (AII) do Porto Sul, Bahia

JOÃO GABRIEL DE MORAES PINHEIRO
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC
jgmpinheiro.bge@gmail.com

GIL MARCELO REUSS STRENZEL
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC
gmrstrenzel@uesc.br

Boletim Paulista de Geografia
N°: 113
Ano: 2025

Pinheiro, João Gabriel de Moraes; STRENZEL, Gil Marcelo Reuss. Mapeamento da temperatura superficial terrestre (TST) associada ao uso e cobertura da terra na área de influência indireta (AII) do Porto Sul, Bahia. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 113, p. 143–166, 2025. https://doi.org/10.61636/bpg.v1i113.3550.

Recebido em: 17 de julho de 2024
Aceito para publicação em: 10 de fevereiro de 2025

Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional.

Mapeamento da temperatura superficial terrestre (TST) associada ao uso e cobertura da terra na Área de Influência Indireta (AII) do Porto Sul, Bahia

Resumo

O presente trabalho possui objetivo de compreender como as mudanças nas formas de uso e cobertura da terra e os impactos resultantes da implementação do empreendimento portuário Porto Sul localizado no distrito de Aritaguá II, zona norte do município de Ilhéus, Bahia, afetam a dinâmica da Temperatura Superficial Terrestre na sua Área de Influência Indireta (AII). Dessa forma, para a implementação do Porto Sul, a área total de vegetação a ser suprimida na Área Diretamente Afetada (ADA) é de 576,87 hectares, sendo o material lenhoso total suprimido de 187.818.40 m3. Para isto, foram utilizadas as imagens do produto SLSTR do satélite Sentinel -3, entre os anos de 2018 a 2023. Assim, foi possível estimar que no ano de 2023 na AII do Porto Sul foi registra a maior temperatura de 40,8ºC. Os anos de 2020 e 2021 apresentaram as menores temperaturas em função do fenômeno da La Niña, que provocou um grande índice pluviométrico, deixando a superfície mais úmida. Correlacionando as variáveis formação florestal, áreas antropizadas e temperatura, constatou-se que à medida em que a área florestal diminui e a área antropizada aumenta, proporcionalmente a temperatura também aumenta. Destarte a presença dos parques estaduais e da reserva biológica contribuíram substancialmente para as menores temperaturas, sendo um indicativo da conservação florestal.

Palavras-chave: Empreendimento Portuário; Sensoriamento Remoto; Sentinel-3; Albedo.

Mapping of land surface temperature (LST) associated with land use and coverage in the area of indirect influence (AII) of Porto Sul, Bahia

Abstract

The present work aims to understand how changes in the forms of land use and coverage and the impacts resulting from the implementation of the Porto Sul port project located in the district of Aritaguá II, northern zone of the municipality of Ilhéus, Bahia, are affected by temperature dynamics Land Surface in its Area of Indirect Influence (AII). Therefore, for the implementation of Porto Sul, the total area of cultivation to be suppressed in the Directly Affected Area (ADA) is 576.87 hectares, with the total woody material removed being 187,818.40 m3. For this, images from the SLSTR product of the Sentinel -3 satellite were used, between the years 2018 and 2023. Thus, it was possible to estimate that in the year 2023, a temperature greater than 40.8ºC was recorded in the Porto Sul AII. The years 2020 and 2021 presented lower temperatures due to the manifestation of La Niña, which caused a large rainfall, leaving a wetter surface. Correlating variations in forest formation, disturbed areas and temperature, it was found that as the forest area decreases and the disturbed area increases, the temperature also increases in proportion. Of particular note is the presence of state parks and biological reserves developed substantially for lower temperatures, being an indication of forest conservation.

Keywords: Port Development; Remote Sensing; Sentinel-3; Albedo.

Introdução

As geotecnologias configuram-se como um conjunto de tecnologias com o objetivo de entrada, coleta, armazenamento, processamento e disponibilização de dados que possuem referência geográfica. O geoprocessamento, por sua vez, pode ser considerado como um rol de atividades e pode ser conceituado como uma coleção de métodos e técnicas teóricas, relacionados com a entrada, o armazenamento e o processamento de dados geográficos, com o objetivo de gerar novos dados e/ou informações espaciais ou georreferenciadas (ZAIDAN, 2017). Como um todo, essas tecnologias possuem a capacidade de subsidiar diversos estudos de planejamento e monitoramento ambiental. A análise de imagens de satélite possibilita estudar e monitorar eventos passados, bem como a evolução de fenômenos no espaço e sua inter-relação com o meio natural e antropogênico (IBRAHIM, 2014). Os diversos satélites permitem armazenar todas as imagens e produtos ao longo do período em que o satélite esteve em órbita (IBRAHIM, 2014). Dessa forma, é possível realizar diversas análises espaciais, como o monitoramento da vegetação, uso e cobertura da terra, mensuração dos impactos aos recursos hídricos, planejamento e ordenamento territorial, entre outros (SILVA; ZAIDAN, 2007).

Neste sentido, os grandes impactos causados pela implantação de empreendimentos, como mineração, agronegócio e instalação portuária, são severos e seus impactos podem ocorrer de diversas formas, transcendentais às transformações diretas e subsequentes de uso do território (SOARES et al., 2019), e podem ser estudados através das geotecnologias. Mesmo com o combate ao desmatamento, a conservação ambiental configura-se atualmente como uma das prioridades das políticas ambientais do Brasil, conforme preconizado pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Muitos setores da sociedade ainda enfrentam um trade-off entre a preservação das florestas nativas e biomas, e o desenvolvimento econômico e empresarial, principalmente devido ao sistema capitalista (BRASIL, 1981; SOARES et al., 2019).

O desmatamento florestal, preconizado atualmente como um grave problema ambiental, tem como consequência a perda de biodiversidade e produtividade agrícola, a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e contribui para a perda da qualidade de vida humana (SOARES et al., 2019). Dentro desse contexto, a PNMA, assim como outras políticas públicas ambientais, tem o objetivo primário de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental favorável, visando assegurar o desenvolvimento socioeconômico (BRASIL, 1981). Destaca-se que o desmatamento contribui para a emissão de GEE, como o CO2, que fica armazenado nas árvores. Uma boa parte desse carbono anteriormente armazenado é lançado na atmosfera por meio do desmatamento. Este, por sua vez,

é reabsorvido pelas florestas secundárias; contudo, gases como metano (CH4) e óxido nitroso (NO2) não são absorvidos integralmente pela vegetação (SOARES et al., 2019).

Entende-se por TST a força motriz direta na troca de radiações de ondas espectrais longas e fluxo de calor que ocorre através da interface superfície-atmosfera (LI et al., 2013). A TST configura-se como um dos parâmetros mais importantes nos processos físicos de energia de superfície e balanço hídrico. Além disso, o conhecimento da TST fornece informações temporais e espaciais acerca do estado de equilíbrio da temperatura da superfície, sendo de fundamental importância, com aplicações variadas (LI et al., 2013). Devido à sua grande importância, a TST possui uma gama de aplicações, a saber: i) evapotranspiração, ii) mudanças climáticas, iii) ciclo hidrológico, iv) monitoramento da cobertura vegetal, v) clima urbano e vi) meio ambiente. Em âmbito mundial, o estudo da TST tem demonstrado grande eficiência, sendo considerado um parâmetro de alta prioridade pelo programa internacional Geosfera e Biosfera (IGBP) (TOWNSHEND et al., 1994). O que configura esse caráter de eficiência da TST é o fato de que ela capta a heterogeneidade das características da superfície terrestre, como vegetação, topografia, geomorfologia e solo exposto (LI et al., 2013).

O Porto Sul é um empreendimento portuário constituído por um Porto Público (PU) e um Terminal de Uso Privativo (TUP), sendo o primeiro destinado para a movimentação de cargas diversas e o segundo destinado à exportação de minério de ferro da BAMIM. Devido à alta quantidade de relevo plano, condições batimétricas favoráveis, bem como outras características naturais, a área escolhida para a implementação do empreendimento foi a Vila de Juerana, no distrito de Aritaguá II, na zona norte de Ilhéus (HYDROS, 2011b).

De acordo com os dados explicitados no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (HYDROS, 2011b), o distrito de Aritaguá II possui 4,83 mil hectares e foi decretado como zona de utilidade pública, conforme preconizado pelo Decreto 12.724 de 11 de abril de 2011 (BAHIA, 2011). Esse decreto estadual autoriza a desapropriação com o objetivo de implantar o empreendimento portuário Porto Sul, na margem esquerda da rodovia BA-001, no sentido Ilhéus-Itacaré. Em contrapartida, a área da Ponta da Tulha, que seria usada anteriormente para a implementação desse Porto, foi decretada como Área de Proteção Ambiental (APA) para proteção de ecossistemas naturais.

Para a implementação do empreendimento Porto Sul foi escolhido o distrito de Aritaguá, na zona norte de Ilhéus. De acordo com os dados disponíveis no Programa de Supressão de Vegetação (PSV), a área total de vegetação a ser suprimida na Área Diretamente Afetada (ADA) é de 576,87 hectares,

sendo o material lenhoso total suprimido de 187.818,40 m³. Dentro das classes de fitofisionomia que serão suprimidas na ADA, as principais classes são: cabruca, floresta ombrófila e restinga, todas em estágio inicial de regeneração (HYDROS, 2015).

Para a execução da TUP, será suprimida a vegetação de catorze áreas, já para a implementação do PU, doze áreas serão suprimidas. A elaboração do PSV considerou três leis federais, dois decretos e três instruções normativas, sendo estas últimas elaboradas pelo Instituto Nacional de Meio Ambiente (IBAMA) (HYDROS, 2011c). Mesmo com o aparato legislativo, a supressão vegetal tem a capacidade de alterar as condições da temperatura superficial à medida que o albedo também é alterado. Entende-se por albedo a razão entre o fluxo de radiação refletido por uma superfície em todas as direções e o fluxo incidente sobre a mesma (KUSHARI; KONITPONG, 2011; QUERINO et al., 2013).

Além disso, a utilização de satélites para estimar a temperatura configura-se como uma tecnologia recente, confiável e eficaz nas análises físicas, uma vez que dados meteorológicos, como os de temperatura do ar, por exemplo, possuem capacidade limitada devido à heterogeneidade de grandes áreas (BENALI et al., 2012). Neste contexto, surgiu a necessidade de criar modelos a partir das imagens de satélites para obter informações espaciais, principalmente informações de TST.

Neste escopo, o presente trabalho tem o objetivo de analisar as possíveis alterações ao longo de uma sequência histórica na TST da AII do Porto Sul. Diante do panorama de supressão da vegetação, surge o seguinte problema: como as mudanças nas formas de uso e cobertura da terra e os impactos resultantes da implementação do Porto Sul afetam a dinâmica da temperatura superficial terrestre, podendo provocar mudanças nos âmbitos econômico, social e ambiental?

Para isso, é correlacionado o uso e ocupação da terra pretérito e atual, com a supressão de vegetação preconizada no PSV e com o aumento da TST. Dessa forma, este panorama permitirá entender como a temperatura superficial vem se comportando e as projeções futuras frente à implementação do Porto e seus possíveis impactos na temperatura. A implantação do Porto Sul, no Sul da Bahia, causa impactos nos meios físico, biótico e antrópico. Especificamente nos meios físico e biótico, a supressão vegetal, bem como as novas configurações que surgirão no uso e ocupação da terra, causará impactos à temperatura, provocando uma resposta climática própria. Neste sentido, o sensoriamento remoto é imprescindível para o fornecimento de dados multiespectrais e multitemporais, sendo valioso para o monitoramento e entendimento dos padrões e processos de evolução e desenvolvimento da terra e da temperatura (MUMTAZ et al., 2020). O sensoriamento

remoto, bem como seus produtos, fornece a possibilidade de monitorar as mudanças na TST em alta resolução espacial e temporal.

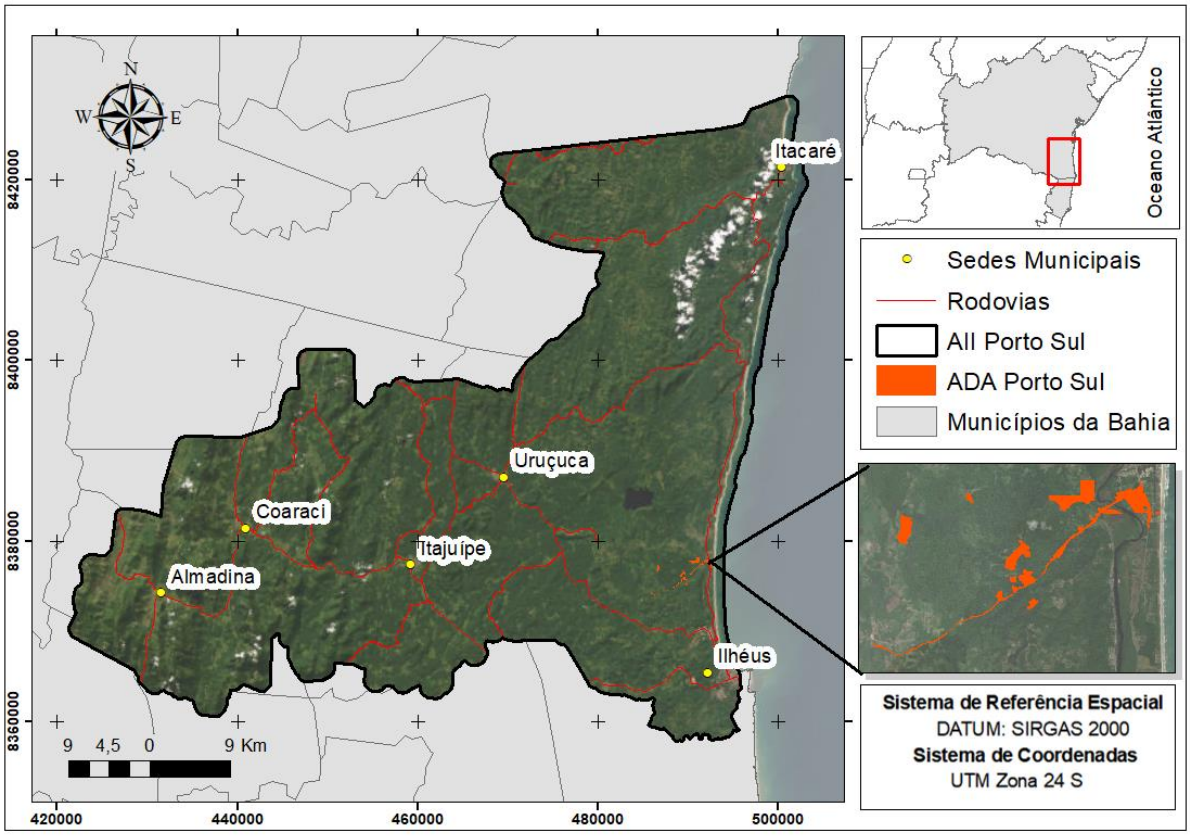
As análises espaço-temporais desta pesquisa envolvem a caracterização e estudos da temperatura em áreas de grande proeminência para o desenvolvimento regional. Em face deste cenário atual, algumas pesquisas sobre TST foram desenvolvidas, porém, sem a aplicação em contexto regional e para mensuração de impactos causados por empreendimentos em uma área de influência maior.

Materiais e métodos

Característica da área de estudo

A AII possui uma área total de 2.949,87 km^2, contemplando os municípios de Ilhéus, Itacaré, Uruçuca, Coaraci, Almadina e Itajuípe (**Figura 1**). Segundo o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), do Complexo Intermodal Porto Sul surge como um projeto de um possível desenvolvimento na esfera municipal, estadual e federal. Inicialmente, o minério de ferro explorado nas minas do município de Caetité, no sudoeste baiano, seria transportado para um Terminal de Uso Privativo (TUP) a ser instalado na baía de Camamu. Todavia, a Bahia Mineração (BAMIM) junto ao Governo do Estado da Bahia reformularam a logística antiga que consistia na implementação de um mineroduto e adotaram a logística de adoção do modal ferroviário a ser implementado no estado de Tocantins até o litoral Sul da Bahia, sendo neste caso o município de Ilhéus, surgindo o projeto da Ferrovia de Integração Oeste Leste (FIOL). O empreendimento portuário a ser instalado em Ilhéus passou a ser denominado de Porto Sul (HYDROS, 2011a).

Figura 1. **Mapa de localização da AII do Porto Sul, no sul da Bahia.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No que concerne às características sociodemográficas, de acordo com o censo demográfico realizado pelo IBGE (2010), a população total dos municípios que compõem a AII era de 281.420 habitantes. Os cinco municípios que compõe a AII possuíam na média, um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,609 para o ano de 2010. Todavia, segundo os dados de dezembro de 2022, a população dessa área é de 289.829 habitantes (IBGE, 2022).

Relativo às condições climáticas, segundo a classificação de Köppen-Geiger, 90% da área de estudo possui a tipologia climática Af, enquanto que em direção ao continente é possível encontrar as classificações Am e Aw. De maneira geral, a classificação A de Köppen-Geiger é referente ao clima tropical, que neste caso a região possui pluviosidade superior a 700 mm, podendo ultrapassar 2.000 mm nas áreas litorâneas, com temperatura de média anual de 24ºC. Na área de estudo também é possível encontrar a tipologia Cfa, típica de regiões temperadas. Essa classificação, em específico na área de estudo, está relacionada com as altas altitudes.

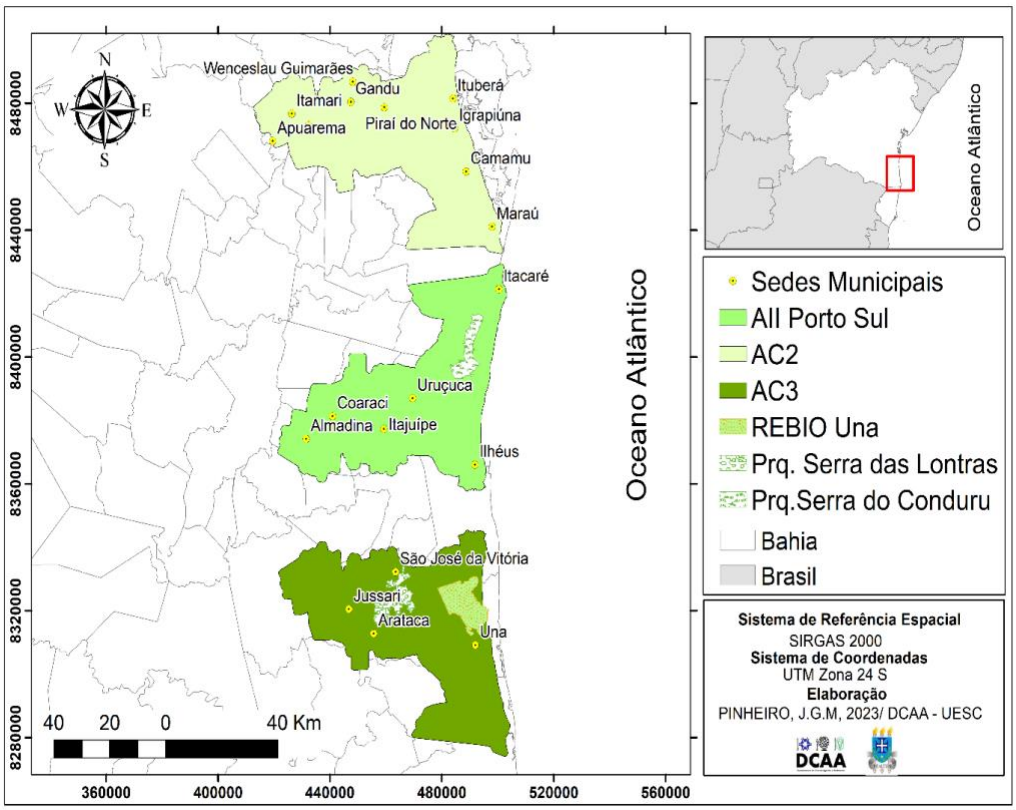
A AII está inserida completamente no bioma Mata Atlântica, mais especificamente na região fitoecológica da floresta ombrófila densa, no domínio Morfoclimático dos Mares de Morros. Este bioma possui uma grande diversidade, sendo composto por vários ecossistemas florestais e não-

florestais, classificados de acordo com critérios botânicos, fisionômicos, geográficos e geológicos. Além disso, a Mata Atlântica é responsável pela regulação dos mananciais hídricos e promoção da fertilidade dos solos (BATALHA-FILHO; MIYAKI, 2011).

A AII de um empreendimento é delimitada entorno da Área de Influência Direta (AID). No caso do Porto Sul, de acordo com informações explicitadas no RIMA, para a sua determinação se considerou a ampliação dos trechos das bacias hidrográficas dos rios Almada e Iguape, as regiões de matas preservadas, atividades pesqueiras e fluxo de habitantes entre esses municípios.

Visando comparar a variação da TST, além do monitoramento temporal da AII do Porto Sul, também foram escolhidas outras duas áreas de mesmo tamanho da AII (2.949,87 km^2), com o objetivo de monitorar possíveis mudanças nos padrões de temperatura. As áreas estão localizadas uma ao norte e outra ao sul da AII, denominadas de Área de Controle 1 (AC 1) e Área de Controle 2 (AC 2), respectivamente (**Figura 2**).

Figura 2. Localização da AII do Porto e das Unidades de Gerenciamento



Fonte Elaborado pelos autores, 2023.

Nessas áreas monitoradas estão contempladas áreas que possuem o potencial de alteração da temperatura devido a concentração de fragmento de vegetação florestal, essas áreas são

denominadas de zonas de alteração. Na AII está presente a zona de alteração do Parque Estadual da Serra do Conduru, no município de Uruçuca e na AC 2 está presente a Reserva Biológica de Una (REBIO Una) e o Parque Estadual da Serra das Lontras.

Metodologia

Para a determinação da TST, a metodologia adotada foi a preconizada por Becker e Li (1990) e Garcia (2021). Além disso, para o processamento do algoritmo *Split-window* foram seguidos os processamentos padrões do produto SLSTR do Sentinel-3, descritos por Remedios e Emsley (2012).

Para a realização desta pesquisa, foram coletados dados do produto SLSTR do satélite Sentinel-3, bem como os dados de uso e ocupação da terra do MapBiomas (2023). Após a coleta e cálculos de alguns dados, eles foram organizados e compilados em uma planilha para posterior análise de sua consistência.

Coleta dos dados

Para determinar a TST da AII do Porto Sul foi utilizado o produto SLSTR do Sentinel-3. A coleta de dados deste produto ocorreu por meio da plataforma do *Copernicus Service Data Hub*, com acesso instantâneo e disponibilizado pela ESA[1].

Ao acessar o *Copernicus Service Data Hub*, a coleta das imagens consistiu em inserir a variável *sensing date* no filtro de busca e a variável data (de 2018 até 2023). O período escolhido para a pesquisa se justifica pela disponibilidade das imagens de satélite, haja visto que o Sentinel-3 entrou em atividade no ano de 2016, logo, imagens anteriores a 2018 se encontram danificadas. A missão escolhida foi Sentinel-3, o tipo de produto SL_2_LST, e como instrumento o SLSTR no nível do produto L2. Como parâmetro de coleta também foi escolhida a cobertura de nuvens menor que 10%.

Procedimentos técnicos-operacionais

Uso e cobertura da terra

Para se obter os dados de uso e cobertura da terra foram utilizados os dados oriundos da coleção 6 e 7 do MapBiomas. O MapBiomas é uma iniciativa do Observatório do Clima, sendo que seu objetivo principal é o mapeamento anual da cobertura e uso da terra do território brasileiro, bem como monitorar mudanças do território (MAPBIOMAS, 2023). Os dados do MapBiomas estão disponíveis

[1] Esses dados são públicos, acessados por meio de um cadastro simples, e disponibilizados de forma *on-line* e gratuita por meio do *site*: https://cophub.copernicus.eu/dhus/#/home

de maneira gratuita e on-line, com acesso instantâneo por meio do *Google Earth Engine* . Ao acessar essa plataforma, os parâmetros de coleta escolhidos foram: i) região (MapBiomas Brasil), ii) coleções (6 e 7), iii) limite (estado da Bahia) e iii) data (2018 a 2021). Uma vez que as imagens selecionadas, elas são exportadas para o Google Drive disponíveis para download no formato .tiff.

Temperatura da Superfície Terrestre (TST)

O cálculo para a obtenção da TST foi realizado por meio de algoritmos desenvolvidos pela ESA e aplicados oficialmente para o tratamento oficial do produto SLSTR do Sentinel-3. A priori foi realizado o cálculo do *Top of Atmosphere* (TOA) – topo da atmosfera e a *Temperatura Brilliance* (Tb) – brilho de temperatura, no *software* SNAP versão 9.0.0, desenvolvido pela ESA para processamento de imagens das coleções do Sentinel.

Fórmula para o cálculo do TOA e do Tb representado na Equação 1:

$$LST = A_0 + \left(A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}\right) \frac{T_{b11}+T_{b12}}{2} + \left(A_4 + A_5 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_6 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}\right) \frac{T_{b11}+T_{b12}}{2} \quad (1)$$

Onde,

T_{b11} e T_{b12} = representam o brilho de temperatura (Tb) das bandas 8 e 9 do Sentinel-3

ε e $\Delta\varepsilon$ = valores de emissividade média e diferença de emissividade entre as bandas 8 e 9, respectivamente

Outro algoritmo utilizado para a determinação da TST é o *Split-Window* (SW). Esse algoritmo permite abordagem determinística simples, na qual pode ser empregado sem ter que resolver de maneira explícita a equação de transferência radiativa ou ter que inserir perfis atmosféricos externos (HULLEY et al., 2019). Essa abordagem permite calcular a temperatura de superfície dos oceanos e da terra. Dessa forma, foi utilizado o algoritmo SW como o oficial para o processamento da TST do produto SLSTR do Sentinel-3; esse algoritmo que abarca a emissividade da superfície de acordo com a Equação 2:

$$LST = a_{f,i,pw} + a_{b,f,i}\,(T_{11} - T_{12})\cos\frac{1}{m} + \left(b_{f,i} + c_{f,i}\right) \quad (2)$$

Onde,

LST= temperatura da superfície em Kelvin (K)

a, b e c = são coeficientes dependentes de cobertura vegetal e do bioma

T11 e T12 = temperaturas de brilho das bandas 8 e 9 do Sentinel-3, respectivamente

Θ = o ângulo de visão do zênite do satélite

m = é uma variável dependente

O terceiro e último algoritmo SW utilizado no processamento foi o de Price (1984), Equação 3:

$$LST = A_0 + A_1 T_{11} + A_2 (T_{11} - T_{12}) + A_3 T_{11} \varepsilon_{11} + A_4 (T_{11} - T_{12}) (1 - \varepsilon_{11}) + A_5 T_{12} \Delta\varepsilon \quad (3)$$

Onde,

T11 e T12 = representam a temperatura de brilho do Sentinel-3 nas bandas 8 e 9

ε_{11} = é a emissividade da banda 8

Δε = é o valor de a diferença de emissividade entre as bandas 8 e 9

Uma vez os cálculos realizados, é obtida a TST que está no formato NetCDF. Após a execução dos cálculos, a TST foi reprojetada, seguindo as instruções de elaboração dos produtos do Sentinel-3, dessa forma a mesma foi reprojetada para a coordenada geográfica EPSG 4326 (WGS-84). Após a imagem ser reprojetada, foi necessário realizar uma máscara de nuvem para remover resquícios de nuvens, para isso foi utilizado a ferramenta *mask manager* que consistiu na seleção das classes de nuvens e posteriormente foi realizado a remoção.

Ao realizar o processamento, o produto foi exportado do SNAP e aberto no *software* ArcMap 10.8. Para viabilizar o processamento da TST no ArcMap, realizou-se a conversão do arquivo anteriormente no formato NetCDF em um arquivo *raster* no formato .tiff. Com o objetivo de melhorar a qualidade dos pixels da imagem e trabalhar em uma escala maior, transcorreu a realização de uma reamostragem, que consistiu na utilização da ferramenta *resample*, na qual a técnica de reamostragem escolhida foi a bilinear, sendo uma técnica propícia para dados contínuos. Nesse processo, cada lado do pixel foi divido em dez, logo o pixel foi diminuído em 100 vezes.

Ao final do processo se realizou a verificação da variação da temperatura, após a análise a temperatura foram divididas em classes que melhor se adequada ao intervalo de variação. Uma vez que os intervalos de temperatura foram determinados, a imagem teve sua reclassificação de acordo com os intervalos. Essa reclassificação permitiu a análise da temperatura nas classes de uso da terra, bem como o cálculo da área em Km^2.

Análise estatística dos dados

Visando verificar possíveis alterações na temperatura ao longo do período analisado (2018 a 2023), utilizou-se de métodos estatísticos que permitiram auferir padrões e tendência de comportamento

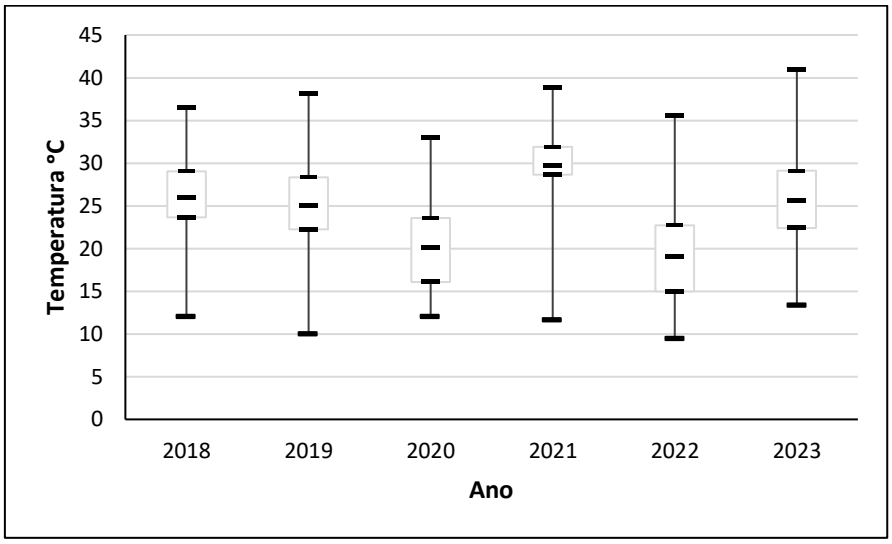
tanto na TST, quanto nas classes de uso e ocupação da terra identificadas nas áreas de estudo. O primeiro método empregado foi análise estatística pelo boxplot, que consistiu na plotagem de dados da TST para elaboração do diagrama de caixa. Entende-se por boxplot uma representação gráfica utilizada para visualizar a distribuição de um conjunto de dados e identificar valores atípicos (*outliers*), é frequentemente usado para resumir as principais características de um conjunto de dados de forma concisa. A utilização do boxplot para análise da variação da temperatura permitiu comparação a variação interquartílica da TST em relação aos anos.

Resultados e Discussão

Análise da variação temporal e espacial da TST

De maneira geral, na AII do Porto Sul, a TST variou de 9,3°C a 40,8°C no período compreendido entre 2018 e 2023. A análise da **Figura 3** constatou uma tendência de aumento não linear da TST ao longo dos anos avaliados.

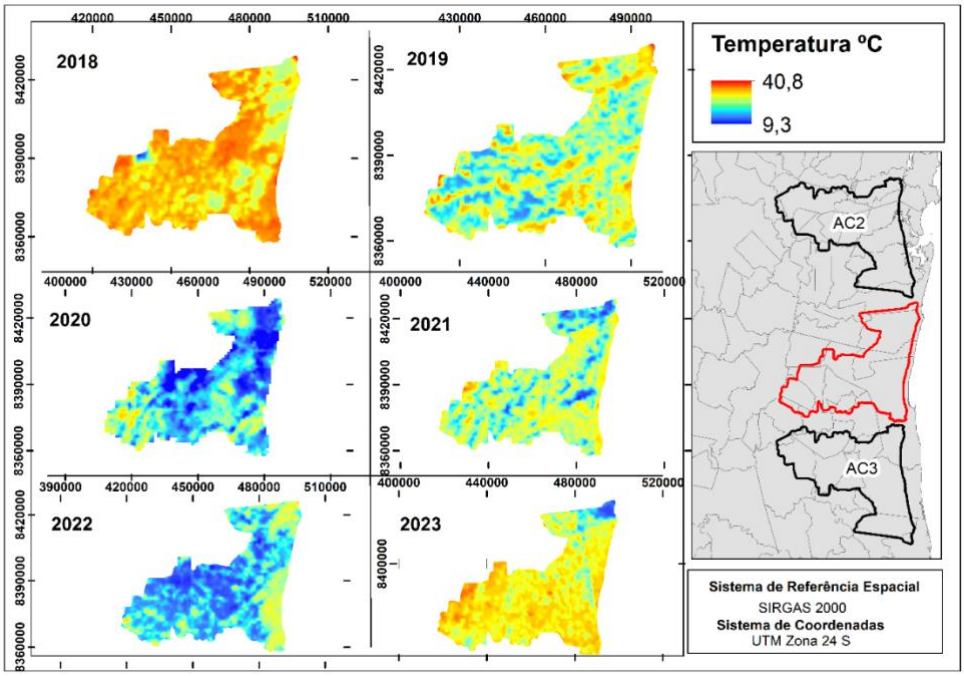
Figura 3. Variação da TST (ºC) entre o período 2018 a 2023 na AII do Porto Sul, Bahia



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

Em 2023, ocorreu o maior pico de temperatura, no qual 25% das amostras estavam no intervalo de 29,1°C a 40,8°C, com valores oscilando, de maneira geral, entre 13,2°C e 40,8°C (± 4,5°C). Todavia, em 2019, registraram-se os menores valores de temperatura, variando de 9,9°C a 38°C (± 4,4°C). Ademais, 2021 foi o segundo ano com os maiores valores de TST, sendo que 25% das amostras estavam no intervalo de 11,5°C a 38,8°C (**Figura 4**).

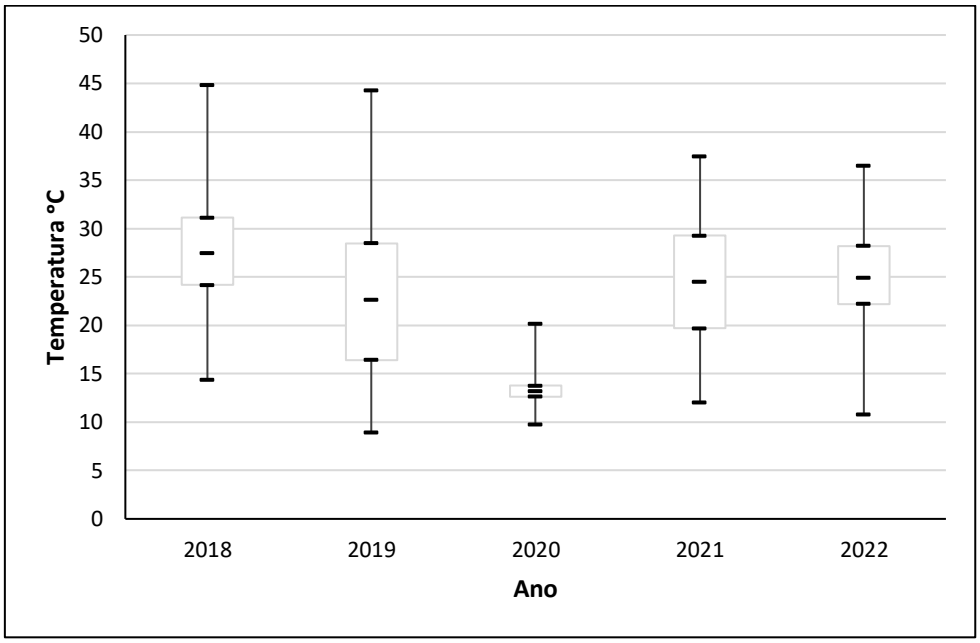
Figura 4. Mapeamento da variação da TST (ºC) entre o período 2018 a 2023 na AII do Porto Sul, Bahia



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Na AC2 (ao norte da AII do Porto Sul), os valores da TST oscilaram de 9,8°C a 45,4°C. A análise da Figura 5 constatou uma tendência de redução da TST ao longo dos anos analisados. Em 2018, ocorreu o maior pico de temperatura, no qual 25% das amostras estavam no intervalo de 31,1°C a 44,8°C, com valores oscilando, de maneira geral, entre 13,2°C e 40,8°C (± 4,4°C). Todavia, em 2021, registraram-se os menores valores de temperatura, variando de 9,7°C a 13,7°C (± 1,0°C)

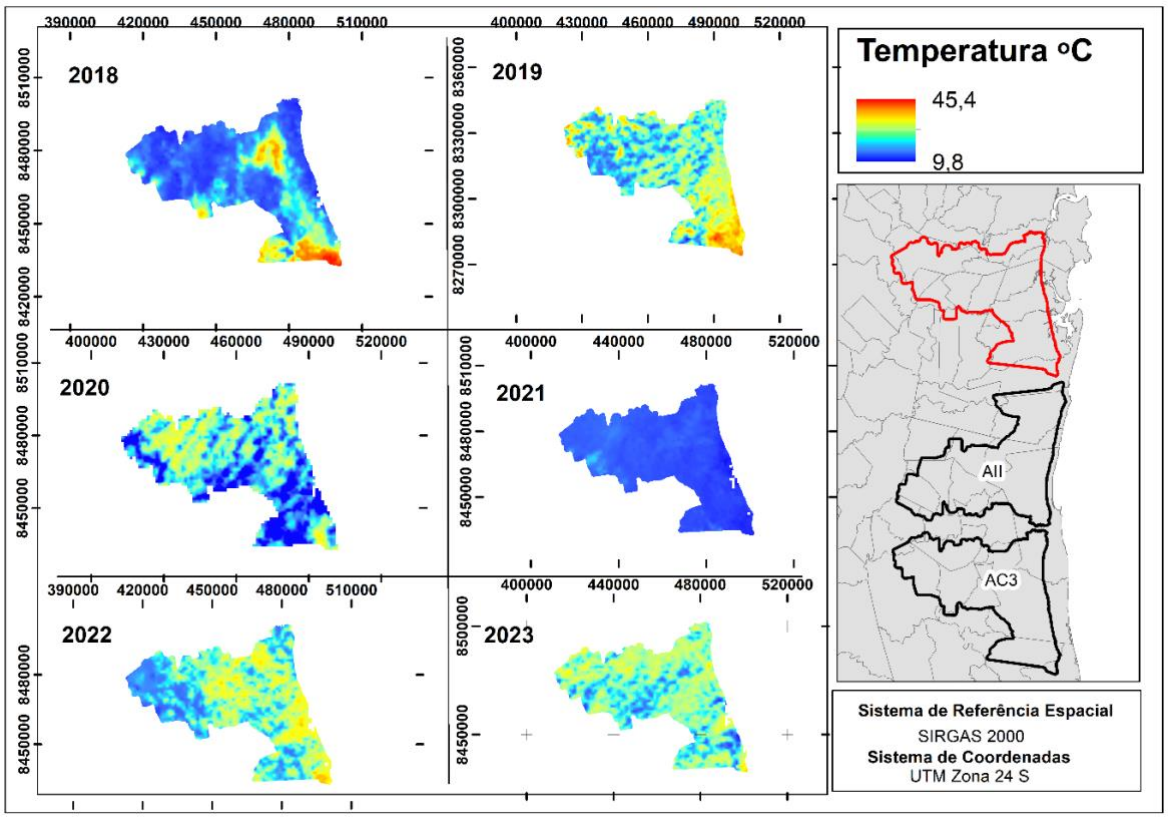
Figura 5. Variação da TST (ºC) entre o período 2018 a 2023 na AC2



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Ademais, no ano de 2020 foi o segundo ano com maiores valores da TST, cujo 25% das amostras estão no intervalo de temperatura de 28, 4 a 44,2ºC (**Figura 6**).

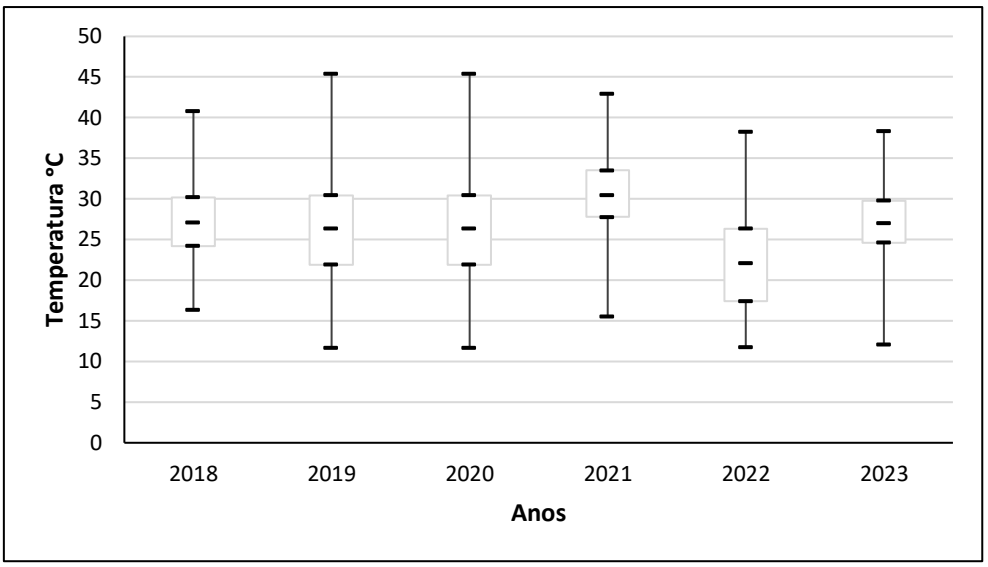
Figura 6. Mapeamento da variação da TST (ºC) entre o período 2018 a 2023 na AC2



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

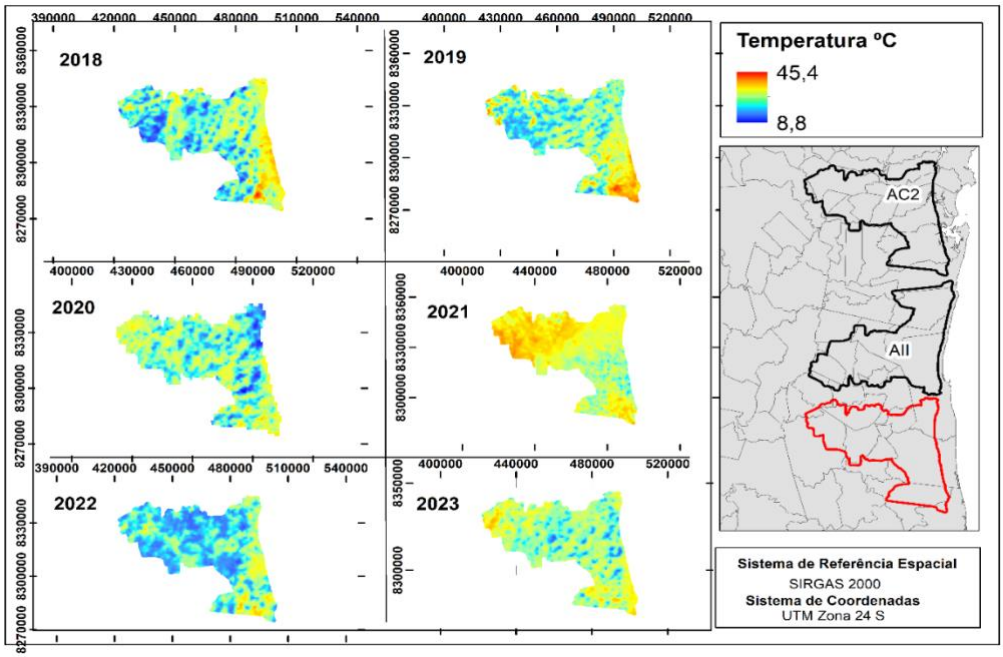
Na AC3 (ao sul da AII do Porto Sul), os valores da TST oscilaram de 8,8°C a 45,4°C. A análise da Figura 7 constatou uma tendência de redução não linear da TST ao longo dos anos analisados. Em 2020, ocorreu o maior pico de temperatura, no qual 25% das amostras estavam no intervalo de 30,4°C a 45,4°C, com valores oscilando, de maneira geral, entre 11,6°C e 45,4°C (± 5,7°C). Todavia, em 2022, registraram-se os menores valores de temperatura, variando de 11,7°C a 38,2°C (± 5,3°C). Ademais, 2023 foi o segundo ano com os maiores valores de TST, sendo que 25% das amostras estavam no intervalo de 12,0°C a 38,3°C **(Figura 8)**.

Figura 7. Variação da TST (ºC) entre o período 2018 a 2023 na AC3



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Figura 8. Mapeamento da variação da TST (ºC) entre o período 2018 a 2023 na AC3



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Comparando a AII do Porto Sul com as áreas de controle monitoradas, a AII foi a única área que apresentou uma tendência de aumento na temperatura ao longo dos seis anos analisados, sendo o maior pico registrado em 2023. As áreas AC2 e AC3, por sua vez, apresentaram tendência de redução da temperatura no período. Todavia, em todas as áreas monitoradas, os menores valores de temperatura foram verificados entre 2021 e 2022, sendo que, em relação à média do período, os valores mínimos de temperatura ocorreram nesse intervalo.

Esse episódio no período de 2021-2022 ocorreu devido ao fenômeno La Niña, que estava em atividade durante esse intervalo. La Niña é um fenômeno meteorológico de larga escala, desencadeado por anomalias de temperatura no Oceano Pacífico e associado à anomalia do Índice de Oscilação Sul (IOS). Nesse sentido, La Niña é caracterizada pelo resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial. Durante a atuação desse fenômeno, há o fortalecimento do anticiclone da Alta Subtropical do Pacífico Sul, que intensifica o transporte de águas oceânicas superficiais frias para o Pacífico Equatorial Central-Oeste, fortalecendo, dessa forma, a célula de Walker (FREIRE et al., 2011).

Uma das consequências de La Niña é a elevação do índice pluviométrico no Nordeste. Dessa forma, o regime de chuvas é alterado pelo resfriamento das águas do Oceano Pacífico e pelas massas de ar. Assim, as baixas temperaturas da TST registradas no período de 2021-2022 estão associadas ao alto índice pluviométrico e à umidade decorrente de La Niña, o que resultou na diminuição da TST e, consequentemente, em uma superfície mais fria.

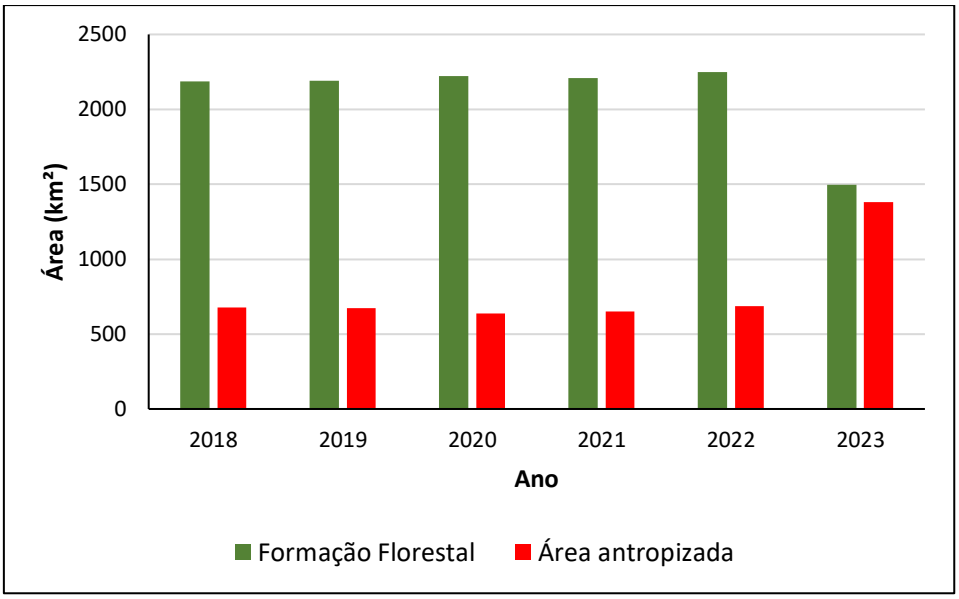
Comutação das classes de uso e ocupação da terra

Ao realizar o processamento e, posteriormente, a análise das classes de uso e ocupação da terra na AII do Porto Sul, bem como nas outras duas áreas de controle, foram identificadas cinco classes de uso e ocupação da terra, a saber: formação florestal, pastagem, vegetação arbustiva, áreas não vegetadas e corpos hídricos.

Considerando que as formações florestais são a classe que apresenta os menores valores de temperatura devido a processos naturais, como a evapotranspiração e o sequestro de carbono, e que as demais classes foram modificadas pela atividade antropogênica, compilou-se as cinco classes em apenas duas: formação florestal e áreas antropizadas. Esta última engloba áreas urbanizadas, pastagens, agricultura, mosaicos de agricultura e pastagem, bem como outras áreas de exploração humana.

Na AII do Porto Sul, a classe de formação florestal ocupava, em 2018, uma área de 2.186 km² (o que correspondia a 74,1% da área total), reduzindo-se para 1.499 km² em 2023 (o que corresponde a 50,8% da área total), o que representa uma redução de 23,3% (± 292 km²) ao longo dos anos analisados. Já as áreas antropizadas ocupavam 676 km² em 2018 (23% da área total) e aumentaram para 1.380 km² em 2023 (46,7% da área total), apresentando um crescimento de 23,7% (± 293 km²) (Figura 10)

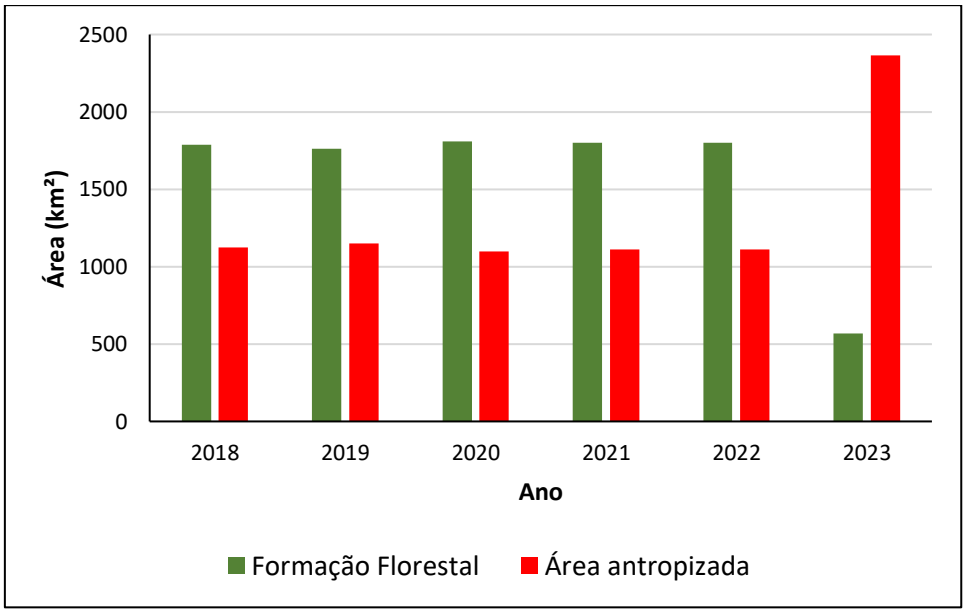
Figura 10. Variação do uso e ocupação da terra na AII do Porto Sul no período de 2018 a 2023



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Na AC2, a classe de formação florestal ocupava, em 2018, uma área de 1.789 km² (o que correspondia a 60,9% da área total), reduzindo-se para 570 km² em 2023 (19,3% da área total), representando uma redução de 41,6% (± 499 km²) ao longo dos anos analisados. Já as áreas antropizadas ocupavam 1.123 km² em 2018 (38% da área total) e aumentaram para 2.367 km² em 2023 (80,2% da área total), apresentando um crescimento de 42,2% (± 509 km²) **(Figura 11)**.

Figura 11. Variação do uso e ocupação da terra na AC2 no período de 2018 a 2023

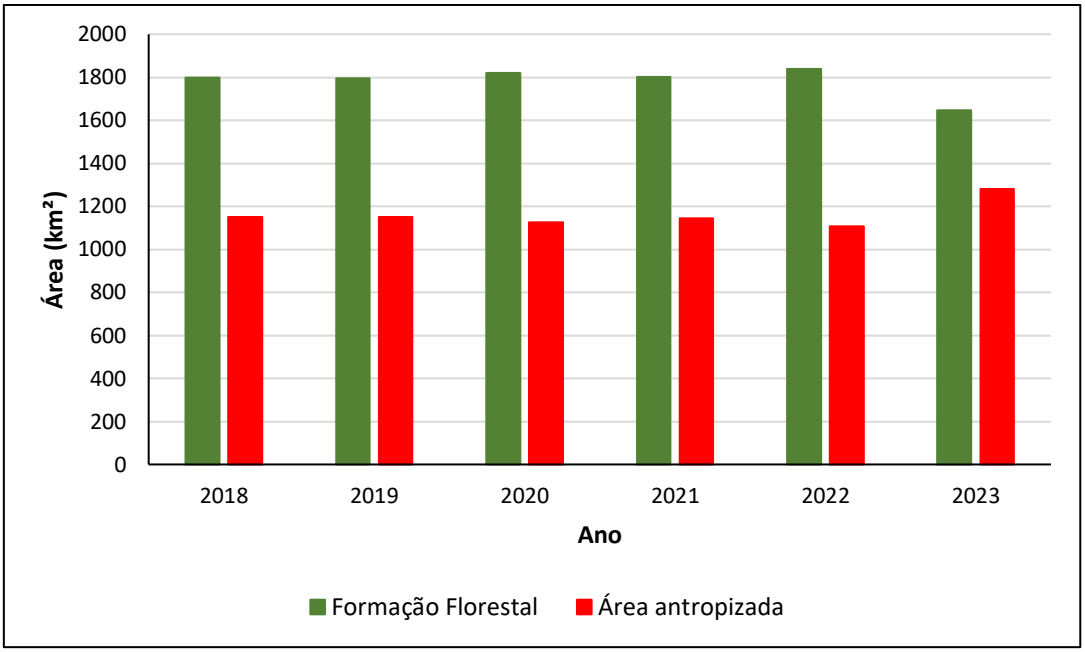


Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Na AC3, a classe de formação florestal ocupava, em 2018, uma área de 1.797 km² (o que correspondia a 60,9% da área total) e, em 2023, passou a ocupar 1.647 km² (55,8% da área total), apresentando uma redução de 5,1% (± 68 km²) ao longo dos anos analisados. Já as áreas antropizadas ocupavam 1.149 km² em 2018 (39% da área total) e aumentaram para 1.282 km² em 2023 (43,4% da área total), registrando um crescimento de 43,4% (± 62 km²) (Figura 12).

Na análise do comportamento do uso da terra, a formação florestal apresentou tendência de redução de suas áreas na AII do Porto Sul e nas duas unidades monitoradas. A AC3 foi a unidade que apresentou a menor perda florestal ao longo dos anos analisados, com a supressão de áreas florestais bem abaixo da média histórica das outras unidades. Essa menor taxa de supressão vegetal na AC3 justifica-se pelo fato de essa unidade possuir um maior número de áreas naturais protegidas (duas), em comparação com a AII do Porto Sul (uma) e a AC2 (nenhuma).

Figura 12. Variação do uso e ocupação da terra na AC3 no período de 2018 a 2023



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

As áreas naturais protegidas são utilizadas como instrumento básico da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), legitimada pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que, entre outras disposições, estabelece os mecanismos de conservação por meio das Unidades de Conservação (UC) (BRASIL, 1981). O Parque Estadual da Serra das Lontras, juntamente com a Reserva Biológica (REBIO) Una, localizados na AC3, formam um corredor ecológico que protege desde áreas baixas da Mata Atlântica até os picos montanhosos situados a 1.000 metros de altitude (ROJAS-PADILLA et al., 2020). A reserva biológica tem como principal objetivo a preservação da biota e de outros recursos

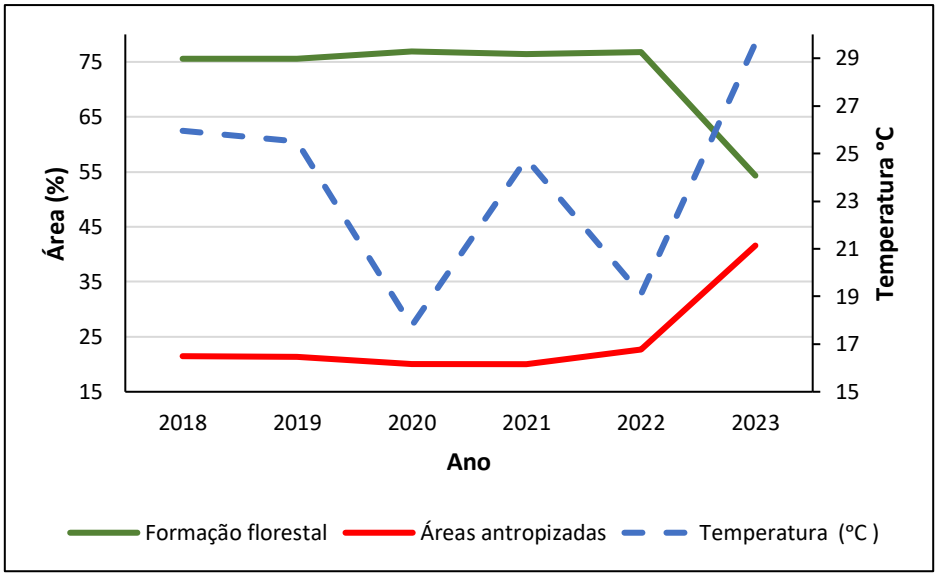
naturais existentes dentro de seus limites, sem interferência antrópica. Já os parques estaduais têm a finalidade de preservar os ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica (BRASIL, 2000). Dessa forma, a presença de áreas naturais protegidas nas unidades de gerenciamento contribui para a conservação das espécies da floresta ombrófila densa, ao mesmo tempo em que também auxilia na manutenção de baixos valores de TST.

Relação do uso e ocupação da terra e a variação da anomalia térmica da TST

A substituição da cobertura natural (formação florestal) na superfície terrestre, sem o devido planejamento e com o objetivo principal de desenvolver atividades antrópicas, tem causado modificações na dinâmica da TST. A análise multitemporal do comportamento do uso e ocupação da terra permite identificar as classes, bem como suas relações ao longo do tempo, correlacionando-as com possíveis variações da TST, que influenciam a temperatura do ar (FRUTEIRA, 2018).

Ao analisar o comportamento temporal da formação florestal e das áreas antropizadas na AII do Porto Sul, observou-se uma diminuição drástica da formação florestal, que representou 22,4% (o que corresponde a 729,8 km²) ao longo dos seis anos. Todavia, as áreas antropizadas aumentaram 18,9% (o que corresponde a 601,8 km²). À medida que as duas classes apresentaram tendência de crescimento e decréscimo, a temperatura também variou, demonstrando que a dinâmica do uso da terra é diretamente proporcional à variação da temperatura (Figura 13). A partir de 2022, com o aumento das áreas antropizadas e a diminuição da floresta, a temperatura atingiu a média histórica de 30ºC, valor este que não foi registrado nos anos anteriores.

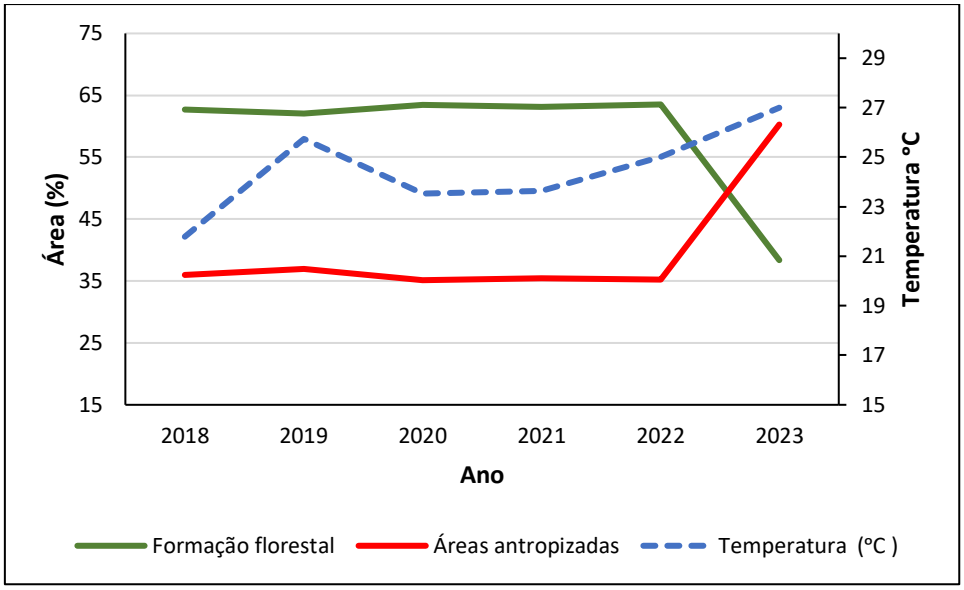
Figura 13. Relação entre o uso e ocupação da terra com a temperatura na AII do Porto Sul de 2018 a 2023



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Ao analisar o comportamento temporal das classes na AC2, houve uma diminuição da formação florestal de 5% (o que corresponde a 717,7 km^2) ao longo dos seis anos. Todavia, as áreas antropizadas aumentou 5,3% (o que corresponde a 716,8 km^2). À medida que as duas classes apresentaram tendência de crescimento e decréscimo a temperatura também variou, mostrando que a dinâmica do uso da terra é diretamente proporcional à variação da temperatura (**Figura 14**). A partir de 2022, com o aumento das áreas antropizadas, associado a diminuição da floresta, a temperatura chegou à média histórica de 27ºC, valor este não registrado nos anos anteriores.

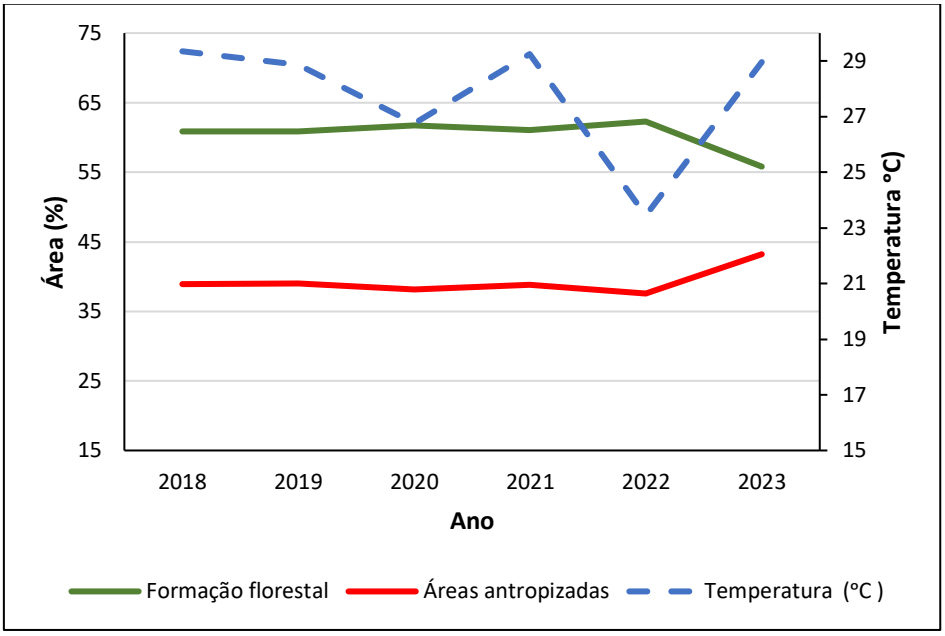
Figura 14. Relação entre o uso e ocupação da terra com a temperatura na AC2 de 2018 a 2023



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

No comportamento temporal das classes na AC3, observou-se uma diminuição da formação florestal de 5% (o que corresponde a 218,8 km²) ao longo dos seis anos. Todavia, as áreas antropizadas aumentaram 5,3% (o que corresponde a 243,4 km²). À medida que as duas classes apresentaram tendência de crescimento e decréscimo, a temperatura também variou (Figura 15). A partir de 2022, com o aumento das áreas antropizadas, associado à diminuição da floresta, a temperatura retornou à média histórica de 29ºC, valor registrado anteriormente em 2018

Figura 15. Relação entre o uso e ocupação da terra com a temperatura na AC3 de 2018 a 2023



Fonte: dados da pesquisa, 2023.

O aumento na biomassa verde está atrelado à maior evapotranspiração da superfície, maior transpiração, bem como à transferência de calor latente de evaporação mais ampla (LAMBIN; EHRLICH, 2007). A evapotranspiração é entendida como um processo simultâneo de transferência de água em estado gasoso para a atmosfera, por meio da água evaporada do solo e pela transpiração das plantas (TANAKA et al., 2016). Dessa forma, quanto maior a proporção de vegetação florestal, maior será a taxa de evapotranspiração, o que resfria a superfície, uma vez que a energia térmica é utilizada para converter a água em vapor.

É de fundamental relevância destacar que as florestas tropicais cumprem a função global de sumidouros de carbono, ao mesmo tempo em que oferecem serviços ecossistêmicos importantes para as comunidades tradicionais. Todavia, a desflorestação tropical, impulsionada por atividades antrópicas como a expansão agrícola e o surgimento de empreendimentos de diversas naturezas, tem causado a perda de diversos serviços importantes das florestas, como a regulação térmica do ambiente local, que resulta no resfriamento e está associada a mudanças no sombreamento, na refletividade da superfície e na evapotranspiração (PARSONS et al., 2021).

A importância de monitorar as outras unidades de gerenciamento, para além da AII do Porto Sul, reside no fato de que a temperatura da superfície é afetada pelas consequências do fenômeno biogeofísico, tanto locais quanto não locais, do desmatamento. Define-se como efeitos locais aqueles que são aparentes e/ou perceptíveis em locais desmatados (*in loco*), enquanto os efeitos não locais também são observáveis em locais não desmatados. Dessa forma, embora um local

mantenha sua vegetação em estado original, ele está suscetível aos efeitos das mudanças de temperatura provocadas por um local desmatado (WINCKLER et al., 2019).

Considerações finais

Ao realizar o mapeamento do uso e cobertura da terra, constatou-se que, tanto na AII do Porto Sul quanto nas duas AC, a matriz da paisagem é a formação florestal. Em todas essas áreas monitoradas, observou-se a tendência de redução ao longo dos anos das áreas florestais, sendo o crescimento das áreas antropizadas diretamente proporcional à diminuição da vegetação florestal. No que tange à TST na AII do Porto Sul, o ano de 2023 foi o período que apresentou os maiores valores de temperatura em relação aos anos anteriores. Por outro lado, nas outras duas AC, a TST demonstrou uma tendência não-linear de diminuição da temperatura; todavia, em 2021, os valores foram menores em relação aos anos anteriores devido ao fenômeno da La Niña, que provocou maiores índices de pluviosidade, reverberando dessa forma na temperatura.

Dessa forma, embora a implementação do complexo intermodal Porto Sul ainda não tenha ocorrido em sua totalidade, a supressão vegetal iniciada no ano de 2023 na ADA começou a causar impactos no meio físico e biótico, indicando que, em cenários futuros, os impactos socioambientais podem se agravar em decorrência da implementação deste Porto, principalmente na TST.

Referências

BAHIA. **Decreto nº 12.724 de 11 de abril de 2011**. Declara de utilidade pública, para fins de desapropriação, a área de terra que indica e dá outras providências. Bahia, 2011. Disponível em: https://governo-ba.jusbrasil.com.br/legislacao/1027366/decreto-12724-11. Acesso em: 17 abr. 2023.

BATALHA-FILHO, H.; MIYAKI, C. Y. Filogeografia da Mata Atlântica. **Revista da Biologia**, São Paulo, v. 7, p. 31-34, dez. 2011.

BENALI, A. et al. Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, Holanda, v. 124, p. 108-121, set. 2012.

BECKER, F.; LI, Z. Temperature-independent spectral indices in thermal infrared bands**. Remote sensing of environment**, v. 32, n. 1, p. 17-33, 1990.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Lei Nº 6.938, de 18 de Agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 9 out. 2023.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Nº 9.985, de 18 de Julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 9 out. 2023.

FRUTEIRA, R. S. et al. Uso da terra e temperatura de superfície em Ponta Grossa, PR, Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, Caracas, v. 59, n. 2, p. 332-344, jul./dez. 2018

GARCIA, D. H. Analysis and precision of the Terrestrial Surface Temperature using Landsat 8 and Sentinel 3 images: Study applied to the city of Granada (Spain). **Sustainable Cities and Society, Amsterdã**, Holanda, v. 71, p. 1-20, ago. 2021.

HULLEY, G. C. et al. Land surface temperature. In: HULLEY, G. C; GHENT, D. (org.). **Taking the temperature of the earth**. Amsterdã, Holanda: Elsevier, 2019. p. 57-127.

HYDROS. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para implantação do Porto Sul em Ilhéus: caracterização do Empreendimento**. T 1, 2011a. Disponível em: http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Porto%20Sul%20-%20Bahia/EIA/Tomo%20I.pdf. Acesso em: 6 abr. 2023.

HYDROS**. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para implantação do Porto Sul em Ilhéus: diagnóstico ambiental, meio físico**. T 2, V. 1, 2011b. 460 p. Disponível em: http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Porto%20Sul%20-%20Bahia/EIA/Tomo%20I.pdf. Acesso em: 6 abr. 2023.

HYDROS. **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para implantação do Porto Sul em Ilhéus: diagnóstico ambiental, meio biótico**. T 2, 2011c. V. 2. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Porto%20Sul%20-%20Bahia/EIA/Tomo%20I.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2023.

HYDROS. **Programa de Supressão Vegetal**. 2015. p. 1-28. Disponível em: http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Porto%20Sul%20-%20Bahia/EIA/Tomo%20I.pdf. Acesso em: 6 abr. 2023.

IBRAHIN, F. I. D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. São Paulo: Érica, 2014. 128 p.

INSTITUTO Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 9 maio 2023.

INSTITUTO Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico**. 2022. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 9 maio 2023.

KUSHARI, B.; KANITPONG, K. **Surface albedo of bangkok roads. J-Stage**. Tóquio, Japão, v. 8, p. 1-6. 2011.

LAMBIN, E. F.; EHRLICH, D. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. **International Journal of Remote Sensing**, United Kigdom, v. 17, n. 3, p. 463-487, fev. 2007.

LI, Z. et al. Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives**. Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, Holanda, v. 131, p. 14-37, abr. 2013.

MAPBIOMAS. **O que é o MapBiomas?** 2023. Disponível em: https://mapbiomas.org/o-que-e-omapbiomas#:~:text=O%20projeto%20MapBiomas%20%C3%A9%20uma,monitorar%20as%20mudan%C3%A7as%20do%20territ%C3%B3rio. Acesso em: 8 maio 2023.

MUMTAZ, F. et al. Modeling spatio-temporal land transformation and its associated impacts on Land Surface Temperature (LST). **Remote Sensing**, Amsterdã, Holanda, v. 12, n. 18, p. 1-23, set. 2020.

PARSONS, L. A. et al. Tropical deforestation accelerates local warming and loss of safe outdoor working hours. **One Earth**, Cambridge, v. 4, n. 12, p. 1730-1740, dez. 2021.

PRICE, D. B. Piloted simulation of an onboard trajectory optimization algorithm. **Journal of Guidance, Control, and Dynamics**, San Diego, EUA, v. 7, n. 3, p. 355-360, maio/jun. 1984.

QUERINO, C. A. S. et al. Impacto do desmatamento de uma área de mangue no albedo superficial. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, p. 401-408, dez. 2013.

REMEDIOS, J.; EMSLEY, S. **Sentinel-3 optical products and algorithm definition land surface temperature**. Paris, França: ESA, 2012. 62 p.

ROJAS-PADILLA, O. et al. Amphibians and reptiles of Parque Nacional da Serra das Lontras: an important center of endemism within the Atlantic Forest in southern Bahia, Brazil. **ZooKeys**, Sofia, v. 1002, p. 159, out. 2020

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

SOARES, T. O. et al. Impactos ambientais causados pelo desmatamento: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 2, 2019.

TOWNSHEND, J. R. G. et al. The 1 km resolution global data set: needs of the International Geosphere Biosphere Programme. **International Journal of Remote Sensing**, Reino Unido, v. 15, n. 17, p. 3417-3441, maio. 1994.

WINCKLER, J. et al. Different response of surface temperature and air temperature to deforestation in climate models. **Earth System Dynamics**, Montreal, v. 10, n. 3, p. 473-

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, MG, v. 7, n. 2, p. 195-201, jul./dez. 2017.