

APLICAÇÃO DE MÁSCARAS DE SOLO EXPOSTO PARA O APRIMORAMENTO DE DETECÇÃO DE CICATRIZES DE QUEIMADA E ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA CHAPADA DOS GUIMARÃES¹

SANTOS, Welinton Fernando²
STATELLA, Thiago³

RESUMO

Incêndios florestais são recorrentes na Área de Proteção Ambiental (APA) da Chapada dos Guimarães (MT), causando danos aos ecossistemas e emissões de gases de efeito estufa. O monitoramento por sensoriamento remoto, amplamente utilizado para identificar cicatrizes de queimadas, enfrenta limitações devido a falsos positivos que confundem solo exposto com áreas queimadas. Este estudo apresenta uma metodologia multiespectral, integrando o índice de queimada *Normalized Burn Ratio* (NBR) e o índice de solo exposto *Bare Soil Index* (BSI) para refinar a detecção de áreas queimadas. As análises foram realizadas com imagens Sentinel-2 (S2), processadas no software GRASS GIS, considerando o período de setembro de 2024 a abril de 2025. A aplicação da máscara de solo exposto reduziu significativamente a ocorrência de falsos positivos, resultando em estimativas mais precisas das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, detecção de queimadas, gases de efeito estufa, máscara de solo exposto.

INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Chapada dos Guimarães, criada em 1995, abrange aproximadamente 251.848 hectares de Cerrado e desempenha papel crucial na conservação da biodiversidade (Machado et al., 2004) e proteção de recursos hídricos estratégicos (Gomes-Silva et al., 2014). No entanto, incêndios florestais recorrentes, em sua maioria de origem antrópica e concentrados entre julho e outubro, causam degradação ambiental e emissões significativas de gases de efeito estufa (GEE).

O sensoriamento remoto é uma técnica amplamente utilizada para monitorar cicatrizes de queimadas, com destaque ao uso do índice NBR, mas sofre interferência de áreas de solo exposto, gerando falsos positivos que comprometem a acurácia da análise. Diante desse cenário, este trabalho propõe o uso combinado do índice NBR com uma máscara derivada do índice BSI para aprimorar a detecção de áreas queimadas na APA, resultando em estimativas mais confiáveis das emissões de GEE.

¹ Projeto de IC.

² Graduando em Ciências da Computação; IFSP-PEP; Presidente Epitácio; São Paulo; contato.welintonfernando@gmail.com.

³ Doutor em Ciências Cartográficas; IFSP-PEP; Presidente Epitácio; São Paulo; t.statella@gmail.com.

OBJETIVOS

Desenvolver e avaliar uma metodologia baseada em índices espectrais para melhorar a acurácia na detecção de cicatrizes de queimadas na APA da Chapada dos Guimarães, reduzindo falsos positivos causados por solo exposto e obtendo estimativas mais precisas das emissões de GEE.

METODOLOGIA

O presente estudo propõe uma abordagem baseada em sensoriamento remoto para aprimorar a identificação de áreas queimadas e a estimativa de emissões de gases de efeito estufa (GEE) na APA da Chapada dos Guimarães. A metodologia combina dois índices espectrais, sendo eles o NBR, utilizado para detecção de cicatrizes de queimadas, e o BSI, para detectar solo exposto com o objetivo de reduzir falsos positivos.

As análises foram conduzidas no software GRASS GIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, licenciado sob a GNU General Public License (GPL), que possibilita processamento de imagens, análise espacial e manipulação de dados geográficos. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, da missão Sentinel, integrante do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia. As imagens, no nível de processamento L2A, possuem 13 bandas espectrais que abrangem o espectro visível, infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR), com resolução espacial de até 10 metros e revisita de cinco dias, já corrigidas atmosféricamente e geometricamente. As bandas espectrais do S2 seguem a nomenclatura padrão do sensor, como “B02” que se refere a faixa do azul, “B04”, do vermelho. Essas bandas foram carregadas no ambiente do SIG para o cálculo dos índices mencionados:

$$NBR = \frac{B08 - B11}{B08 + B11} \quad (1)$$

$$BSI = \frac{(B11 + B04) - (B08 + B02)}{(B11 + B04) + (B08 + B02)} \quad (2)$$

Em que, B08 corresponde ao infravermelho próximo (842 nm), B11 representa o infravermelho de ondas curtas (1610 nm), B04 refere-se à faixa do vermelho (665 nm), B02 corresponde ao azul (490 nm).

A detecção inicial de queimadas considerou pixels com valores de NBR inferiores a -0,3. Contudo, áreas agrícolas ou de pastagem com solo exposto ainda apareciam como queimadas. Para eliminar esses falsos positivos, foi desenvolvida uma máscara binária de solo exposto (equação 3), que seleciona apenas pixels com valores de BSI entre 0,26 e 0,36 e $NBR \geq -0,3$:

$$T(bsi, nbr) = \begin{cases} 1, & \text{se } 0,26 < bsi \leq 0,36 \wedge nbr \geq -0,3 \\ nulo, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Em que, bsi corresponde ao valor do pixel na imagem gerada pela aplicação do índice BSI e nbr corresponde ao valor do pixel na imagem gerada pela aplicação do índice NBR.

A máscara resultante foi aplicada às camadas de queimada, excluindo regiões sem evidência espectral de fogo. Por fim, as emissões de GEE foram estimadas conforme as Diretrizes do IPCC (2019):

$$FG = A \cdot M_B \cdot C_F \cdot G_{ef} \cdot 0,001$$

(4)

Em que FG é a massa de gases de efeito estufa gerada pelos incêndios em toneladas, A é a área queimada em hectares, M_B é a massa de combustão em toneladas/hectare, C_F é o fator de combustão que varia de acordo com a vegetação e G_{ef} é o fator de emissão da matéria seca queimada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas 46 cenas de satélite entre setembro de 2024 e abril de 2025. A aplicação da máscara reduziu expressivamente falsos positivos, principalmente em áreas agrícolas e de pastagem. Com a exclusão de áreas de solo exposto, houve uma redução significativa nas estimativas de emissão de gases. Em setembro, a estimativa foi reduzida em aproximadamente 60,28%, enquanto em outubro a redução foi de 97,94%:

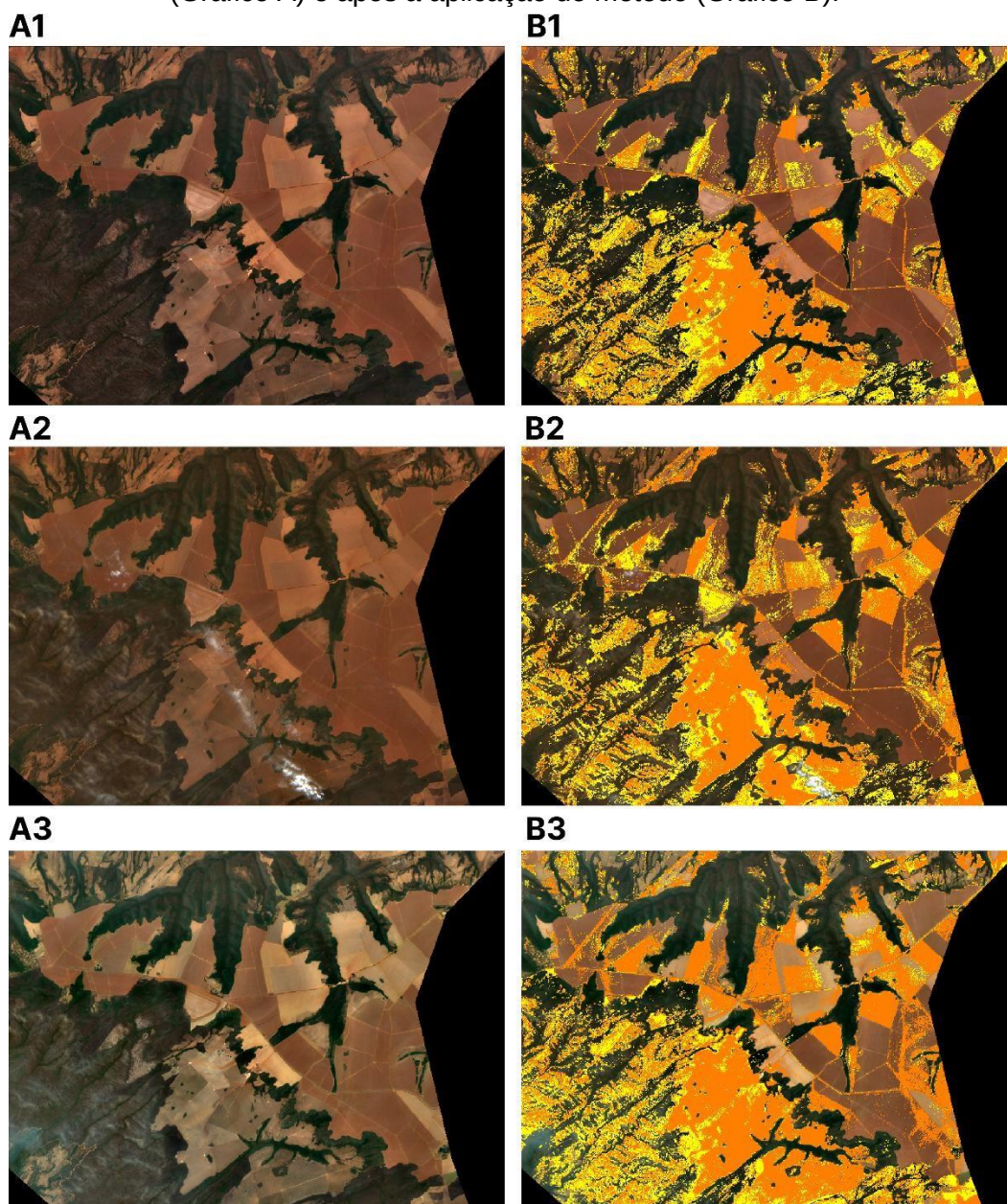
Figura 1 – Gráficos comparativos da estimativa da emissão de CO₂, usando apenas NBR (Gráfico A) e após a aplicação do método (Gráfico B).



Fonte: Os Autores.

No período analisado, estimaram-se aproximadamente 228 mil toneladas de CO₂, 30 t de CH₄ e 325 t de N₂O para uma área total de 30,7 mil hectares queimados. A Figura 2 apresenta três datas selecionadas dentro do período de análise (12/09/2024, 17/09/2024 e 22/09/2024), exibindo, na coluna A, as imagens em cor real, e, na coluna B, os resultados da detecção de áreas queimadas obtidos pelo índice NBR. As áreas em laranja correspondem às regiões inicialmente classificadas como queimadas, enquanto os pixels em amarelo representam as áreas remanescentes após a aplicação do método de correção proposto. Observa-se uma redução expressiva de falsos positivos, refletindo diretamente na diminuição das estimativas de área queimada:

Figura 2 – Gráficos comparativos da estimativa da emissão de CO₂, usando apenas NBR (Gráfico A) e após a aplicação do método (Gráfico B).



Período de 12/09/2024 a 22/09/2024

- Área de queimada no NBR
- Área de queimada restante após a correção

Fonte: Os Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO

A metodologia integrada NBR-BSI teve um bom desempenho na distinção de áreas queimadas de regiões de solo exposto, aumentando a precisão do mapeamento e das estimativas de emissões de GEE.

REFERÊNCIAS

GOMES-SILVA, Paulo Alexandre Jesus; LIMA, Silvana Dias; GOLIN, Rafael; FIGUEIREDO, Denise Mendonça; LIMA, Zely Maria; MORAIS, Edinilza Barbosa; DORES, Elineide Ferreira Gomes Costa. **Qualidade da água de uma microbacia com fins de abastecimento público**, Chapada dos Guimarães, MT. Holos, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 22–33, 2014. DOI: 10.15628/holos.2014.1977.

IPCC. **2019 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** (Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 08 jul. 2025.

MACHADO, Ricardo B.; RAMOS NETO, Mário B.; PEREIRA, Paulo G. P.; CALDAS, Eduardo F.; GONÇALVES, Demerval A.; SANTOS, Nazareno S.; TABOR, Karyn; STEININGER, Marc. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília: Conservação Internacional, 2004. Relatório técnico não publicado.

SENTINEL HUB. **Sentinel-2 Bands Overview**. Disponível em: <https://customscripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/>. Acesso em: 08 jul. 2025.