

## ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DA VEGETAÇÃO SUSCEPTÍVEL AO FOGO EM ÁREA PROTEGIDA NO CERRADO BRASILEIRO

Izadora Santos de Carvalho<sup>1</sup>, Swanni T. Alvarado<sup>2</sup>, Tiago Massi Ferraz<sup>1</sup>, Patrick Costa Silva<sup>1</sup>, Paulo Henrique A. Leão<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Maranhão {izadoraflorestal@gmail.com; ferraztm@gmail.com; cpatrickflorestal@gmail.com};

<sup>2</sup>Universidad del Rosario, Facultad de Ciencias Naturales {swanni\_ta@yahoo.es}; <sup>3</sup>CEMADEN {henri.leaos@gmail.com}

### RESUMO

Nas últimas décadas os eventos climáticos extremos, como secas severas e chuvas intensas, vem acontecendo com maior frequência e em intervalos de tempo cada vez menores. As relações entre eventos de secas, pressões antrópicas pelo desmatamento e o avanço agroindustrial, contribuem significativamente para o aumento de ocorrência de queimadas. O desenvolvimento de metodologias e a utilização de produtos provenientes de sensores remotos, já existentes, que possam subsidiar as ações de manejo do fogo (previsão e combate) são extremamente necessários. Portanto, neste estudo, temos como objetivo, relacionar a dinâmica da vegetação, através dos índices de vegetação NDVI e VCI, identificando sua susceptibilidade à ocorrência de queimadas, utilizando dados do sensor MODIS entre o período de 2001-2021. Nossos resultados demonstram a importância do uso de IVs, como o VCI, que ressalta as condições da vegetação susceptíveis ao fogo, podendo colaborar para as ações de gestão em áreas de proteção no Cerrado brasileiro.

**Palavras-chave** — Fogo, Seca, Dinâmica da vegetação, NDVI, MODIS.

### ABSTRACT

*In recent decades, extreme weather events, such as severe droughts and heavy rains, have been happening more frequently and at increasingly shorter intervals. The relationships between drought events, anthropic pressures from deforestation and agro-industrial advances significantly contribute to the increase in the occurrence of fires. The development of methodologies and the use of products from remote sensors, which already exist, that can support fire management actions (forecasting and fighting) are extremely necessary. Therefore, in this study, we aim to relate the vegetation dynamics, through the NDVI and VCI vegetation indices, identifying its susceptibility to the occurrence of fires, using data from the MODIS sensor between the period 2001-2021. Our results demonstrate the importance of the use of IVs, such as the VCI, which highlights the conditions of vegetation susceptible to fire, and can collaborate for management actions in protected areas in the Brazilian Cerrado.*

**Key words** — Fire, Drought, Vegetation dynamic, NDVI, MODIS.

### 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o avanço das atividades agroindustriais e desmatamento colaboram para o aumento da ocorrência de queimadas e incêndios nos biomas brasileiros [1]. Dessa maneira, o impacto de grande incêndios está intimamente relacionado a severidade da seca, o tipo e condições do material combustível, além de fatores antrópicos da área de ocorrência [2]. Portanto, poder prever quando uma queimada pode ocorrer ou a sua probabilidade de acontecer, torna-se primordial para as atividades de manejo de fogo (monitoramento, prevenção e combate) em áreas de proteção no Cerrado brasileiro, por exemplo, que mesmo tendo o fogo como agente evolutivo importante na manutenção da biodiversidade é afetado pela mudança do regime natural do fogo [1].

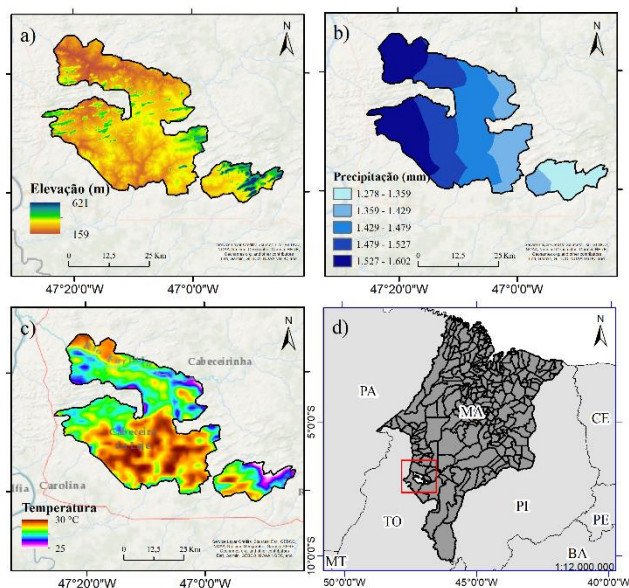
Muitos estudos demonstram o sucesso do uso do índice de condição da vegetação para o monitoramento de seca e risco de segurança alimentar [3], sendo utilizado também no monitoramento de risco de incêndios [4]. Para isso torna-se necessário entender a dinâmica da vegetação e suas interações com diversos fatores como a precipitação, temperatura, umidade e a sociedade. Entre os diversos índices de vegetação (IVs) existentes, o Índice de Condição da Vegetação (*Vegetation Conditions Index - VCI*) é recomendado pela Organização das Nações Unidas para o estudo de eventos climáticos extremos, como os fenômenos de seca [5].

Nesse contexto, o presente estudo pretende demonstrar como informações da condição da vegetação estão relacionadas com dados de áreas queimadas, tendo como objetivo demonstrar as possibilidades do uso do VCI na determinação de áreas susceptíveis ao fogo no bioma Cerrado, e responder a seguinte questão: a) Qual classe de risco de seca tem maior relação com a ocorrência de áreas queimadas?.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), com uma área total de 1600,46 km<sup>2</sup> e coordenadas de localização -7° 12' 59.0"S e -47° 07' 41.0"O (Figura 1). A unidade de conservação (UC) está localizada

em uma região de grande expansão agrícola, conhecida como MATOPIBA [6], no bioma Cerrado, apresentando ainda remanescentes de vegetação do bioma Amazônico e Caatinga, sendo considerada uma região de transição entre os biomas e detentora de grande biodiversidade e espécies vegetais endêmicas [7].



**Figura 1.** Distribuição da elevação (Alos World 3D - AW3D30) [8] (a); precipitação total anual (2001-2021, dados TerraClimate) [9] (b); temperatura média anual (2001-2021, dados MODIS do produto MOD11A2, coleção 6.1, disponível em <https://lpdaac.usgs.gov/>) (c); e localização do Parque Nacional da Chapada das Mesas (d).

A análise do mapeamento das condições da vegetação e sua relação com as áreas queimadas no PNCM foi realizada em duas etapas: a primeira etapa foi a avaliação de seca baseada no Índice de Condição da Vegetação (*Vegetation Conditions Index - VCI*) [3, 10, 11, 12]; e na segunda, foram utilizados os produtos do mapeamento de áreas queimadas, realizado para o PNCM [13], a partir de dados do satélite Landsat, com 30 metros de resolução espacial. O período determinado para o estudo foi de 2001-2021 (21 anos).

O VCI foi calculado a partir do produto MODQ13, do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. Esse foi o produto de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized difference vegetation index - NDVI*), obtido através do *Data Pool at the NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC - <https://lpdaac.usgs.gov/>)*, com 250 metros de resolução espacial e uma resolução temporal de 16 dias [3, 4]. No total, foram obtidas 498 imagens, com uma média de 23 imagens por ano. Todas as imagens foram processadas para a área de estudo, e os produtos de VCI foram reamostrados para o valor de pixel de 30 metros, para normalização dos dados. O VCI foi calculado segundo [14]:

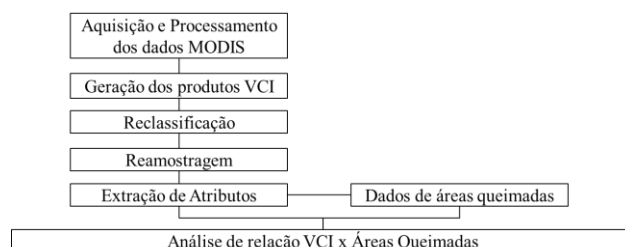
$$VCI_j = \frac{NDVI_j - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \times 100$$

Onde: VCI<sub>j</sub> é o índice de condição da vegetação para o intervalo de tempo (semana ou mês); NDVI<sub>j</sub> é o índice de vegetação por diferença normalizada para o intervalo de tempo (semana ou mês); NDVI<sub>min</sub> e NDVI<sub>max</sub> é o NDVI mínimo e máximo, respectivamente, para o intervalo de tempo (semana ou mês). A unidade do VCI é em porcentagem, porém reclassificamos os valores em categorias de classes de seca conforme metodologias de [3, 10, 11, 12] (Tabela 1).

VCI %	Risco de Seca	Risco de Fogo
0-10	Seca Extrema	Risco de incêndio extremamente alto
10-20	Seca Severa	Risco de incêndio extremo
20-30	Seca Moderada	Risco de incêndio muito alto
30-40	Seca Leve	Risco de incêndio alto
40-100	Sem Seca	Risco de incêndio acima da média

**Tabela 1.** Classes de valores do VCI.

O processamento e análise dos dados foram realizados utilizando os programas QGIS versão 3.22.10 e R versão 4.2.1 [15]. As principais etapas desenvolvidas estão descritas a seguir (Figura 2):



**Figura 2.** Fluxograma metodológico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 3, observamos a distribuição do total de área queimada durante o período do estudo (2001-2021), com o ano de 2010 se destacando com um total de 829 km<sup>2</sup> de área queimada, representando 52% da área total do parque. Foi um ano onde ocorreu um evento de seca extrema, e diversas unidades de proteção sofreram com a elevada ocorrência de queimadas [6], sendo um ano com grande influência do fenômeno climático El Niño [16]. Já o ano de 2021 foi o ano com menor valor total de área queimada, correspondendo a 100 km<sup>2</sup>, representando 6,25% do total da área do parque.

Os fenômenos climáticos como El Niño e La Niña, que influenciam na dinâmica das chuvas e temperaturas, em escalas globais, afetam também a dinâmica de ocorrência de queimadas nos biomas brasileiros [16]. Portanto, são fatores importantes que impactam diretamente nas condições da

vegetação. Na figura 1 podemos observar a variabilidade na distribuição da pluviosidade e temperaturas médias na região do PNCM.

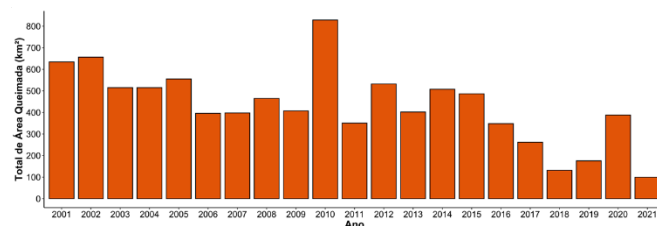


Figura 3. Total anual de área queimada no Parque Nacional da Chapada das Mesas, entre o período de 2001-2021.

As áreas queimadas do parque ocorrem, em sua maioria, na classe de risco ‘sem seca’, que corresponde ao risco de fogo acima da média, porém, que possui um menor grau de seca (Figura 4a). Contudo, quando observamos a classe de ‘seca leve’, que possui um grau de risco alto, conseguimos observar sua relação com os dados do total anual de área queimada, assim como a classe de categoria ‘seca moderada’ (Figura 3).

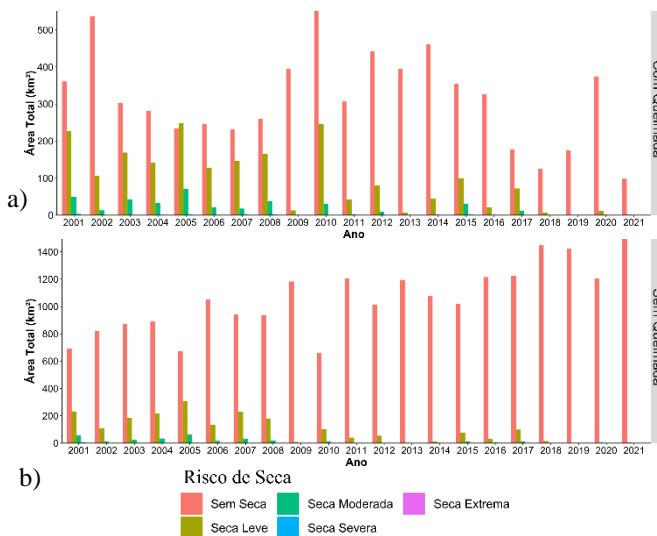


Figura 4. Total anual de área com queimada (a) e sem queimada (b), nas diferentes classes de risco de seca.

No ano de 2010, do total de área queimada, 551 km<sup>2</sup> (66,5%), 247 km<sup>2</sup> (29,8%), 31 km<sup>2</sup> (3,7%) e 0,63 km<sup>2</sup> (0,08%) foram em área das categorias ‘sem seca’, ‘seca leve’, ‘seca moderada’ e ‘seca severa’, respectivamente. As classes de vegetação em estado de “seca severa” e “seca extremamente” tiveram poucos pixels de fogo relacionados, detectados apenas nos anos de 2002, 2005 e 2008. Esses resultados podem estar relacionados aos tipos de fisionomias vegetais presentes no parque [17], e sua capacidade de regeneração após o fogo.

Na figura 5 podemos observar o produto do VCI reclassificado (a,b,c) e as áreas queimadas (d, e, f) para os anos de 2001, 2010 e 2021 que compreende o período estudado. Observamos, visualmente, a relação espacial entre as áreas queimadas e principalmente as classes sem seca, seca leve e seca moderada.

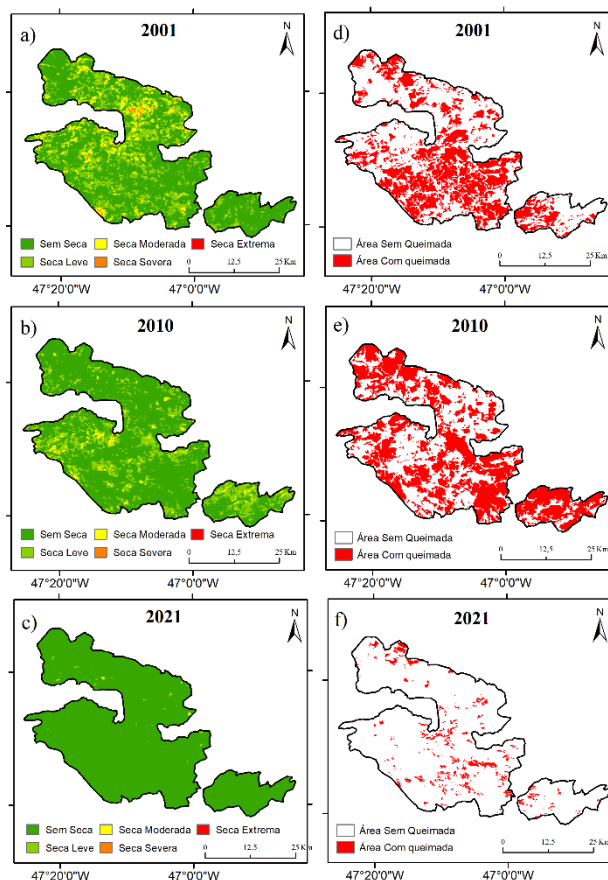


Figura 5. Índice de Condição de Vegetação reclassificado em risco de seca (a, b, c). Mapeamento anual de áreas queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas. Em destaque os anos de 2001, 2010 e 2021 (d, e, f) [13].

#### 4. CONCLUSÕES

Através do presente estudo, podemos demonstrar a possibilidade do uso do índice de condição de vegetação, categorizado em diferentes classes de risco de seca para o monitoramento de áreas queimadas e susceptíveis ao fogo na área do Parque Nacional da Chapada das Mesas, possibilitando subsidiar as atividades de gestão e manejo integrado do fogo que ocorrem na unidade de conservação. Observamos que as classes sem seca, seca leve e seca moderada, para a área do parque, são as que mais se relacionam com áreas que efetivamente queimaram. Portanto, mesmo no grau de risco mais baixo, as condições da vegetação são susceptíveis a ocorrência de fogo.

Recomendamos o uso do produto de VCI associados a outros dados, também obtidos por sensores remotos, como precipitação, temperatura, umidade do solo, evapotranspiração, e mapeamento de sazonalidade da vegetação (regeneração), para melhorar a obtenção de previsões de risco à ocorrência de queimadas.

## 5. AGRADECIMENTOS

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, através do PDPG-FAP (Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação - EDITAL N° 18/2020) pelo apoio e financiamento da pesquisa. Ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia – PPGA da Universidade Estadual do Maranhão. Ao Projeto MAP-Fire Maranhão: FAPESP (processo n° 2020/16457-3) e CNPq (processo n° 409531/2021-9).

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] R. Libonati, *et al.* Sensoriamento remoto de áreas queimadas no Brasil: processos, incertezas, desafios e perspectivas futuras. In *Queimadas e Incêndios Florestais: mediante monitoramento orbital* (A.W. Setzer, N.J. Ferreira, org.). Oficina de Textos, São Paulo, 2021.
- [2] O.P. Dube. Challenges of wildland fire management in Botswana: Towards a community inclusive fire management approach. *Weather and Climate Extremes*. v.1, pp.26-41, 2013.
- [3] Y. Walz, *et al.* Monitoring progress of the Sendai Framework using a geospatial model: The example of people affected by agricultural droughts in Eastern Cape, South Africa. *Progress in Disaster Science*, v.5, pp.100062, 2020.
- [4] L. Bugalho, N. Camara and Kogan, F. N. Monitoring of forest fire risk conditions in Portugal with NOAA/NESDIS satellite-based Vegetation Health Index. *Parte: http://hdl.handle.net/10316.2/44517*. 2018.
- [5] FAO, 2021. The impact of disasters and crises on agriculture and food security. <https://doi.org/10.4060/cb3673en>, 2021.
- [6] P.S. Silva, *et al.* Putting fire on the map of Brazilian savanna ecoregions. *Journal of Environmental Management*, v.296, pp.113098, 2021.
- [7] T.M. Ferraz, *et al.* Cerrado physiognomies in Chapada das Mesas National Park (Maranhão, Brazil) revealed by patterns of floristic similarity and relationships in a transition zone. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.92, 2020.
- [8] T. Tadono, *et al.* Initial Validation of the 30 m-mesh Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS*, v.XLI-B4, pp.157-162, 2016.
- [9] J.T. Abatzoglou, S.Z. Dobrowski, S.A. Parks, K.C. Hegewisch. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, v.5, n.1, pp.1-12, 2018.
- [10] C. Bhuiyan, *et al.* Analyzing the impact of thermal stress on vegetation health and agricultural drought—a case study from Gujarat, India. *GIScience Remote Sensing*, v.54, n.5, pp.678–699, 2017.
- [11] A.J. Jordaan. Drought indicators and drought classification. *Disaster Manag. Inst. South. Africa*, v.2, pp.18–23, 2018.
- [12] Chen, S., *et al.* The Use of SPEI and TVDI to Assess Temporal-Spatial Variations in Drought Conditions in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Basin, China. *Advances Meteorology*, v.2018, 2018.
- [13] I.S. Carvalho. *Análise espaço-temporal do regime de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão*. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.
- [14] F.N. Kogan. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, v.11, n.8, pp.1405-1419, 1990.
- [15] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2022.
- [16] P.S. Silva, *et al.* Drivers Of Burned Area Patterns In Cerrado: The Case Of Matopiba Region. In: *2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)*, pp.542-547, 2020.
- [17] I.S. Carvalho *et al.* Classificação da Vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão, Usando Obia, Machine Learning e Softwares Livres. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. Anais eletrônicos...* São José dos Campos, INPE, 2019.