



Análise da severidade do fogo no Cerrado - NDVI Ponderado

Mario Henrique Monteiro Dornelas¹ - Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-8099-5780>

Nilson Clementino Ferreira² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8460-4052>

¹ Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil*

² Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil**

Artigo recebido em 24/06/2025 e aceito em 17/12/2025

RESUMO

O Cerrado destaca-se por sua biodiversidade única, porém sofre intensas pressões antrópicas impulsionadas principalmente pela expansão agropecuária. Entre os principais distúrbios, o fogo tem papel central, embora natural ao bioma, o aumento das queimadas provocadas pelo homem tem elevado sua gravidade, impactando negativamente a fauna e flora. Dada a complexidade e heterogeneidade do bioma, a análise da severidade do fogo exige abordagens específicas, neste contexto, o sensoriamento remoto e o uso de índices espectrais têm se mostrado ferramentas eficazes para mapear cicatrizes de queimadas e avaliar os impactos do fogo. O estudo aplicou esses índices, além de propor uma modificação no Δ NDVI (chamado de NDVI Ponderado), para avaliar a severidade do incêndio ocorrido em 2023 no Parque Estadual Águas do Paraíso (PEAP), em Goiás. Embora tenham apresentado semelhança estatística, a aplicabilidade prática do NDVI ponderado em contextos de comunicação pública e gestão ambiental pode ser uma ferramenta acessível para divulgação da severidade das queimadas no Cerrado.

Palavras-chave: queimada; savanas; sensoriamento remoto; conservação

Analysis of fire severity in the Cerrado – Weighted NDVI

ABSTRACT

The Cerrado stands out for its unique biodiversity, but it suffers intense anthropogenic pressure, driven mainly by agricultural expansion. Among the main disturbances, fire plays a central role. Although natural to the biome, the increase in human-induced burning has intensified its severity, negatively impacting both fauna and flora. Given the biome's complexity and heterogeneity, analyzing fire severity requires specific approaches. In

* Mestrando em Ciências Ambientais e analista de interpretação visual no Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG, do Instituto de Estudos Sócio Ambientais - IESA da Universidade Federal de Goiás – UFG. E-mail: mariohmdornelas@gmail.com

** Professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás e Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-CIAMB/UFG e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária PPGEAS/UFG. E-mail: nclferreira@gmail.com



this context, remote sensing and the use of spectral indices have proven to be effective tools for mapping burn scars and assessing fire impacts. This study applied such indices and proposed a modification to Δ NDVI (called Weighted NDVI) to evaluate the severity of a wildfire that occurred in 2023 in the Águas do Paraíso State Park (PEAP), Goiás. Although the indices showed statistical similarity, the practical applicability of the Weighted NDVI in contexts of public communication and environmental management may serve as an accessible tool for disseminating fire severity information in the Cerrado.

Keywords: wildfire; savannas; remote sensing; conservation.

Análisis de la severidad del fuego en el Cerrado – NDVI Ponderado

Resumen

El Cerrado se destaca por su biodiversidad única, pero sufre intensas presiones antrópicas impulsadas principalmente por la expansión agropecuaria. Entre los principales disturbios, el fuego desempeña un papel central. Aunque es un elemento natural del bioma, el aumento de los incendios provocados por el ser humano ha intensificado su gravedad, afectando negativamente a la fauna y la flora. Dada la complejidad y heterogeneidad del bioma, el análisis de la severidad del fuego requiere enfoques específicos. En este contexto, la teledetección y el uso de índices espectrales se han mostrado herramientas eficaces para mapear cicatrices de incendios y evaluar sus impactos. Este estudio aplicó dichos índices y propuso una modificación del Δ NDVI (denominado NDVI Ponderado) para evaluar la severidad del incendio ocurrido en 2023 en el Parque Estatal Águas do Paraíso (PEAP), en Goiás. Aunque los índices mostraron similitud estadística, la aplicabilidad práctica del NDVI Ponderado en contextos de comunicación pública y gestión ambiental puede ser una herramienta accesible para divulgar la severidad de los incendios en el Cerrado.

Palabras clave: incêndio; sabanas; teledetección; conservação.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é um ecossistema de relevância global e exerce um papel fundamental para o bem-estar humano e o desenvolvimento de diversas populações (Sankaran et al., 2005). Reconhecido por abrigar a maior biodiversidade entre as savanas tropicais do planeta (WWF-Brasil, 2019), o bioma é também conhecido como a “caixa d’água do Brasil”, pois abriga nascentes de importantes bacias hidrográficas, responsáveis por grande parte da matriz energética nacional (ANEEL, 2024).

Além de sua biodiversidade, o Cerrado oferece uma vasta gama de serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da vida, como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de matéria orgânica, a polinização, a dispersão de sementes, o sequestro de carbono, a purificação do ar e a regulação do ciclo hidrológico (Resende, 2018; Brasil, 2021). Por ocupar predominantemente a região central do Brasil, o bioma conecta os principais ecossistemas do país Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga e Pantanal, contribuindo para troca de fluxo gênico e a diversidade biológica, o que o caracteriza como um dos mais importantes *hotspots* de biodiversidade do mundo (Myers et al., 2000).

Entretanto, o Cerrado vem sofrendo profundas transformações em razão da intensificação de atividades antrópicas. A conversão de áreas nativas em lavouras e pastos, impulsionada por avanços tecnológicos e políticas econômicas de incentivo à produção agrícola, tem promovido a rápida substituição da vegetação prístina (Alencar et al., 2020; Rada, 2013). Esse processo consolidou o Brasil como potência agroexportadora, líder em produtos como soja, milho, carne bovina, suína e frango (Mueller & Martha Júnior, 2008).

Contudo, esse desenvolvimento tem um custo para o meio ambiente, atualmente, restam apenas 51,72% da vegetação nativa do Cerrado (MapBiomias, 2024). Projeções indicam que, se mantido o ritmo atual de degradação, esse percentual poderá aumentar para entre 31% e 34% até 2050, o que pode levar à extinção de cerca de 480 espécies de plantas (Strassburg et al., 2017).

O bioma também lidera o ranking de alertas de desmatamento pelo segundo ano consecutivo (RAD, 2024), outro vetor significativo de degradação no Cerrado são as queimadas, muitas das quais de origem antrópica. De 1985 a 2023, o bioma concentrou 44,4% de toda a área queimada no Brasil, segundo o MapBiomias Fogo e apesar da relação ecológica antiga entre o fogo natural e o Cerrado, a intensificação e a mudança no regime de queima causadas por atividades humanas têm afetado a fauna e a flora, promovendo impactos mais intensos e frequentes (Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau, 1996; Bowman et al., 2011; Berlinck & Batista, 2020).

Com características e importância singulares, o fogo no Cerrado não pode ser analisado de forma homogênea, exigindo abordagens que considerem as particularidades desse bioma. Nessa perspectiva, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta para o monitoramento das áreas queimadas, permitindo descrever padrões de incêndio, identificar focos de calor, avaliar a severidade e impactos do fogo (Fox et al., 2008; Santos et al., 2020).

Por meio de índices espectrais, como o *Normalized Burn Ratio* (NBR) e o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), a análise da diferença entre imagens de satélite pré e pós-fogo permite identificar cicatrizes de queimadas e quantificar a perda de vigor vegetativo causada pelo fogo (Key & Benson, 2006; Hudak et al., 2007). Além disso, métodos como o *Relativized Difference Vegetation Index* (RdNDVI), ajusta o NDVI considerando a vegetação antes ao incêndio, o que ampliam a precisão da severidade do fogo, especialmente em ecossistemas heterogêneos (Collins et al., 2009).

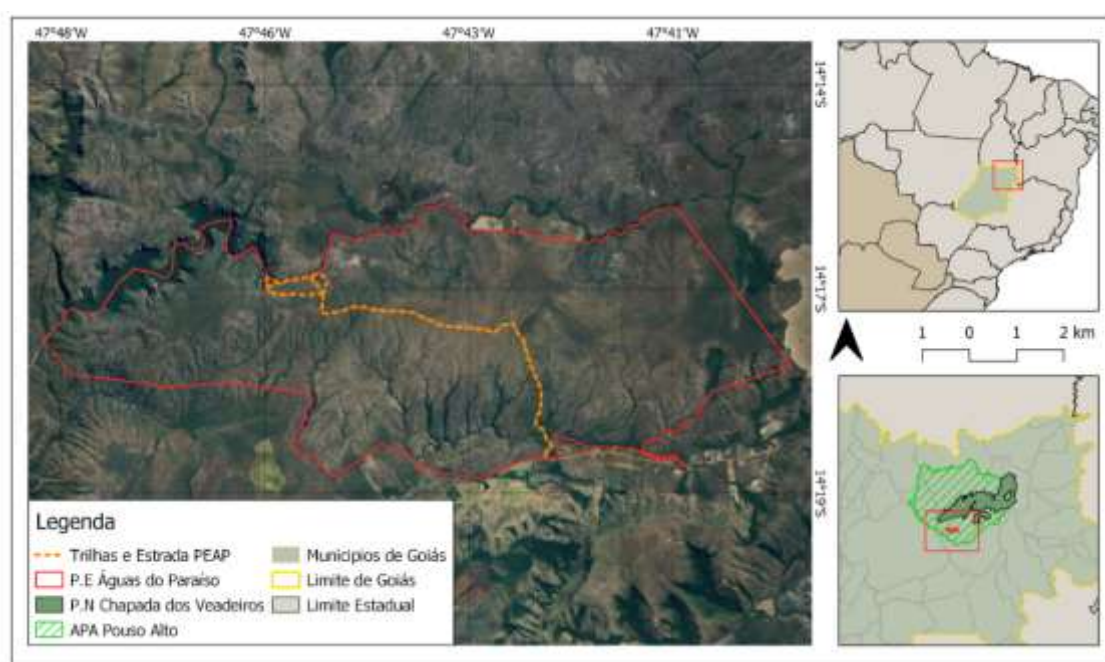
Justamente por o Cerrado ser considerado um mosaico de biomas (Coutinho, 2006) com diversas formações vegetais como: Campestres, Savânicas e Florestais (Ribeiro & Walter, 2008), se torna fundamental para mensurar a severidade do incêndio levar em consideração sua heterogeneidade. Para isso, esse artigo tem o objetivo de realizar uma alteração no $\Delta NDVI$, a fim de aprimorar sua percepção em ambientes heterogêneos com uma escala em porcentagem se tornando mais acessível à sociedade com dados precisos.

METODOLOGIA

Área de estudo

Para demonstração do uso do índice espectral, o Parque Estadual Águas do Paraíso (PEAP) foi escolhido como uma área alvo, por possuir com amostras de todas as 3 principais classes fisionômicas de Cerrado descritas por Ribeiro e Walter (2008), pelo fato de ser uma unidade de conservação é esperado que estejam preservadas.

Figura 1 - Mapa da Localização dos Parque Estadual Águas do Paraíso, Goiás, Brasil.



Fonte: Mapbiomas, google Earth (2023) e os autores.

O PEAP está localizado no município Alto Paraíso na região nordeste do estado de Goiás (FIGURA 1), na região próximo ao parque nacional da Chapada dos Veadeiros. Com cerca de 5,6

mil hectares, o parque foi criado em 2020 com objetivo de preservar sua beleza cênica, geodiversidade e biodiversidade (Governo do Estado de Goiás, 2024).

Dados e Procedimentos

Para a estruturação da base de dados cartográfica, foram utilizadas informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto Mauro Borges (IMB), que serviram como fontes para a obtenção dos vetores das áreas-alvo.

As imagens utilizadas pertencem à constelação de satélites Sentinel-2, da Agência Espacial Europeia (ESA), que opera o sensor MultiSpectral Instrument (MSI), com resolução espacial de até 10 metros, dependendo da banda espectral com resolução temporal de cinco dias. Essas imagens foram obtidas por meio de um conjunto de dados disponibilizado pela ESA no Google Earth Engine (GEE).

A fim de analisar a severidade da queimada, dois índices espectrais derivados do NDVI foram comparados, sendo eles o, RDNDVI e o NDVI PONDERADO (Tabela 1), foram processados por um código no GEE e podem ser acessados em: <<https://github.com/SCRIPT-NDVI>>.

Tabela 1 – Índices espectrais para avaliar a severidade do fogo

Índice Espectral	Equação
NBR	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$
RdNBR	$RdNDVI = ((\Delta NDVI) / \sqrt{(NDVI_{pre} + NDVI_{post})})$
NDVI PONDERADO	$(\Delta NDVI / NDVI \text{ antes}) * 1/2$

Fonte: Os autores

Após o processamento, os produtos gerados foram exportados e analisados no software QGIS para a elaboração dos mapas. A classificação dos níveis de severidade (Tabela 2) foi adaptada da proposta do United States Geological Survey (USGS, 2022), permitindo a interpretação dos valores em termos percentuais. Essa abordagem busca mitigar o impacto da sazonalidade natural da vegetação do Cerrado, estabelecendo a classe “não queimada” para valores que variam entre -1 e 0,08.

Para comparar os diferentes índices, foi realizado um teste t de Student a fim de verificar se havia diferença estatisticamente significativa entre os métodos analisados.

Tabela 2 - Nível de Severidade para RdNDVI e NDVI Ponderado

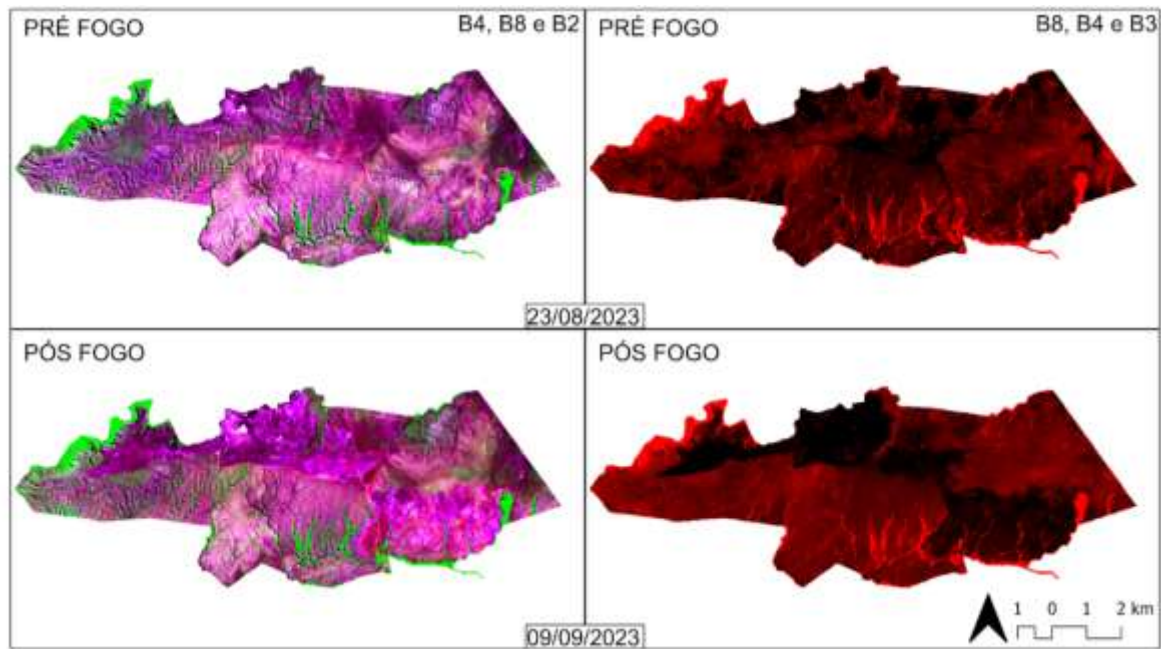
COR DA LEGENDA	CLASSE DE SEVERIDADE	NIVEL DE SEVERIDADE
	Não Queimado	-1 a 0,08
	Severidade Baixa	0,09 a 0,2
	Severidade Média-Baixa	0,21 a 0,33
	Severidade Média-Alta	0,34 a 0,48
	Severidade Alta	0,49 a 0,65
	Severidade Muito Alta	0,66 a 1

Fonte: Os autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2023 o Parque Estadual Águas do Paraíso (PEAP) foi atingido por incêndio que consumiu 35 % (Figura 2) da área preservada (SEMAD, 2023). Segundo informações da administração do parque, o incêndio teve dois focos iniciais, o primeiro provavelmente por causa antrópica e o segundo por carro que entrou em combustão. Após seis dias (18/08 a 24/08) os brigadistas e bombeiros controlaram incêndio mitigando possíveis maiores danos.

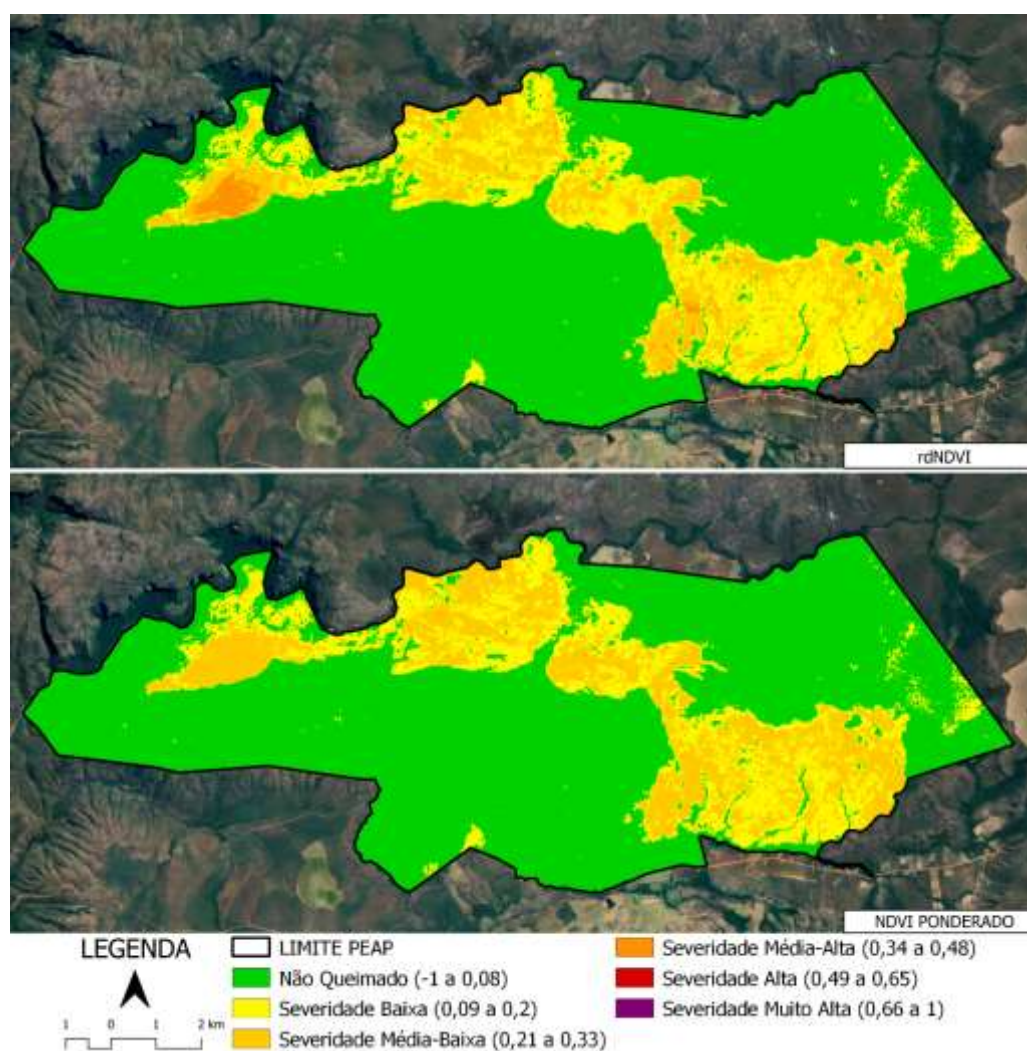
Figura 2 - Imagens antes e depois da queimada no PEAP



Fonte: Os autores

Observamos a extensão do impacto causado pelo incêndio, no entanto, a severidade do fogo extraída através do índice espectral NDVI Ponderado apresentou variação de -0,5 a 0,35, na escala de nível severidade, alguns pixels foram apontando com Severidade Média-Alta, mas em sua maioria o incêndio foi classificado com a Severidade Média-Baixa (Figura 3) com a fisionomias perdendo cerca de 21% a 33% de seu vigor vegetativo.

Figura 3 - Mapa de Severidade do Fogo PEAP com o NDVI Ponderado



Fonte: Os autores

O rdNDVI variou entre -0,25 e 0,47, sua classificação enquanto ao nível de severidade se mantém a mesma, porém nesse método nota-se maior quantidade de pixels representando a classe com Severidade Média-Alta (34% a 48%) em uma área com a vegetação de savana mais densa, chegando bem próximo do parâmetro de Alta Severidade.

As amplitudes observadas entre os valores mínimo e máximo foram de 0,85 e de 0,72 respectivamente, os valores negativos observados indicam que, em determinadas regiões não atingidas diretamente pelo fogo, ocorreu um incremento no vigor vegetativo ou uma expressiva variação comportamento espectral dos pixels durante o período analisado.

A diferença entre os dois métodos foi insignificante (valor de $p \approx 0,909$), ou seja, os dois índices descreveram a severidade de forma semelhante, ainda que caracterizem os incêndios florestais de forma representativa em ambientes heterogêneos, mais estudos são necessários para definir a severidade por tipo de vegetação já que reagem de maneira diferente ao distúrbio.

CONSIDERAÇÕES

Ambos os métodos analisados foram eficazes na detecção de cicatrizes de queimadas e na quantificação da perda de vigor vegetativo em ambientes heterogêneos do Cerrado. Embora tenham apresentado semelhança estatística na avaliação das áreas queimadas, a aplicabilidade prática do NDVI ponderado em contextos de comunicação pública e gestão ambiental pode ser uma ferramenta acessível para divulgação da severidade das queimadas no Cerrado.

Embora o fogo faça parte da dinâmica ecológica natural do Cerrado, tem se tornado um agente de degradação cada vez mais preocupante devido à sua intensificação por ações antrópicas ao adaptar e comparar índices espectrais, o papel do sensoriamento remoto tem sido reforçado como ferramenta essencial para o monitoramento ambiental, possibilitando a produção de dados consistentes e de fácil interpretação, fundamentais na criação de estratégias de manejo que conciliam preservação ambiental e desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por meio da concessão de bolsa de mestrado no âmbito do programa de pós graduação em Ciências Ambientais. Agradeço também à Universidade Federal de Goiás pelo suporte institucional e reconhecimento, ainda, a colaboração de colegas, docentes e demais envolvidos que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, John T.; WILLIAMS, A. Park. **Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), [S.l.], v. 113, n. 42, p. 11770–11775, 18 out. 2016. DOI: 10.1073/pnas.1607171113. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>. Acesso em: 14 maio 2025.
- ALENCAR, A. et al. **Mapping three decades of changes in the Brazilian Savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform**. Remote Sensing, Brasília, v. 12, n. 924, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/rs12060924>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 21 maio 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Serviços ecossistêmicos**. Brasília: MMA, [2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/ptbr/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/conservacao-1/servicos-ecossistemicos>. Acesso em: 15 maio 2025.
- COUTINHO, L. M. **Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado**. In: GOLDAMMER, J. G. (ed.). Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.
- FOX, D. M.; MASELLI, F.; CARREGA, P. **Using SPOT images and field sampling to map burn severity and vegetation factors affecting post forest fire erosion risk**. Catena, [S.l.], v. 75, n. 3, p. 298–307, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.08.001>.
- GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. **Parque Estadual Águas do Paraíso (PEAP)**. Goiânia: Governo de Goiás, 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/meioambiente/parque-estadual-aguas-do-paraíso-peap>. Acesso em: 19 maio 2025.
- HUDAK, Andrew T. et al. **The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects**. Fire Ecology, Special Issue, v. 3, n. 1, p. 64–90, 2007.
- MUELLER, Charles Ourt; MARTHA JÚNIOR, Geraldo Bueno. **A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado**. In: FALEIRO, Fábio Gelape; FARIAS NETO, Austeclínio Lopes de (ed.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 105–169.
- MYERS, Norman et al. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v. 403, p. 853–858, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RAD2024: **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024** - São Paulo, Brasil - MapBiomass, 2025 - 209 páginas. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac5193>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RADA, Nicholas. **Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle**. Food Policy, [S.l.], v. 38, p. 146–155, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.11.002>. Acesso em: 14 maio 2025.

RESENDE, F. M. **Planejamento para conservação de serviços ecossistêmicos no Cerrado**. 2018. 113 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: Embrapa, 2008. p. 152-212. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570911/cerrado-ecologia-e-flora>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SANKARAN, Mahesh et al. **Determinants of woody cover in African savannas**. Nature, [S.l.], v. 438, p. 846–849, 8 dez. 2005. DOI: 10.1038/nature04070. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature04070>. Acesso em: 14 maio 2025.

SANTOS, Sarah Moura B. dos; BENTO-GONÇALVES, António; BAPTISTA, Gustavo. **Assessment of burned forest area severity and postfire regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) using dNBR and RdNBR spectral indices**. Geosciences, Basel, v. 10, n. 3, p. 106, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences10030106>.

STRASSBURG, B. B. N. et al. **Moment of truth for the Cerrado hotspot**. Nature Ecology & Evolution, v. 1, n. 99, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>.

WWF-BRASIL. Cerrado Vivo: **Iniciativas e soluções sustentáveis para manter de pé a savana de maior biodiversidade do mundo**. Brasília: WWF-Brasil, 2019. Disponível em: https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/wwf_casesptfinal_compressed_1.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.