

SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À ANÁLISE DE FOGO EM FORMAÇÕES CAMPESTRES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Victor Fernandez Nascimento¹, Pâmela Boelter Herrmann², Marcos Wellausen Dias de Freitas³

¹ Universidade Federal do ABC (UFABC), Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS), victor.fernandez@ufabc.edu.br; ² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, pamela.herrmann@ufrgs.br; ³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, mfreitas@ufrgs.br

RESUMO

Avaliar o impacto do fogo requer uma compreensão das relações ambientais e antrópicas sobre a dinâmica da paisagem. Este estudo faz uma revisão da literatura utilizando o método PRISMA para entender o comportamento do fogo em formações campestres por meio de técnicas de sensoriamento remoto (SR). Foram analisados 67 artigos que apontam uma tendência de crescimento das publicações com destaque para o Brasil como segundo país com maior contribuição. Observa-se mais recentemente a utilização de índices espectrais para analisar a severidade das queimadas e o processo de recuperação da vegetação, o que está relacionado com o manejo integrado de fogo que é realizado com o objetivo de reduzir a intensidade e severidade do fogo, para torná-lo mais controlável e reduzir seus impactos. Portanto, o SR é essencial para entender o comportamento espaço-temporal do fogo e consequentemente servir de subsídio científico para auxiliar a tomada de decisão em casos de prescrição de queimadas.

Palavras-chave — Queimadas, índices espectrais, manejo do fogo, pastagens, gramíneas, NBR, VOSviewer.

ABSTRACT

Assessing the fire impact requires understanding environmental and human relationships on landscape dynamics. This study reviews the literature using the PRISMA method to understand fire behavior in grasslands through remote sensing (SR) techniques. A total of 67 articles have been analyzed that point to a growth trend in publications, emphasizing Brazil as the second country with the greatest contribution. More recently, the spectral indices used to analyze the severity of the fires and the vegetation recovery process has been observed, which is related to the integrated management of fire that is carried out with the objective of reducing the intensity and fire severity to make it more controllable and reduce its impacts. Therefore, the SR is essential to understand the spatio-temporal fire behavior and, consequently, to serve as a scientific subsidy to assist decision-making in cases of fire prescription.

Keywords — Burn areas, spectral indices, fire management, pastures, grasses, N.B.R., VOSviewer.

1. INTRODUÇÃO

As formações campestres são um componente importante dos ecossistemas, cobrindo mais de 30% da área terrestre global [1] e fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais, como a manutenção da biodiversidade, controle da erosão do solo e regulação do ciclo do carbono [2]. Entretanto, esse tipo de formação vegetal é altamente suscetível ao fogo, o qual é um dos principais responsáveis por distúrbios na dinâmica dos processos ecológicos em diversos ecossistemas, inclusive nas formações campestres [3].

Embora o uso do fogo em alguns ecossistemas seja desejável sob uma perspectiva ecológica, as consequências destrutivas e prejudiciais dos incêndios são geralmente consideradas indesejáveis e requerem uma maior observação [4]. Neste contexto, é necessário caracterizar os padrões espaço-temporais de incidência de fogo em formações campestres, para uma melhor compreensão das relações ambientais e da influência dos fatores antrópicos incidentes sobre a dinâmica da paisagem o que pode ser realizado por meio de dados de SR [5]. Portanto, este estudo, utilizou o método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) e o software *VOSviewer* para realizar uma revisão sistemática da literatura científica sobre o estado da arte acerca do comportamento e uso do fogo em formações campestres por meio de técnicas de SR.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As etapas desta revisão sistemática utilizado-se o método PRISMA estão descritas com mais detalhes a seguir e representadas no fluxograma da (Figura 01).

2.1. Etapa 1: Identificação

Na fase de identificação do estudo, para consultar a literatura de uma forma que melhor adequasse a temática em questão, foram escolhidas palavras-chaves como “*Remote Sensing*”, “*Fire*”, “*Vegetation*” e “*Grassland*”, sendo essas filtradas na biblioteca Scopus (www.scopus.com). Nesta primeira etapa, foram selecionados 7.881 artigos.

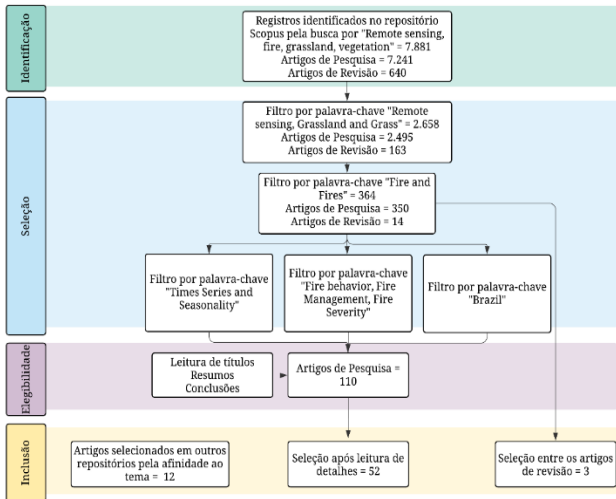


Figura 01. Fluxograma PRISMA das fases da metodologia de pesquisa.

2.2. Etapa 2: Seleção

Os artigos selecionados na etapa de identificação foram posteriormente extraídos para a etapa de seleção. Através de uma ferramenta de filtragem usando a palavra-chave “*fire(s)*” e resultaram em 14 artigos de revisão e 350 artigos ao final dessa etapa, os quais foram utilizados para identificação das palavras-chave e eixos temáticos por meio do software *Vosviewer* (Figura 02). A partir das conexões apontadas do mapa de cluster as palavras selecionadas para aplicar um segundo filtro foram “*times series*”, “*seasonality*”, “*fire behavior*”, “*fire management*”, “*fire severity*” e “*Brazil*” o que resultou em 110 artigos que foram analisados na próxima etapa.

2.3. Etapa 3: Elegibilidade

Na etapa de elegibilidade, foram lidos títulos, resumos e conclusões, para selecionar somente artigos cujo conteúdo estivesse relacionado ao tema do uso do SR aplicado aos efeitos do fogo em formações campestres.

2.4. Etapa 4: Inclusão

Para a quarta e última etapa, denominada inclusão, foram selecionados 55 artigos da base de dados e 12 artigos de outras fontes. Portanto, 67 artigos foram incluídos para serem analisados mais profundamente nesta revisão sistemática. Para isso, nesta etapa final o software *Vosviewer* foi utilizado para identificar a relevância dos artigos, sua contribuição regional e global, além dos satélites, sensores e índices espectrais mais empregados, assim como os principais periódicos e tendências de pesquisa.

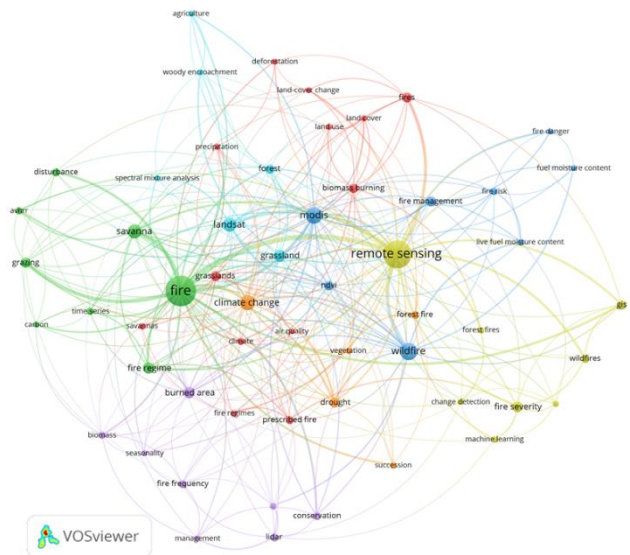


Figura 02. Análise da rede de clusters de palavras-chave dos artigos na etapa de seleção do método PRISMA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Alguns dos resultados encontrados são brevemente discutidos aqui e uma versão mais completa desta revisão bibliográfica foi publicada na Revista Brasileira de Cartografia em formato de artigo científico [6] e pode ser consultado na íntegra em português ou inglês [clcando aqui](#).

3.1. Análise da produção científica e sua relevância

Os artigos revisados foram publicados entre os anos de 1998 até o primeiro trimestre de 2021(Figura 03).



Figura 03. Distribuição das publicações ao longo dos anos.

Pode-se perceber uma tendência de crescimento nas publicações, principalmente a partir de 2010. Os anos de maior destaque foram 2013 e 2020, porém vale ressaltar que o ano de 2021 pode facilmente ultrapassá-los, pois apenas no primeiro trimestre foram encontrados três artigos na literatura científica utilizando técnicas de SR para o entendimento do fogo em formações campestres.

Além disso, também foram contabilizados o número de citações de cada artigo, por ser uma medida comumente adotada para avaliar a influência acadêmica das publicações. No entanto, para normalizar o número de citações ao longo do tempo e definir o grau de influência dos artigos revisados, foi utilizada uma equação onde: $Influência = \frac{Citações}{(Ano\ base - ano\ de\ publicação)}$ e os artigos que tiveram maior influência podem ser consultados em [6].

Em geral, grande parte deles são artigos de revisão e foram disponibilizados há menos de 10 anos. Uma característica em comum entre eles é sua análise mais regional ou global, uma vez que uma das vantagens da utilização do SR por satélite é exatamente poder monitorar a queima da vegetação em escala mais abrangentes.

3.2. Análise dos satélites e sensores utilizados

Neste estudo, foi encontrada uma grande variedade de sensores e plataformas utilizados para avaliação do comportamento do fogo em formações campestres por meio de dados de SR. A frequência com que cada um foi utilizado está apresentado na (Figura 04).

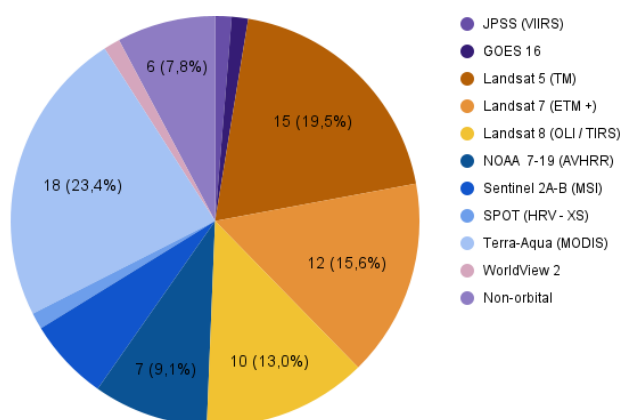


Figura 04. Frequência dos satélites/sensores remotos utilizados para analisar o uso do fogo em vegetação campestre.

Dentre eles destacam-se os satélites da série Landsat com cerca de 48% e MODIS e AVHRR, com aproximadamente 23% e 9%, respectivamente, provavelmente devido as suas longas séries históricas e acessos gratuitos. Além disso, uma alta taxa de revisita mais frequente do sensor MODIS permite detectar não apenas mudanças drásticas na cobertura, mas qualquer desvio do estado saudável esperado do ecossistema, fornecendo consequentemente informações relevantes que servem de apoio para compreensão do uso do fogo. Porém, a resolução espacial destes sensores não é a das melhores, o que pode ser solucionado através de outros satélites com melhores resoluções espaciais como o SPOT e Sentinel, que foram utilizados em aproximadamente 8% dos artigos revisados. Em razão da borda vermelha e bandas SWIR e da resolução espacial refinada, os dados ópticos do Sentinel 2 podem

apresentar melhor desempenho aplicados a vegetação se comparado a outros sensores.

3.3. Análise dos índices espectrais

Os índices são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações, incluindo o índice de área foliar, a biomassa, a porcentagem de cobertura do solo, a atividade fotossintética e a produtividade da vegetação. Nesta revisão sistemática, os índices espectrais (IE) mais utilizados nos artigos revisados foram o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), e *Normalized Burn Ratio* (NBR) de acordo com a (Figura 05).

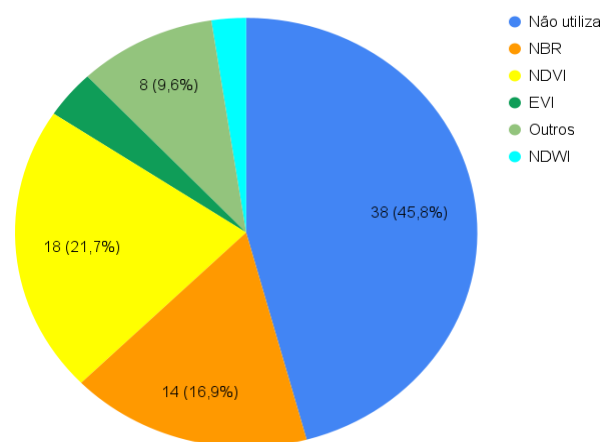


Figura 05. Frequência de utilização dos Índices Espectrais.

Os IE têm sido aplicados em vários aspectos da ciência do fogo e gestão, incluindo estimativa de combustível, mapeamento de risco de incêndio, avaliação de gravidade de queima, detecção de incêndio e estimativa de taxa de propagação de incêndio. Dentre eles um dos mais utilizados recentemente é o NBR que é uma razão entre o infravermelho próximo NIR e a região do SWIR. E foi desenvolvido para identificar áreas queimadas após o fogo e fornecer uma medida quantitativa de sua severidade. Nota-se em geral que ele é utilizado em conjunto com outros IE na maior parte dos estudos em que é mencionado, e são notoriamente aplicados para modelar a capacidade de resposta da vegetação após eventos de perturbação com fogo [7].

3.4. Contribuição regional e global

Os países de origem das publicações não correspondiam as áreas de estudo. Portanto, para analisarmos a distribuição da vegetação campestre e do fogo no mundo, utilizamos a base de dados *Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3 -2019* e os focos de calor obtidos pelo sensor MODIS, coleção 6.1 para o mesmo ano (Figura 06).

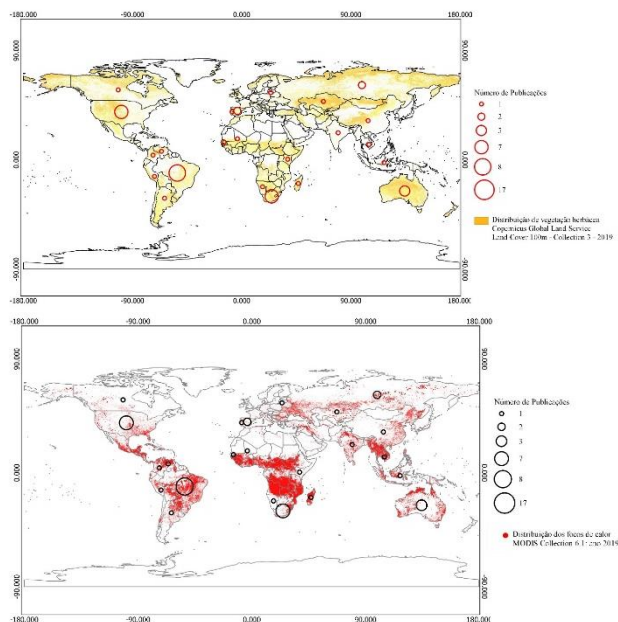


Figura 06. A) Distribuição geográfica das formações campestres no mundo e concentração dos artigos revisados por país, B) Distribuição geográfica dos focos de calor em 2019 e concentração dos artigos revisados por país.

No mundo, ecossistemas como estepe/pradarias/pampa e savana/cerrado são os tipos de vegetação campestre mais comuns e que queimam com maior frequência, devido principalmente à abundante quantidade de combustível. No Brasil as áreas de vegetação campestres mais estudadas se localizam no cerrado, amazonia e nos campos do sul.

4. CONCLUSÕES

O principal objetivo desta revisão sistemática foi avaliar o estado da arte sobre o comportamento e uso do fogo em formações campestres por meio de técnicas de SR. Os resultados mostram que o número de publicações sobre o tema vem aumentando ao longo dos anos e apresenta uma tendência de crescimento, comprovando o interesse da comunidade científica, sendo os Estados Unidos e o Brasil os países que mais tiveram autores trabalhando nesta temática. O Brasil apresentou contribuição de aproximadamente 16% dos artigos e 7% das citações, com estudos realizados em diferentes biomas, confirmando a importância da temática no território nacional.

Do total de publicações analisadas, a maioria delas, mais de 71%, utilizaram algum integrante da série Landsat ou do sensor MODIS. Atualmente, com o lançamento de satélites como o Sentinel, houve uma melhora nas resoluções espaciais, espectrais e temporais das imagens orbitais utilizadas para estimativas de biomassa de pastagens naturais e discriminação de espécies de gramíneas o que pode aumentar o uso destes sensores. Além disso, apenas 8% das publicações utilizaram dados não orbitais, sendo mais da metade publicadas nos últimos cinco anos, demonstrando o

crescimento da obtenção de imagens obtidas por sensores acoplados a veículos aéreos não tripulados (VANT's).

Em relação aos índices espectrais, pode-se dizer que sua utilização é uma importante ferramenta na análise do uso do fogo, pois fornece detalhes sobre sua influência nas mudanças da paisagem e na dinâmica da vegetação. Muitos destes índices, vêm sendo utilizados há bastante tempo, enquanto o NBR, por exemplo, passou a ser mais utilizado nos últimos anos, quando passou a ser aplicado relacionando os conceitos de severidade de queima presentes na ecologia voltados ao SR. As análises de clusters utilizando palavras-chave indicam uma tendência recente do uso de IE para a análise da severidade de incêndios e da recuperação da vegetação, levando-se em conta a integração de conservação de biodiversidade e uso antrópico, uma vez que os estudos do fogo objetivam a redução de sua intensidade e severidade, para torná-lo mais controlável e reduzir seus impactos negativos.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Shoko, C.; Mutanga, O.; Dube, T. *Progress in the Remote Sensing of C3 and C4 Grass Species Aboveground Biomass over Time and Space*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 120, 13–24, 2016. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.08.001.
- [2] WANG, J. et al. *Estimating leaf area index and aboveground biomass of grazing pastures using Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat images*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 154, p. 189–201, 2019. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.007.
- [3] Hoffmann, W.A.; Geiger, E.L.; Gotsch, S.G.; Rossatto, D.R.; Silva, L.C.R.; Lau, O.L.; Haridasan, M.; Franco, A.C. *Ecological Thresholds at the Savanna-Forest Boundary: How Plant Traits, Resources and Fire Govern the Distribution of Tropical Biomes*. *Ecology Letters*, 15, 759–768, 2012. doi:10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x.
- [4] Szpakowski, D.; Jensen, J. *A Review of the Applications of Remote Sensing in Fire Ecology*. *Remote Sensing (Basel)*, 11, 2638, 2019. doi:10.3390/rs11222638.
- [5] Chuvieco, E.; Mouillot, F.; van der Werf, G.R.; San Miguel, J.; Tanasse, M.; Koutsias, N.; García, M.; Yebra, M.; Padilla, M.; Gitas, I.; et al. *Historical Background and Current Developments for Mapping Burned Area from Satellite Earth Observation*. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64, 2019. doi:10.1016/j.rse.2019.02.013.
- [6] Herrmann, P.B.; Nascimento, V.F.; Freitas, M.W.D. *Sensoriamento Remoto Aplicado à Análise de Fogo Em Formações Campestres: Uma Revisão Sistemática*. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74, 437–458, 2022. doi:10.14393/rbcv74n2-63739.
- [7] Adagbasa, E.G.; Adelabu, S.A.; Okello, T.W. *Development of Post-Fire Vegetation Response-Ability Model in Grassland Mountainous Ecosystem Using GIS and Remote Sensing*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 173–183, 2020. doi:10.1016/j.isprsjprs.2020.04.006.