

Importância do manejo do material combustível para a prevenção de incêndios em uma área de campo de altitude, sudeste do Brasil

Nicole Christine Claro Nunes^{1*} , Klécia Gili Massi¹ , Rogério Galante Negri¹ , Cheila Flávia de Praga Baião¹ 

*Contato principal

¹ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/Unesp, Instituto de Ciência e Tecnologia, Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos/SP, Brasil. < nicole.nunes@unesp.br >.

Como citar:

Nunes NCC, Massi KG, Negri RG, Baião CFP. Importância do manejo do material combustível para a prevenção de incêndios em uma área de campo de altitude, sudeste do Brasil. Biodivers. Bras. [Internet]. 2026; 16(3): e2545.

doi: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v16i3.2545>

Recebido em 15/02/2024 – Aceito em 10/08/2026

Editor Temático: Daniel Kantek

RESUMO – O fogo é considerado um fator ecológico importante em diversos ecossistemas campestres. Os campos de altitude possuem características que viabilizam a passagem do fogo, como a grande quantidade de biomassa vegetal acima do solo. Desta forma, o objetivo deste estudo foi discutir a suscetibilidade de uma área de campo de altitude localizada na Serra Fina, região da APA Federal da Serra da Mantiqueira, à queimada e o manejo para prevenir eventos futuros de queima, com referência a um evento de fogo ocorrido em 2020. Os resultados dos índices espectrais demonstraram dificuldades em refletir a variabilidade de dados de acúmulo de combustível observada em áreas afetadas pelo fogo. Em comparação com os outros ecossistemas e tempos após o incêndio, o campo de altitude na Serra Fina apresentou valores elevados de acúmulo de biomassa em menor período, indicando uma rápida recuperação pós-fogo e riscos elevados de novos incêndios. Assim, o alto acúmulo de material observado na área de estudo em apenas três anos recomenda que sejam utilizadas estratégias para gerenciar esse material. Várias áreas protegidas com ecossistemas campestres têm adotado o manejo integrado do fogo, com o uso de queimas prescritas e controladas, para diminuir o material combustível e prevenir queimadas de maiores proporções.

Palavras-chave: biomassa, sensoriamento remoto, controle do fogo, Serra Fina.

Importance of managing fuel to prevent wildfires in a high-altitude grassland area, southeast Brazil

ABSTRACT – Fire is considered an important ecological factor in several grassland ecosystems. High-altitude grasslands have characteristics that enable fire occurrence, such as the large amount of plant biomass above the ground. Therefore, the objective of this study was to quantify biomass accumulation through remote sensing and destructive collections in a high-altitude grassland site located in Serra Fina, APA Federal da Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil, before a fire event that occurred in 2020, and discuss susceptibility and management to prevent future fire events. The results of spectral indices were not directly significant for predicting fire events, based on biomass data. Compared to other ecosystems and times after fire, the high-altitude grasslands in Serra Fina showed a higher biomass in a shorter period, indicating a rapid post-fire recovery

and high risks of new fires. Thus, the high accumulation of material observed in the study area in only three years recommends strategies to be used to manage this material. Several protected areas with grassland ecosystems have adopted integrated fire management, using prescribed and controlled burning, to decrease fuel load and prevent larger fires.

Keywords: biomass, remote sensing, fire control, Serra Fina.

Importancia del manejo de material combustible para la prevención de incendios en un área de campo de altitud, sudeste de Brasil

RESUMEN – El fuego se considera un factor ecológico importante en varios ecosistemas rurales. Los campos de gran altitud presentan características que posibilitan el paso del fuego, como una gran cantidad de biomasa vegetal por encima del suelo. Así, el objetivo de este estudio fue discutir la susceptibilidad de un área de campo de gran altitud ubicada en Serra Fina, región de la APA Federal de Serra da Mantiqueira, a la quema y su gestión para prevenir futuros eventos de quema, con referencia a un evento de incendio que ocurrió en 2020. Los resultados de los índices espectrales no fueron directamente positivos para predecir eventos de incendio, según los datos de biomasa. En comparación con otros ecosistemas y tiempos posteriores al incendio, el campo de gran altitud de Serra Fina tuvo una mayor biomasa en un período más corto, lo que proporcionó una rápida recuperación posincendio y un alto riesgo de nuevos incendios. Así, la alta acumulación de material recolectado en la zona de estudio en tan solo tres años recomienda que se utilicen estrategias para gestionar este material. Varias áreas protegidas con ecosistemas de pastizales han adoptado un manejo integrado del fuego, con el uso de quemas prescritas y controladas, para disminuir el material combustible y prevenir incendios mayores.

Palabras clave: biomasa, teledetección, control de incendios, Serra Fina.

Introdução

O bioma Mata Atlântica abrange cerca de 13% do território brasileiro, caracterizado pela alta diversidade de espécies e grau de endemismo. Concentra-se em regiões do país com alta ocupação da população e degradação, tornando-o o bioma mais ameaçado no Brasil e considerado um hotspot de biodiversidade mundial [1-3]. A Lei nº 11.428 de 2006, no artigo 2º, dispõe sobre os ecossistemas integrantes do bioma Mata Atlântica, composto por cinco fitofisionomias florestais (Ombrófila aberta, mista e densa, Estacional decidual e semidecidual), bem como manguezais, restingas e campos de altitude [4].

Os campos de altitude são fisionomias campestres, com estrutura arbustiva e/ou herbácea, vegetação típica de ambientes montanos e alto-montanos e cumes litólicos de serras, cuja altitude é elevada, na faixa de 500 a 1.500 m nas latitudes entre 16° S e 24° S, e ocorrem sob clima tropical, subtropical ou temperado [1, 5]. Possuem alto grau de endemismo referente à flora e à fauna, reconhecidos como importantes centros de endemismo da flora neotropical [6, 7]. Esse ecossistema tem sido objeto de estudo quanto ao efeito do fogo sobre a biodiversidade, que depende da amplitude, frequência e época de ocorrência [8].

O fogo é considerado um fator ecológico importante em diversos ecossistemas campestres e savânicos do mundo, pois, após sua passagem, ocorre um aumento na incidência de luz nos estratos inferiores e na disponibilidade de nutrientes para as plantas, criando, assim, condições favoráveis para a regeneração da vegetação do estrato herbáceo [9]. A resposta dos ecossistemas à ação do fogo apresenta-se de diferentes formas, como os ecossistemas independentes do fogo; os sensíveis ao fogo, em que o fogo pode levar à extinção de espécies nativas e à destruição de seus habitats; e os ecossistemas dependentes do fogo para a manutenção das espécies nativas, da paisagem e de seus habitats [9, 10]. Todavia, os incêndios que ocorrem fora do regime natural de queima podem degradar ecossistemas dependentes de fogo, levando à substituição de espécies com maior adaptação e a perda de espécies sensíveis [8, 11].

Queimadas regulares em áreas campestres e savânicas estão associadas à presença de um dossel graminoso e arbustivo inflamável [12-14], que serve de combustível para a ocorrência de incêndios, além da presença de outros componentes da biomassa vegetal. A exclusão do fogo, como forma de manejo e controle, de ecossistemas como o tratado por este estudo, pode favorecer a evolução de espécies com predominância de gramíneas com hábito de crescimento cespitoso, de maneira perpendicular ao solo, que, com o acúmulo de biomassa inflamável, aumenta o risco de incêndios devastadores, além de agravar e gerar danos à sociedade devido às vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais já existentes [15, 16]. Os ecossistemas encontrados em regiões de altitudes elevadas, como os presentes nas Serras do Mar e da Mantiqueira, evidenciam características que viabilizam a passagem do fogo, como a grande quantidade de biomassa vegetal seca durante o inverno, ventos fortes e constantes, e clima seco, facilitando a propagação do fogo [8, 17]. Dessa forma, o estabelecimento de métodos para a implantação e o monitoramento de queima, como o levantamento de material combustível acima do solo, contribui para a mitigação de eventos de incêndio e o planejamento no âmbito social, econômico e ambiental.

A quantificação da biomassa vegetal permite determinar o estoque de carbono, que representa o combustível disponível para a queima. Pode ser obtida a partir de métodos diretos destrutivos, os quais recolhem amostras *in situ*, e métodos considerados indiretos não destrutivos, por meio de modelos, equações e técnicas de sensoriamento remoto [18]. O uso de técnicas de sensoriamento remoto exerce um papel de grande importância na estimativa de biomassa acima do solo, permitindo explorar áreas de larga escala, equivalentes a uma serra, e acessar áreas de difícil acesso, como locais de altitude elevada, como os campos de altitude, além de possuir menor custo em comparação aos estudos realizados em campo, que são comumente onerosos [19, 20]. O uso de índices espectrais tem sido aplicado em análises de aspectos do fogo, na estimativa de combustível, na avaliação da gravidade da queima e na taxa de propagação de incêndio, como forma de investigar o fogo e suas interações com a vegetação [21]. A combinação entre dados extraídos de diferentes fontes permite que a área de estudo seja mais bem explorada, permitindo a validação dos modelos de estimativa de biomassa vegetal [20].

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi verificar a suscetibilidade de uma área de campo de altitude localizada na Serra Fina, região da APA Federal da Serra da Mantiqueira, às queimadas associadas à quantidade de biomassa vegetal, e analisar as estratégias de manejo utilizadas em unidades de conservação (UCs) para prevenir eventos futuros de queima, tendo como referência um evento de fogo ocorrido em 2020.

Material e Método

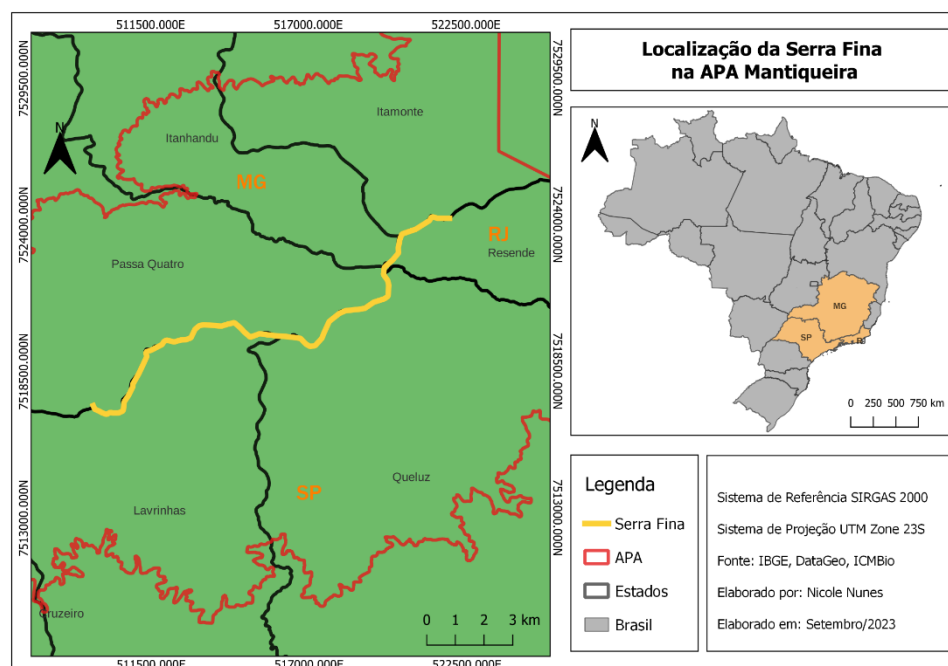
Área de estudo

A área de estudo localiza-se na Serra Fina, situada dentro da Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira (APA da Serra da Mantiqueira). Criada pelo Decreto Federal nº 91.304, de 3 de junho de 1985, a unidade possui 437.524,57 ha e abrange os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Sua gestão é feita pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) [1, 22].

A Serra Fina é uma cadeia de montanhas cujo nome faz referência à sua largura muito estreita ao longo da crista. Localiza-se na convergência entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 1a). Seu percurso passa por mais de 20 cumes, tendo acesso por Minas Gerais e se estendendo do Maciço Itaguaré Marins até o Parque Nacional do Itatiaia [23]. Sua vegetação corresponde aos campos de altitude do bioma Mata Atlântica e zonas de transição de floresta ombrófila densa, mista e estacional semidecidual; nas maiores altitudes, afloram rochas alcalinas [24].

A região possui precipitação média anual entre 2.200 e 2.500 mm, com um curto período de estiagem (precipitação mensal abaixo de 50 mm) nos meses de junho a agosto, com temperaturas médias mínimas entre 4 e 6 °C, registradas no mês de julho. O relevo da área dos campos de altitude é ondulado/forte-ondulado/montanhoso/escarpado [25]. As Cristas da Mantiqueira, como são conhecidas as regiões mais elevadas, por serem ambientes que apresentam ecossistemas frágeis, com altíssima biodiversidade e incomparável beleza cênica, são de alta prioridade para conservação. Estão inseridas na zona de conservação da vida silvestre, que é a mais restritiva estabelecida pelo Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Federal da Serra da Mantiqueira (Portaria ICMBio nº 1046/2018). Por se tratar de uma APA, unidade de conservação de uso sustentável composta basicamente por propriedades particulares, não existe obrigatoriedade de controle de acesso de visitantes na rede de trilhas existente, razão pela qual a região oferece enormes dificuldades e desafios para controle, monitoramento e mitigação dos impactos da visitação.

A



B

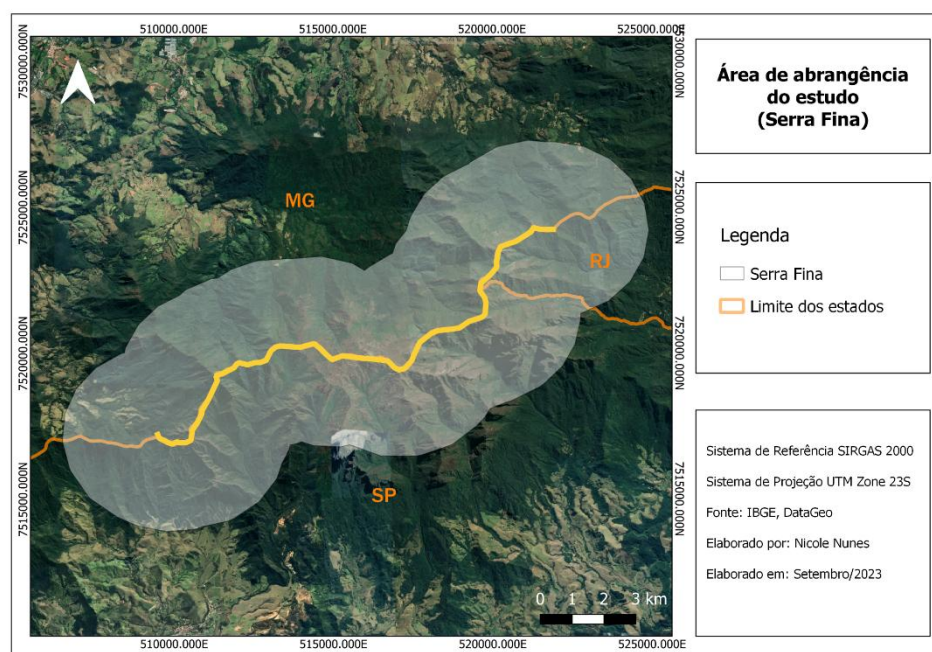


Figura 1 – (A) Localização da Serra Fina dentro da APA Mantiqueira, nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, sudeste do Brasil; (B) Área de abrangência do estudo, dentro da Serra Fina.

Fonte: os autores, 2023.

Entre os dias 16 e 28 de julho de 2020, um incêndio acometeu a região da Serra Fina e consumiu 547,59 ha de vegetação nativa composta basicamente por campos de altitude [22]. As causas e os responsáveis

pelo incêndio ainda são objeto de investigação pela Polícia Federal; porém, de acordo com a Informação Técnica nº 74/2020 – PARNA Itatiaia/ICMBio, que teve como objetivo identificar a causa e origem do incêndio, o evento se iniciou em uma área utilizada para acampamento, localizada nas coordenadas 22°25'41,9" S e 44°51'00,6" O, com ignição da vegetação circundante em condição de ressecamento (touceira da gramínea *Cortaderia modesta*), por transferência de calor produzido por objeto para a cocção de alimentos (fogareiro portátil) [22]. Imbuídos da mobilização social estimulada pelo incêndio, imediatamente após o seu término, foram criados grupos de trabalho compostos por guias, pesquisadores, proprietários rurais e secretários de meio ambiente dos municípios afetados, visando ao planejamento e implementação de ações para recuperação das áreas queimadas, esforço que continua sendo fundamental para a restauração da região e para a implantação de um sistema de gestão de uso público no território [26].

Análises espectrais e de biomassa

Para delimitação da área de estudo, estabeleceu-se um raio de 3 km que abrangesse a vegetação de campo de altitude presente na serra, por meio da utilização do software QGIS versão 3.22, através da ferramenta buffer (Figura 1b).

Após autorização Sisbio (90172), foram coletadas quatro amostras de biomassa acima do solo, pelo método de colheita proposto por Frangi et al. (1980), inseridas em quadrados de 1 x 1 m, coletadas com tesoura, cortada toda a vegetação herbácea ao nível do solo, acondicionadas em sacos de papel. As amostras foram transportadas para o laboratório de Química do Departamento de Engenharia do ICT/Unesp em sacos de papel para pesagem do material úmido, secagem em estufa a 70 °C por 72 h e pesagem do material seco. As amostras foram georreferenciadas em campo; os pontos foram coletados em locais onde houve a passagem do fogo do evento ocorrido em 16 de julho de 2020. Posteriormente, foram extraídos os índices espectrais dos pontos coletados para análise e processamento de dados referentes à cena do dia 11 de julho de 2020, antes do evento de fogo no local.

Para a obtenção das imagens da área onde ocorreu o evento de fogo na Serra Fina, utilizou-se a plataforma Google Earth Engine (GEE), que permite realizar análises e monitoramento de dados ambientais em larga escala, devido ao uso dos servidores do Google, através do uso da linguagem de programação JavaScript [27, 28].

As imagens utilizadas pertencem à coleção de imagens Landsat 8. O satélite carrega os sensores Operational Land Imager (OLI), cujo sensor OLI possui bandas espectrais para coletar dados nas faixas do visível, infravermelho próximo, ondas curtas e banda pancromática (VNIR, NIR e SWIR) do espectro [29, 30]. As imagens utilizadas do satélite Landsat 8 apresentam resolução espacial de 30 m e temporal de 16 dias, o que permite a coleta de dados numa faixa de 170 km x 183 km.

A seleção das imagens foi definida a partir da referência do evento de fogo ocorrido na área de estudo no dia 16 de julho de 2020, filtrada pelo percentual de cobertura de nuvens inferior a 30%. Dessa forma, obtiveram-se duas cenas selecionadas a partir de critérios que contribuíssem para os objetivos do estudo. A fim de captar a área anteriormente ao evento, obteve-se a primeira imagem, datada de 11 de julho de 2020; e a segunda imagem foi datada de 27 de julho de 2020, após o incêndio.

Como os índices espectrais são obtidos a partir do cálculo dos valores de reflectância dos canais espectrais dos sensores orbitais, as características dos alvos detectados interferem nos valores de reflectância, como na mudança do uso e ocupação do solo, pelas características da vegetação [31].

Por meio da plataforma GEE, obtiveram-se os índices espectrais a partir de equações para cada índice (Tabela 1) da área delimitada deste estudo. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), que indica a produção de clorofila, é utilizado para quantificar o verde

presente na vegetação, compreender a sua densidade e o estado de saúde da vegetação, e seu cálculo é obtido por meio da Equação 1, utilizando a banda 4 (RED) e a banda 5 (NIR) (USGS).

O Índice de Vegetação Realçado (Enhanced Vegetation Index – EVI), formulado a partir da combinação dos índices de vegetação SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index), se assemelha ao NDVI e pode ser utilizado para quantificação do verde da vegetação. Foi proposto com o intuito de atenuar os efeitos da atmosfera e do solo sobre a vegetação monitorada, utiliza as bandas 2 (BLUE), 4 (RED) e 5 (NIR), conforme a Equação 2. [32, 48].

O Índice de Queima Normalizada (Normalized Burn Ratio – NBR) permite identificar áreas queimadas e quantificar a severidade dos incêndios, utilizando a faixa do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas, conforme a Equação 3, e respectivas bandas 5 (NIR) e 7 (SWIR).

Tabela 1 – Índices espectrais e equações.

Índice	Equação - Landsat 8	Referências
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ (Equação 1)	[47]
Índice de Vegetação Realçado (EVI)	$EVI = (2.5 * ((NIR - RED) / (NIR + (6 * RED) - (7.5 * BLUE) + 1)))$ (Equação 2)	[48]
Índice de Queima Normalizada (NBR)	$NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ (Equação 3)	[34]

Fonte: os autores, 2023.

Com o uso do software QGis versão 3.22, por meio da ferramenta v.random, foram gerados 1.000 pontos aleatórios dentro da área de estudo e adicionados os quatro pontos com biomassa já conhecida, derivados da coleta de campo. Para cada ponto, extraímos os valores referentes aos índices NDVI, EVI, NBR de cada imagem processada das datas selecionadas (11 e 27 de julho de 2020), e os valores foram alocados na tabela de atributos do arquivo shapefile gerado. O Índice Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada (delta NBR) [33] foi calculado (Equação 4) por meio da subtração do NBR da cena antes da queimada (11 de julho de 2020) e da cena após o evento (27 de julho de 2020); este índice permite avaliar a extensão e o gradiente de severidade de uma área queimada por meio da diferença dos valores do índice NBR pré e pós fogo.

As análises de ANOVA, números de Hill e qui-quadrado foram feitas pelo software RStudio (<https://www.r-project.org/>) e a análise de similaridade foi feita no software PAST (<https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>).

$$dNBR = NBR_{Pré-fogo} - NBR_{Pós-fogo} \text{ (Equação 4)}$$

A classificação da severidade do fogo proposta por Key e Benson [34], indica que, para valores ($\Delta NBR > +100$), a área em questão pode ser classificada como queimada; contudo, destaca que os intervalos de ΔNBR são flexíveis devido às interferências de diversos fatores, tais como os limites espectrais, instrumentos imageadores, dentre outros [35].

A fim de estabelecer um limiar para prever a suscetibilidade da área a futuros eventos de queima através dos índices espectrais, os dados obtidos pelos cálculos realizados foram submetidos a uma classificação por árvore de decisão.

Os dados foram submetidos ao modelo de classificação CaRT (Classification and Regression Tree), desenvolvido por Breiman [36], cujo método estatístico permite a construção de árvores de decisão e de regressão, em que a árvore de decisão associa cada nó-folha da árvore a uma classe ou a um valor contínuo, a árvore de regressão. O primeiro nó é denominado nó raiz, nó principal da árvore. Os nós abaixo deste são denominados nós filhos, e estão conectados por ramos, e as folhas associam-se a um valor [37]. O funcionamento da árvore de decisão ocorre através da separação de um conjunto de dados em subconjuntos, até que se atinja homogeneidade em cada subconjunto [38, 39]. A árvore de decisão é desenvolvida utilizando um procedimento de divisão binária, segmentando as populações em subconjuntos significativos. Os pontos anteriormente classificados como queimados são tidos como 1 e os não queimados como 0.

A partir dos dados da tabela de atributos, foram selecionados os valores dos índices NDVI, EVI e NBR da cena pré-fogo de 11 de julho de 2020. Esses dados foram analisados através do software Jupyter Notebook, plataforma de computação interativa de código aberto, com o uso da linguagem de programação Python. Implementou-se o script Decision Tree Classifier, que permite avaliar a acurácia do modelo aplicado. A árvore de decisão utilizou como variáveis de entrada os índices espectrais NDVI, NBR e EVI, com o objetivo de identificar valores limiares capazes de associar esses índices à ocorrência de queimadas.

A classificação das variáveis partiram do estabelecimento de alguns parâmetros, tais como: a entropia, a fim de definir a homogeneidade das amostras, com o critério para dividir os nós da árvore de decisão e determinar como classificar os dados; a profundidade, cujos valores mínimos de amostras foram estabelecidos para considerar a divisão de um nó de decisão (tal profundidade representa os níveis da árvore de decisão, ou seja, a partir da primeira decisão gera-se a profundidade 1, e esta é constituída de outras decisões, que levam a profundidade 2 e assim sucessivamente); e utilizado o splitter do tipo “melhor”, adotado como estratégia para dividir o nó.

Adicionalmente, foi realizada uma revisão não sistemática da literatura, com o uso da plataforma Google Scholar, utilizando as palavras-chave “biomassa”, “campo”, “material combustível”. As palavras selecionadas referem-se aos termos de interesse para o estudo, considerando-se as fitofisionomias e ecossistemas que apresentam características semelhantes aos campos de altitude. Desta forma, enquadraram-se nos critérios estabelecidos as áreas de campo de formações campestres do bioma Cerrado como campo limpo e campo sujo, e do bioma Pampa. Por fim, foi realizado um levantamento não sistemático na literatura acerca das estratégias de manejo e controle de queimadas realizadas em UCs em diferentes estados no Brasil. As UCs são divididas em unidades de proteção integral (estação ecológica, reserva biológica, parque nacional, monumento natural e refúgio da vida silvestre) e de uso sustentável (área de proteção ambiental, floresta nacional, área de relevante interesse ecológico, reserva extrativista, reserva da fauna, reserva extrativista, reserva de desenvolvimento sustentável e reserva particular do patrimônio natural), conforme definido pela Lei nº 9.985, de 2000.

Resultados

A partir das amostras extraídas em locais onde houve a passagem do fogo no evento de queima registrado em 2020, foram obtidos os pesos úmidos e secos (g/m^2) da biomassa, e após realizadas as análises espectrais e o processamento dos dados, obtiveram-se os índices NDVI, EVI e NBR (Tabela 2).

Tabela 2 – Peso úmido e seco da biomassa e índices espectrais de amostras coletadas em diferentes coordenadas geográficas na Serra Fina, APA Mantiqueira, sudeste do Brasil.

Amostra	Coordenadas		Peso (g/m ²)	Peso (g/m ²)	Índices espectrais		
	Latitude	Longitude	Úmido	Seco	NDVI	EVI	NBR
1	22°25'24.6"S	44°50'39.6"O	1.001,23	624,69	0,30	0,18	0,17
2	22°25'23.0"S	44°50'43.1"O	2.481,02	1.343,06	0,29	0,20	0,16
3	22°25'21.9"S	44°50'54.3"O	1.077,90	627,06	0,21	0,11	0,17
4	22°25'16.7"S	44°50'54.3"O	1.023,96	647,48	0,29	0,21	0,17

Fonte: os autores, 2023.

Por meio do cálculo do Índice Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada (delta NBR), através da subtração do NBR da cena antes do incêndio e após o evento, identificaram-se as áreas afetadas pela queima, visto que após o evento de queimada o comportamento espectral da vegetação sofreu alterações (Figura 2).

Considerando como referência os pontos em que a biomassa foi coletada em campo em área comprovada como queimada por meio do mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil de 1985 a 2022 fornecido pelo Map Biomas, os pontos classificados como área queimada foram aqueles cujo valor do índice dNBR apresentava-se maior ou igual a +60, e como área não queimada aqueles com valores menores que +60. Dentre os mil e quatro pontos analisados, 66 deles foram classificados como área queimada (Figura 2).

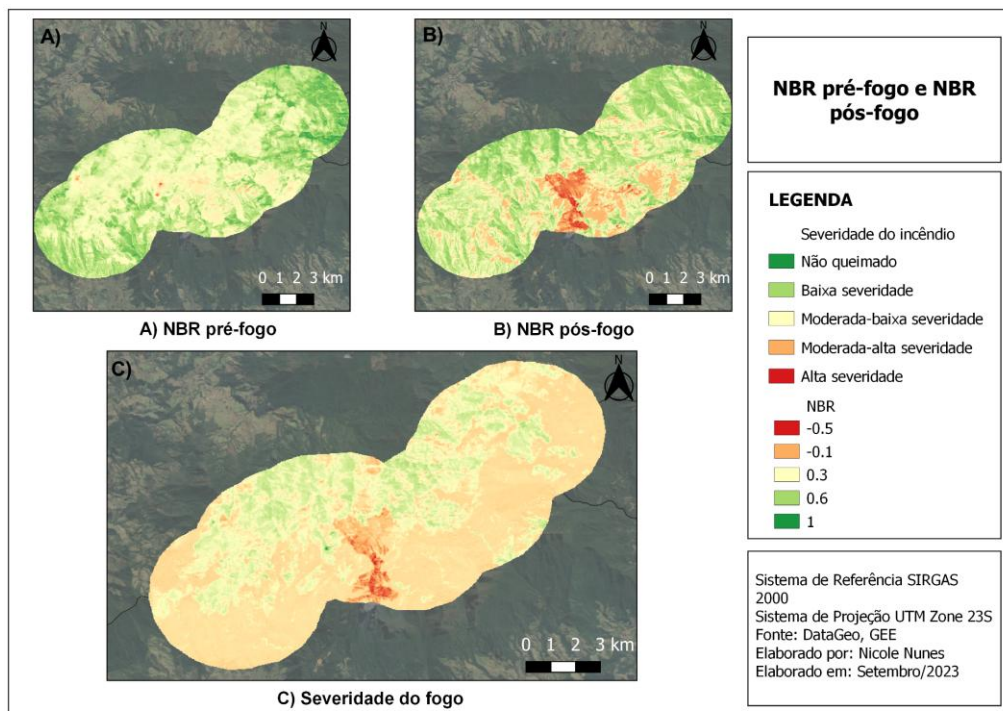


Figura 2 – Diferença de Índice de Queima Normalizada (NBR) e Mapa de Severidade do fogo. (A) NBR da cena anterior ao evento de fogo; (B) NBR da cena posterior ao evento de fogo; e (C) Severidade do fogo obtida pela diferença das cenas pré e pós fogo.

Fonte: os autores.

A árvore de decisão foi definida com profundidade 4, mínimo de amostras para divisão 2 e mínimo de amostras por folha 1. Os valores observados de entropia nas folhas não foram valores desejáveis próximos de zero, pois a entropia avalia a impureza de um conjunto de dados em um determinado nó da árvore, i.e., quanto mais próximos de zero, maior a pureza na classificação dos dados. Desta forma, nota-se que houve muita incerteza na classificação e a árvore de decisão não pôde fazer uma escolha clara. A média de precisão do modelo foi de 97% e a acurácia foi de 98% de previsões corretas em relação ao total de previsões.

O primeiro nó da árvore, raiz, partiu do dado de índice de EVI do ponto classificado como queimado, pelo valor $\leq 0,231$, a fim de relacionar com outros dados de índices NDVI e NBR disponibilizados. O segundo nó para o lado esquerdo indica que a condição foi verdadeira, se enquadra no especificado. No entanto, à medida que as decisões são tomadas, outras ramificações surgem e o modelo não consegue alcançar uma decisão definitiva e clara ou um resultado para os dados de entrada, o que pode estar relacionado à insuficiência de características disponíveis e relevantes que podem prejudicar a capacidade da árvore de decisão de fazer especificações.

O estudo empregou o uso de parâmetros para a determinação de um limiar através de índices espectrais por meio da classificação por árvore de decisão realizada. No entanto, observou-se que os índices espectrais não se mostraram diretamente significativos para prever eventos de queimadas, a partir dos dados de biomassa. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de a quantidade de biomassa não ser o único fator determinante para a ocorrência de queimadas. O comportamento do fogo em áreas de campo é resultado da interação entre diversos fatores, como as condições do material combustível, topografia, clima, técnica de queima e ignição [40]. Incêndios de grandes proporções têm ocorrido em áreas protegidas do Cerrado, especialmente causados pela combinação do acúmulo de biomassa e do uso das terras [41], relacionados à agricultura e à pecuária predatórias. No entanto,

nosso trabalho indica que somente a biomassa não pode diferenciar áreas queimadas de áreas não queimadas em campo de altitude. De fato, alguns estudos que realizaram a quantificação de biomassa em diferentes ecossistemas campestres apontam que apesar de haver um aumento no acúmulo de biomassa ao longo do tempo, e que varia em função do tipo de vegetação, áreas com três meses pós-queima possuem valores de biomassa muito semelhantes a áreas com seis meses sem queima, e também entre áreas com dois e quatro anos, demonstrando uma rápida recuperação da biomassa ao longo do tempo (Tabela 3). Tal fato está associado à evolução, resiliência e dependência dessas áreas à passagem do fogo [9].

Tabela 3 – Quantificação de biomassa em áreas de campo (limpo, sujo, altitude, pampa), conforme revisão de literatura.

Ecossistema	Biomassa	Tempo	Referência
Campo sujo	$25 \pm 13 \text{ g.m}^{-2}$	1 dia	[41]
Campo sujo	377 g.m^{-2}	3 meses	[45]
Campo sujo	341 g.m^{-2}	3 meses	[45]
Campos gramíneos	$370 \pm 172 \text{ g.m}^{-2}$	6 meses	[46]
Campo sujo	$492 \pm 25 \text{ g.m}^{-2}$	2 anos	[41]
Campo sujo	$343 \pm 90 \text{ g.m}^{-2}$	2 anos	[44]
Campo úmido	255 g.m^{-2}	2 anos	[43]
Campo úmido	460 g.m^{-2}	4 anos	[43]
Campo sujo	$620 \pm 229 \text{ g.m}^{-2}$	7 anos	[44]
Campo de altitude – Serra Fina	$811 \pm 355 \text{ g.m}^{-2}$	3 anos	Os autores, 2023

Fonte: os autores, 2023.

Em comparação com os outros ecossistemas e tempos após o incêndio, o campo de altitude na Serra Fina apresentou uma biomassa mais alta em menor período de tempo, indicando uma rápida recuperação pós-fogo. No entanto, o número de amostras coletadas foi pequeno, devido ao difícil acesso à Serra Fina e ao transporte do material coletado, que provavelmente não representa as características de toda a área de estudo. Além disso, a recuperação de biomassa em áreas de vegetação campestre, após eventos de queima, pode variar ao longo dos anos, dependendo de diversos fatores, incluindo a intensidade do incêndio, as condições climáticas, a composição da vegetação e a capacidade de regeneração natural [42]. Ademais, se essas áreas não forem queimadas por um longo período, pode-se observar o surgimento de alguns cenários, como a diminuição da representatividade da biomassa de herbáceas e o aumento das plantas arbustivas [43, 44].

Desta forma, é possível compreender que a quantidade de biomassa existente em uma área determinada não é, por si só, o fator determinante para a ocorrência de queimadas, mas é um dos fatores que contribuem para

que estes eventos ocorram. Portanto, os manejos do material combustível e do fogo podem ser utilizados para influenciar a dinâmica da biomassa e da vegetação nesses ecossistemas e prevenir a incidência de incêndios catastróficos, como o que ocorreu na Serra Fina.

As estratégias de manejo identificadas nas UCs e adotadas para gerenciar e reduzir os riscos associados ao fogo foram bem semelhantes entre si (Tabela 4). Assim, observou-se que há combinações de estratégias de manejo e não apenas a aplicação de uma: em 76,9% das UCs levantadas empregaram-se queimadas controladas e monitoradas que visavam reduzir o risco de incêndios de alta gravidade. As UCs analisadas também adotaram o uso de queimas prescritas em 53,8% e a criação de aceiros negros em 15,4%. Além desses manejos utilizados, é importante levar em conta a relação do ser humano com as UCs. A área objeto deste estudo atrai muitos turistas, em virtude da paisagem e das trilhas que ela oferece, e, por conta disso, faz-se necessário adotar medidas de conscientização acerca dos cuidados com a área e de educação ambiental para as pessoas que visitam a região.

Tabela 4 – Manejo e controle de queimadas em UCs.

Unidade de conservação	Estado	Estratégia de manejo
Parque Nacional do Itatiaia	RJ	Queima prescrita
Parque Nacional da Chapada das Mesas	MA	Queimas controladas na forma de mosaico, conscientização ambiental e recuperação de áreas degradadas por incêndios até a seleção de áreas para queimas prescritas
Parque Estadual do Jalapão	TO	
Estação Ecológica de Serra Geral	TO	
Parque Estadual de Vila Velha	PA	Queimas controladas na forma de mosaico
Parque Nacional das Sempre-Vivas	MG	Queimas controladas
Área de Proteção Ambiental do Jalapão	TO	Queimas controladas
Parque Nacional da Chapada das Emas	GO	Queimas controladas
Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros	GO	Queimas controladas
Estação Ecológica de Itirapina	SP	Queimas controladas, queima prescrita
Reserva Natural Serra do Tombador	GO	Queimas prescritas e aceiros negros

Fonte: os autores, 2023.

Conclusão

Assim, verificou-se que, passados cerca de três anos após a ocorrência de fogo, as áreas de campo de altitude na Serra Fina apresentaram altos níveis de acúmulo de material combustível, dificultando sua diferenciação em relação a áreas não queimadas. O número reduzido de amostras de biomassa coletadas durante a visita em campo, em razão da dificuldade de acesso à área de estudo, pode limitar a representatividade dos dados e a extrapolação dos resultados para toda a Serra Fina. A fonte de ignição, seja ela natural ou humana,

acidental ou criminosa, aliada a essa disponibilidade de continuidade espacial de áreas com alto acúmulo de biomassa, pode ser mais responsável por incêndios catastróficos. Apesar disso, o alto acúmulo de material observado na área de estudo, em apenas três anos, recomenda que sejam utilizadas estratégias para gerenciar esse material. Várias áreas protegidas com ecossistemas campestres têm adotado o manejo integrado do fogo, com o uso de queimas prescritas e controladas, para gerenciar o material combustível e prevenir queimadas de maiores proporções.

Agradecimentos

Agradecemos a todos que contribuíram na coleta de amostras de biomassa em campo no local de estudo e ao Sisbio pela autorização para a realização de pesquisa (90172).

Declaração de uso de inteligência artificial

Não foi utilizada inteligência artificial em nenhuma etapa do manuscrito.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses, de natureza pessoal, comercial, política, acadêmica ou financeira, que possa ter influenciado a elaboração, condução ou publicação deste trabalho.

Contribuição de autores (Taxonomia CRediT)

Papel CRediT	Descrição	Autores
Conceitualização	Ideação do projeto, formulação da pesquisa	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes; Rogério Galante Negri.
Curadoria de dados	Gerenciamento, limpeza e manutenção de dados	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes.
Análise formal	Aplicação de técnicas estatísticas ou matemáticas	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes; Rogério Galante Negri; Cheila Flávia de Praga Baião.
Aquisição de financiamento	Obtenção de recursos financeiros	-
Investigação	Execução do estudo, coleta de dados, experimentos	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes; Cheila Flávia de Praga Baião.
Metodologia	Desenvolvimento ou design de métodos e procedimentos	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes.
Administração do projeto	Gestão e coordenação do projeto	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes.

Recursos	Fornecimento de materiais, reagentes, equipamentos	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes.
Software	Desenvolvimento de software, códigos ou algoritmos	Nicole Christine Claro Nunes; Cheila Flávia de Praga Baião.
Supervisão	Orientação e supervisão geral do projeto	Klécia Gili Massi; Rogério Galante Negri, Nicole Christine Claro Nunes.
Validação	Verificação da precisão e consistência dos resultados	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes Rogério Galante Negri.
Visualização	Preparação de figuras, gráficos e representações visuais	Nicole Christine Claro Nunes; Cheila Flávia de Praga Baião.
Redação – rascunho original	Preparação do manuscrito inicial	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes.
Redação – revisão e edição	Revisão crítica e edição do manuscrito	Klécia Gili Massi; Nicole Christine Claro Nunes.

Depósito dos dados da pesquisa

Os autores informam que os dados poderão ser enviados, se requisitados.

Referências

1. IBGE. Características étnico-raciais da população. Rio de Janeiro: IBGE; 2013.
2. Lagos AR, Muller BLA. Hotspot Brasileiro - Mata Atlântica, 2007; 2(2): 35-45
3. Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 2000; 403: 853–858.
4. Scardua FP, Leuzinger MD. Mata Atlântica: as inconsistências dos instrumentos legais de utilização e proteção. *Rev Inf Legisl*. 2011; 48(191): 123-38.
5. MMA. Campos de altitude - CONAMA. Brasília: MMA; 2009.
6. Stam G. A riqueza dos campos de altitude [Internet]. Pesquisa FAPESP. 2019 [citado em 2023 set 15]. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-riqueza-dos-campos-de-altitude/>
7. Vasconcelos MF. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil? *Rev Bras Bot*. 2011; 34(2): 241–246. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000200012>. Acesso em: 15 set. 2023.
8. Aximoff I, Rodrigues RC. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. *Ciência Florestal*. 2016; 21(1): 83–92. doi: <https://doi.org/10.4257/oeco.2016.2002.05> Acesso em: 02 set. 2023.
9. Pivello VR, Vieira I, Christianini AV, Ribeiro DB, Menezes AS, Berlinck CN, et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspect Ecol Conserv*. 2021; 19(3): 233–255. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>.
10. Hardesty J, Myers R, Fulks W. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *Fire Manag*. 2005; 22(4): 78–87.
11. Myers RL. Convivendo com o fogo: manutenção dos ecossistemas & subsistência com o manejo integrado do fogo. Tallahassee: Global Fire Initiative, The Nature Conservancy; 2006. p. 1-7.
12. Frost PGH, Robertson F. The ecological effects of fire in savannas. In: Walker BH, editor. *Determinants of Tropical Savannas*. Oxford: IRL Press; 1987. p. 93–140.

13. Simon MF, Grether R, Queiroz LP, Skema C, Pennington RT, Hughes CE. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009; 106(48): 20359–20364. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>
14. Simon MF, Pennington RT. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. *Int J Plant Sci*. 2012; 173(6): 711–723.
15. Kuntschik DP, Eduarte M, Uehara THK. *Matas ciliares*. 2. ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais; 2014. 80 p. (Cadernos de Educação Ambiental, 7).
16. Pillar VP, Vêlez E. Extinção dos campos sulinos em unidades de conservação: um fenômeno natural ou um problema ético? *Nat Conserv*. 2010; 8(1): 84–86. doi: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/natcon.00801014>. Acesso em: 15 set. 2023.
17. Safford HD. Brazilian páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *J Biogeogr*. 1999; 26: 693–712.
18. Ferraz SFB, Nichols E, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, Ribeiro MC. How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? *Landscape Ecol*. 2014; 29: 187–200.
19. Kumar P, Ghose MK. Remote sensing-derived spectral vegetation indices and forest carbon: testing the validity of models in mountainous terrain covered with high biodiversity. *Curr Sci*. 2017; 112(10): 2043–2050.
20. Mantovani LP, Leite AR, Mantovani JPM, Simões BNS, Gonçalves ESS, Neves FP, et al. Biomassa e energia. *Rev Agron Bras*. 2022;6:rab202221. Available from: <https://doi.org/10.29372/rab202221>
21. Herrmann PB, Nascimento VF, Freitas MWD. Sensoriamento remoto aplicado à análise de fogo em formações campestres: uma revisão sistemática. *Rev Bras Cartogr*. 2022; 74(2): 459–479.
22. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (BR). APA da Serra da Mantiqueira [Internet]. Brasília: ICMBio; 2021 [citado em 2023 set 2]. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2177-apa-da-serra-da-mantiqueira>
23. Secretaria de Estado de Cultura e Turismo de Minas Gerais (BR). Travessia da Serra Fina [Internet]. Belo Horizonte: SECULT-MG; 2018 [citado em 2023 set 15]. Disponível em: <https://www.minasgerais.com.br/pt/roteiros/travessia-da-serra-fina>. Acesso em: 15 set. 2023.
24. Chiessi CM. Tectônica Cenozóica do Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ). [dissertação]. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo; 2004.
25. Vilanova MRN. The need for ecohydrological research in Brazilian mountains: the case of the Serra da Mantiqueira Range. *Braz Arch Biol Technol*. 2025; 68: e25241023. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2025241023>
26. Massi KG, Ribeiro SC, Barros RR, Hellich FFH. A construção de uma rede de apoio como resposta ao incêndio florestal da Serra Fina. In: Rede de Apoio Pós-Incêndio na Serra Fina [Internet]. Scribd; 2021 [citado 2026 set 9]. Disponível em: <https://id.scribd.com/document/718806975/MASSI-Klecia-G-A-Construcao-de-uma-rede-de-apoio-como-resposta-ao-incendio-florestal-da-Serra-Fina>
27. Becker WR, Ló TB, Johann JA, Mercante E. Statistical features for land use and land cover classification in Google Earth Engine. *Remote Sens Appl Soc Environ*. 2021; 21: 100459.
28. Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens Environ*. 2017; 202: 18–27.
29. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (BR). Satélite Landsat 8 e sensores OLI: características e aplicações. Brasília: EMBRAPA; [s.d.].
30. United States Geological Survey. Landsat 8 (OLI/TIRS) data users handbook. Reston (VA): USGS; 2013.
31. Pereira AA, Teixeira FR, Libonati R, Melchiori EA, Carvalho LMT. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no Cerrado utilizando dados Landsat TM. *Rev Bras Cartogr*. 2016; 68(8): 1665–1680.
32. Laurentino MLS, Silva HA, Silva JCB, Santana SHC, Moraes YCB, Galvêncio JD. Aplicação dos índices de NDVI e EVI como análise da variação fisionômica da vegetação no Brejo de Altitude de Serra Negra-Bezerros/PE-Brasil. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 30 abril - 5 maio; 2011. Curitiba, PR, Brasil, INPE; p. 3182–3189.
33. Roy DP, Boschetti L, Justice CO, Ju J. The collection 5 MODIS burned area product: global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. *Remote Sens Environ*. 2008; 112(9): 3690–3707.
34. Key CH, Benson NC. Landscape Assessment (LA). In: FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Fort Collins (CO): USDA Forest Service, Rocky Mountains Research Station General Technical Report RMRS-GTR-164-CD; 2006. p. LA-1–55.

35. Rocha R, Güntzel AM. Análise do grau de severidade do incêndio ocorrido em 2020 na RPPN Engenheiro Eliezer Batista, Corumbá/MS, Campo Grande (MS): Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul; 2020.
36. Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ. Classification and regression trees. New York: Chapman & Hall; 1984.
37. Rezende SO. Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações. Barueri: Editora Manole; 2003.
38. Witten IH, Frank E, Hall MA. Data mining: practical machine learning tools and techniques. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann; 2011. 665 p.
39. Sato LM, Shimabukuro YE, Kuplich TM, Gomes VCF. Análise comparativa de algoritmos de árvore de decisão do sistema WEKA para classificação do uso e cobertura da terra [Internet]. 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.55.20/doc/p0734.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.
40. Torres FTP. Relação entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). Caminhos Geogr. 2006; 7(18): 162–171.
41. Fidelis A, Pivello VR. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? Biodiversidade Brasileira. 2011; (2): 12-25. doi: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v1i2.102>
42. Miranda HS, Neto WN, Neves BMC, editores. Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do Projeto Fogo. Brasília (DF): IBAMA; 2010. 144 p.
43. Fidelis A, Lyra MFS, Pivello VR. Above- and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. J Veg Sci. 2013; 24(3): 356–364.
44. Chiari GL. Avaliação da produtividade em áreas de campo sujo com diferentes históricos de fogo [Internet]. 2014. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNSP_e3dbe6cef992ac1965ae0a5dc6f13d24. Acesso em: 05 out. 2023.
45. Silva JSO, Harisadan M. Acúmulo de biomassa aérea e concentração de nutrientes em Melinis minutiflora P. Beauv. e gramíneas nativas do cerrado. 2007; 30(2): 337-344. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/y9VtGgdXfmhkcjxnyZbjYM/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 05 out. 2023.
46. White BLA, Ribeiro AS, White LAS, Ribeiro GT. Caracterização do material combustível superficial no Parque Nacional Serra de Itabaiana – Sergipe, Brasil. Cienc Florest. 2014; 24(3): 699–706.
47. Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium; 1973; Washington (DC). p. 309-317.
48. Huete AR, Justice CO, Liu HQ, et al. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for MODIS-EOS. Remote Sens Environ. 1997; 59: 440–451.

Biodiversidade Brasileira

Fluxo Contínuo

v. 16 n.3, 2026

<https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a difusão de experiências em conservação e manejo de unidades de conservação, gestão e uso sustentável de recursos naturais renováveis, biodiversidade e espécies ameaçadas, fiscalização e proteção da biodiversidade e patrimônio natural, e educação e formação para a conservação da sociobiodiversidade.

ISSN: 2236-2886