

SUSCETIBILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS E DETERMINAÇÃO DOS PONTOS MAIS EFICIENTES PARA A INSTALAÇÃO DE TORRES DE DETECÇÃO NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE

Manuel Pastor Francisco Conjo¹, Victor Benjamim Victor², Fillipe Tamiozzo Pereira Torres³, Gisele Mara Hadlich⁴

^{1,3} Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, 36570-900 Viçosa, MG, pastorconjo007@gmail.com; tamiozzo@ufv.br; ^{2,4} Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Av. Barão de Jeremoabo, s/n. 40170-290 Salvador, BA, victor.valane@gmail.com; giselemara.ufba@gmail.com

RESUMO

O estudo teve por objetivo analisar a suscetibilidade aos incêndios florestais na região sul de Moçambique. Foram mapeadas áreas com suscetibilidade aos incêndios e o resultado foi validado sobrepondo-as aos focos registrados entre 2010 e 2020. Os resultados indicaram 13,9% (23.314,75 km²) da área com baixa, 85% (142.992,07 km²) com média e 1% (1.397,98 km²) com alta suscetibilidade a ocorrências de incêndios; as áreas mais suscetíveis não coincidiram com as de maior número de ocorrências, o que demonstra a importância do fator antrópico. O procedimento conduziu à elaboração do mapa de visibilidade que permitiu determinação de seis pontos para a instalação de torres com cobertura de 67% e 88% de área de suscetibilidade média e alta. Concluiu-se que o modelo gerado é adequado e a área de visibilidade das torres é satisfatória.

Palavras-chave — *Mapa de Suscetibilidade, Incêndios Florestais, Ação antrópica, Moçambique.*

ABSTRACT

The study aimed to analyze the susceptibility to forest fires in the southern region of Mozambique. Areas with susceptibility to fires were mapped, and the result was validated by superimposing them on the outbreaks recorded between 2010 and 2020. The results indicated 13.9% (23,314.75 km²) of the area with low, 85% (142,992.07 km²) with average and 1% (1,397.98 km²) with high susceptibility to fire occurrences, highlighting that the more susceptible areas did not coincide with those with the highest number of occurrences, which shows the role of the anthropic factor. The procedure led to the elaboration of the visibility map that allowed the determination of six points for the installation of towers with coverage of 67% and 88% of medium and high susceptibility area. It was concluded that the generated model is adequate, and the visibility area of the towers is satisfactory.

Keywords — *Susceptibility Map, Forest Fires, Anthropic action, Moçambique*

1. INTRODUÇÃO

Embora os incêndios possam desempenhar um papel ecologicamente significativo nos ciclos biogeoquímicos, sua frequência e intensidade muitas vezes levam à destruição da vegetação florestal com efeitos negativos na química atmosférica (poluição atmosférica e emissão de carbono) e na ecologia (perda de biodiversidade, instabilidade da paisagem e proliferação de espécies invasoras), tornando-se também uma ameaça aos bens econômicos e à saúde humana [1].

Em Moçambique, como na maioria dos países tropicais, a área florestal tende a diminuir a um ritmo relativamente acelerado, não só pelo aumento demográfico ou o desmatamento para fins agropecuários, mas também devido às práticas que levam a ocorrências de incêndios florestais. Os incêndios ocorrem anualmente em todo território nacional, durante o período seco e no início das campanhas agrícolas e de caça [2].

O problema do fogo está estreitamente relacionado com algumas práticas de atividades agrícolas impróprias, caça, necessidade de combustível lenhoso e questões socioculturais, principalmente em grandes aglomerados populacionais, resultando na destruição da biodiversidade e dos habitats, na perda da fertilidade de solos, entre outros [3].

Na região Sul de Moçambique, são raros outros estudos trazendo mesma abordagem, se não, relatórios elaborados pelo MICOA (Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental), mas com uma abordagem superficial sobre o fenômeno. Contudo, estudos realizados no Norte do país realizaram abordagens sobre educação ambiental na mitigação do fogo florestal com a sua fauna-bravia em Sussundenga [4] e padrões espaço-temporais de incêndios florestais na Reserva do Niassa usando dados de sensoriamento remoto [1]. A inexistência de estudos desta natureza para a região sul de Moçambique, nas províncias de Gaza, Inhambane e Maputo, impulsionou esta pesquisa cujo objetivo centra-se em analisar a suscetibilidade às ocorrências de incêndios florestais, através da aplicação de tecnologias digitais de geoprocessamento (Sistema de Informações Geográficas - SIG e Sensoriamento Remoto - SR).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Moçambique situa-se na Costa Oriental da África Austral, entre 10°27' e 26°52'S e 30°12' e 40°51'E. Possui uma área de 799.380 km², com regiões de várzea no leste e algumas montanhosas no oeste, com altitudes de até 2.436 m. O sul do país é formado pelas províncias Gaza, Inhambane e Maputo; esta última não computa a região da capital Maputo, com status de província [5].

Para a geração da suscetibilidade aos incêndios foram levadas em consideração seis variáveis contribuintes para a possível deflagração, a partir de uma chama inicial [6]. São elas: temperatura, uso e ocupação do solo, orientação das encostas, altimetria, inclinação do terreno e precipitação. Os dados foram adquiridos junto aos órgãos de planejamento em diferentes formatos, descrito na (Tabela 1).

Dados de Entrada	Formato	Fonte
Uso e Ocupação da Terra	Raster	USGS
Temperatura	Shapefile	MICOA
Precipitação	Raster	TRMM
Orientação das Encostas	Raster	USGS
Altimetria	Raster	USGS
Inclinação do Terreno	Raster	USGS
Focos de Incêndios	Shapefile	INPE

Tabela 1. Formato e fontes de obtenção de dados de entrada para geração de mapa de suscetibilidade a incêndios.

Os procedimentos foram realizados na plataforma computacional ArcGIS 10.8, e o fluxograma apresentado na (Figura 2) exibe os procedimentos metodológicos.

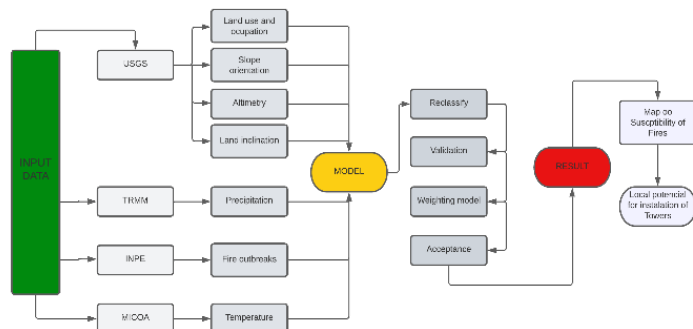


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Para elaboração do mapa utilizou-se o modelo proposto por White, White e Ribeiro [7], no qual foram determinadas notas (0 a 3) para cada parâmetro (Tabela 2), de maneira que quanto maior a nota, maior a influência do parâmetro na suscetibilidade a incêndio (1 – baixa, 2 – média, 3 – alta). As notas foram atribuídas de acordo com outros autores [6, 8, 9]. O mapa de suscetibilidade final foi elaborado a partir da técnica de álgebra de mapas temáticos das variáveis em análise. A sobreposição foi realizada a partir de adaptação do modelo proposto por Prudente (2010) [10], pela expressão:

$$\text{Suscetibilidade} = T (6) + US (47) + OE (10) + A (12) + IT (20) + P (5)$$

onde: T = temperatura; US = uso e ocupação do solo; OE = orientação das encostas; A = altitude; IT = inclinação do terreno; P = Precipitação.

Parâmetros	Classes	Nota	Suscetibilidade
Temperatura	17,5 - 20	1	Baixa
	20 - 25	2	Média
	> 25	3	Alta
Uso e ocupação de solo	Mancha de água	1	Nula
	Mancha urbana	2	Baixa
	Áreas de cultivo, vegetação arbórea	3	Média
Orientação das encostas	Vegetação herbácea, Área arbustiva	3	Alta
	Sudeste, Sul e Sudoeste	1	Baixa
	Leste e Nordeste	2	Média
Altimetria	Noroeste, Oeste e Norte	3	Alta
	-5 a 200m	1	Baixa
	201 a 400m	2	Média
Inclinação do terreno	400m em diante	3	Alta
	0 - 8%	1	Baixa
	8 - 45%	2	Média
Precipitação	>45%	3	Alta
	700 - 1.000	1	Baixa
	500 - 700	2	Média
	300 - 500	3	Alta

Tabela 2. Notas atribuídas aos parâmetros de suscetibilidade a incêndios florestais.

A validação do modelo foi feita com os focos de calor identificados durante 2010 a 2020: foram sobrepostos, a cada área de suscetibilidade, os focos de calor existentes, segundo o monitoramento realizado pelo INPE [11].

Definidas as áreas com maior suscetibilidade de incêndio, procedeu-se à identificação dos locais potenciais para implantação de torres de detecção de incêndios. Foram analisados os seguintes fatores [12; 13]: relevo (cotas de maior altitude); proximidade das vias de acesso, proximidade das regiões classificadas com suscetibilidade moderada e alta, e o uso e ocupação da terra.

Moreira, Mendes e Santos [13] apontam que o melhor local para a construção da torre deve considerar as características do relevo, pois as cotas de maior altitude possibilitam um raio superior de visão da área; acrescentam que a proximidade das vias de acesso é importante, pois não é interessante que os vigias se desloquem a pé por grandes distâncias. Portanto, considerou-se que a maior distância entre as vias de acesso e as torres deve ser de 1.000 metros.

A escolha dos locais para instalação das torres buscou possibilitar uma maior cobertura das regiões classificadas com suscetibilidade moderada e alta para a ocorrência de incêndios. Em relação ao uso da terra, foram excluídas as áreas com remanescentes de vegetação nativa. Utilizando os critérios mencionados, procedeu-se a determinação dos pontos eficientes por meio da extensão *ViewShade Analysis*,

do software ArcGIS 10.8. Foram identificados os espaços, possibilitando gerar uma área visível abrangida por cada torre e a dimensão de sua cobertura, tal qual utilizado em outro estudo [14]. Para uso da extensão, foi necessário informar os pontos de instalação assim como altura da torre e raio de visão, com base nas informações geradas pela função *Visibility*. Adotou-se altura de 30 metros para as torres e raio de visão de 15 km, valores considerados adequados [13].

3. RESULTADOS

A distribuição espacial da suscetibilidade na área pesquisada resultou em três (3) classes, segundo a Figura 3, categorizando os distintos níveis de possibilidade de ocorrência de incêndios florestais na região.

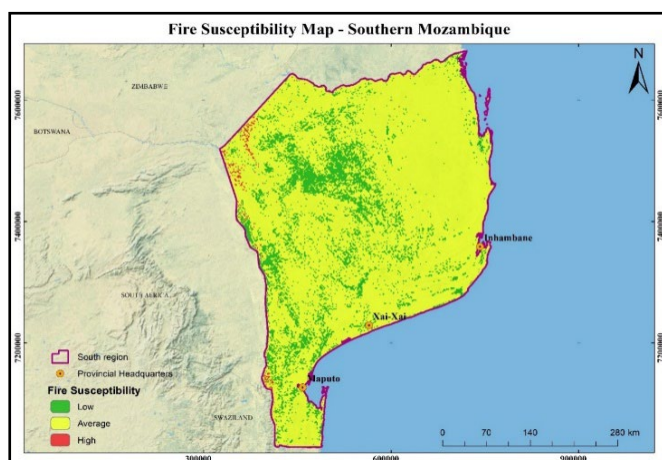


Figura 3. Mapa de suscetibilidade a incêndios na Zona Sul de Moçambique.

O modelo resultou em: 13,9% (2.331.475,22 ha) da área total da região é de baixa suscetibilidade; 85% (14.299.207 ha) média suscetibilidade e apenas 1% (139.798,23 ha) equivale a áreas de alta suscetibilidade a incêndios florestais. As variáveis que mais ditaram os resultados foram: uso e ocupação do solo, altimetria, inclinação das encostas, temperatura e posteriormente a precipitação.

A Tabela 3 apresenta a distribuição espacial dos focos de incêndios, a partir do resultado encontrado na modelagem.

Classes	Focos/ha
Baixa	0,009
Média	0,007
Alta	0,006
Média	0,008

Tabela 3. Focos por hectare em cada classe de suscetibilidade

Os procedimentos metodológicos descritos conduziram também à determinação de seis pontos mais eficientes. O cálculo de visibilidade apurou 67% de área de média e 88% de alta suscetibilidade cobertas pelas torres de vigilância propostas.

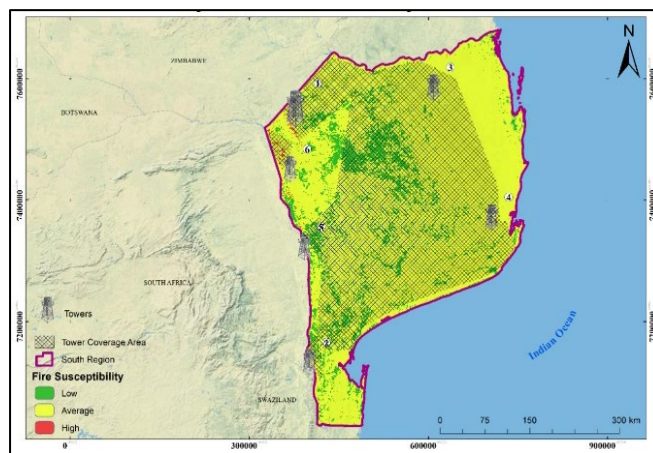


Figure 4: Mapa dos pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção

4. DISCUSSÃO

Observa-se que as regiões noroeste e uma parte sul da área estudada mostraram elevada suscetibilidade por apresentarem vegetação herbáceo-arbustiva, estarem voltadas ao norte, com declividade elevada e, portanto, recebem maior radiação. Geralmente o posicionamento do lugar, em relação à quantidade de radiação solar recebida e sua inclinação, é determinante para a suscetibilidade a incêndios florestais, pois em orientações voltadas para entre Norte e Oeste, as curvaturas divergentes e encostas com maiores inclinações tendem a receber maior quantidade de radiação solar [9]. Isto influencia na secagem de diferentes tipos de materiais combustíveis, em cada encosta e/ou inclinação, propiciando determinado lugar a maior ou menor suscetibilidade [6, 15, 16].

A região sul de Moçambique é, na sua maioria, plana e por isso é baixa a porcentagem de áreas classificadas como suscetibilidade alta. Em locais declivosos a propagação do fogo é rápida em comparação àquela de áreas sem declividade devido ao efeito de fatores adicionais, como a convecção e a radiação solar que, mesmo atuando em áreas planas, condicionam suscetibilidade mais elevada em áreas mais declivosas [9]. Por essa razão, em Moçambique as zonas de alta suscetibilidade aos incêndios florestais distribuem-se mais ao norte do país, onde o relevo é planáltico a montanhoso, elevando-se de sul para o norte do país [1].

Com relação à validação do modelo gerado, percebe-se que a suscetibilidade aos incêndios florestais, em função das características do meio físico (Tabela 3), não foi decisiva em relação à localização dos focos de incêndios. Isto justifica-se pela ação humana que muitas vezes se fixa e desenvolve suas atividades com o uso irracional dos recursos, utilizando o fogo que acaba por provocar incêndios [17, 18]. As atividades humanas em Moçambique são responsáveis pela degradação ambiental, com o desmatamento de áreas vegetadas para a produção de lenha e os incêndios florestais que atingem uma área de 30 milhões de hectares de floresta e outras terras (38% do território) a cada ano [19]. Direta ou indiretamente, as

ações antrópicas figuram-se, portanto, como principais responsáveis pela ocorrência de incêndios florestais nos diferentes lugares, fazendo com que áreas de baixa suscetibilidade do meio físico apresentem mais ocorrências que áreas de alta suscetibilidade, como foi o identificado nos resultados.

Com relação à proposta de alocação de torres de detecção, o resultado é condizente com o estudo de White; White e Ribeiro [7] que estima que uma visibilidade ou cobertura de 70 a 80% da área pode ser considerada satisfatória. Sendo assim, o presente estudo torna-se aceitável diante do valor de visibilidade alcançado das torres para os locais difundidos.

5. CONCLUSÕES

Apesar de as características físicas relacionarem-se fortemente com as áreas mais suscetíveis a incêndios, as áreas mais planas concentram maior número de focos em decorrência da ação humana ligada a formas de uso e ocupação do solo, apontadas como principais razões das ocorrências de incêndios florestais.

Em relação à determinação dos pontos mais eficientes da instalação de torres de detecção na região sul, as seis (6) torres são suficientes para visibilidade de 67% de área com suscetibilidade média e 88% de alta suscetibilidade.

6. REFERÊNCIAS

- [1] E. J. S. Nhongo *et al.* Probabilistic modelling of wildfire occurrence based on logistic regression, Niassa Reserve, Mozambique. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 10, p. 1772-1792, 2019.
- [2] Ministério para a Coordenação e Ação Ambiental, República de Moçambique. *Plano de ação para prevenção e controle às queimadas descontroladas 2008-2018*. MICOA, Maputo, 2007. 46p.
- [3] A. Grüss *et al.* Producing distribution maps for a spatially explicit ecosystem model using large monitoring and environmental databases and a combination of interpolation and extrapolation. *Frontiers in Marine Science*, v. 5, p. 16, 2018.
- [4] M. E. Macorreia, Educação ambiental na mitigação do fogo florestal com a sua fauna-bravia indiscriminado em Sussundenga - Moçambique. *Ensino em Foco*, Salvador, v. 3, n. 7, p. 72-82, 2020.
- [5] F. Montfort *et al.* Regeneration capacities of woody species biodiversity and soil properties in Miombo woodland after slash-and-burn agriculture in Mozambique. *Forest Ecology and Management*, v. 488, p. 119039, 2021.
- [6] F. T. P. Torres *et al.* Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta e Ambiente*, v. 24, 2017.
- [7] L. A. S. White, B. L. A. White; G. T. Ribeiro. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, p. 41-49, 2016.

- [8] L. S. Camargo *et al.* Mapeamento de áreas suscetíveis a incêndios florestais do município de Petrópolis-RJ. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, p. 630-641, 2019.
- [9] V. J. Santos Júnior, R. B. Prado, E. P. Lima. Modelagem geoecológica da suscetibilidade aos incêndios no Parque Estadual da Lapa Grande, Minas Gerais, Brasil. *Nucleus*, v. 17, p. 101-121, 2020.
- [10] T. D. Prudente. *Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno*. UFU/Mestrado em Geografia, 2010. 114 p.
- [11] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil). *Monitoramento dos Focos Ativos por Países*. INPE, 2021.
- [12] F. R. V. Assis *et al.* Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. *Floresta*, v. 44, p. 133-142, 2014.
- [13] P. A. G. Moreira, T. Mendes, D. F. Santos. Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para prevenção de risco de incêndios florestais. *Ciência Florestal*, v. 30, p. 1266-1282, 2020.
- [14] J. Aben, P. Pellikka, J. M.J. Travis. A call for viewshed ecology: advancing our understanding of the ecology of information through viewshed analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 9, n. 3, p. 624-633, 2018.
- [15] F. T. P. *et al.* Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. *Revista Arvore*, v. 38, p. 811-817, 2014.
- [16] F. T. P. Torres *et al.* Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). *Ciência Florestal*, v. 28, p. 1008-1021, 2018.
- [17] Ministério para a Coordenação e Ação Ambiental, República de Moçambique. *Plano de ação para prevenção e controle às queimadas descontroladas 2008 - 2018*. Maputo: MICOA, 2007. 46 p.
- [18] F. A. Abreu, J. S. A. Souza. Dinâmica espaço-temporal de focos de calor em duas terras indígenas do estado de Mato Grosso: uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororós. *Floresta e Ambiente*, v. 23, p. 1-10, 2016.
- [19] F. Montfort *et al.* Regeneration capacities of woody species biodiversity and soil properties in Miombo woodland after slash-and-burn agriculture in Mozambique. *Forest Ecology and Management*, v. 488, p. 119039, 2021.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.