

RISCO DE INCÊNDIO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE ARAPUÃ, NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Fire risk in the arapuã reservoir micro-watershed, in the Potiguar Semiarid Region

Riesgo de incendio en la microcuenca hidrográfica del embalse Arapuã, en el Semiárido Potiguar



Hélison Amadeus da Silva Costa 

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
E-mail: helisonsilvaip@gmail.com

Joel Medeiros Bezerra 

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
E-mail: joel.medeiros@ufersa.edu.br

Larissa de Oliveira Fontes 

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
E-mail: larissa.fontes@ufersa.edu.br

Ingrid Fialho de Miranda 

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)
E-mail: imiranda1704@gmail.com

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o risco de incêndios florestais na Microbacia Hidrográfica do Açude Angicos (MHAA), localizada na região semiárida do Rio Grande do Norte, com área total de 142,1 km² e perímetro de 80,95 km, por meio da integração de dados geoespaciais e análise multicritério. A metodologia empregou imagens de satélite Sentinel-2 e ALOS PALSAR para a caracterização de variáveis físicas, como uso e ocupação do solo, altimetria, declividade e orientação das vertentes. Utilizou-se o software QGIS para o processamento e reclassificação dos dados, enquanto a técnica Analytic Hierarchy Process (AHP) foi aplicada para a atribuição de pesos aos critérios selecionados. Os resultados indicaram variações significativas no risco de incêndio entre os períodos chuvoso e seco, com maior suscetibilidade associada à presença de vegetação densa e áreas com declividade acentuada. Destacaram-se os municípios de Luís Gomes e Major Sales como os mais vulneráveis ao risco de incêndios. O modelo proposto demonstrou ser eficaz na identificação de áreas prioritárias para ações de prevenção, evidenciando o potencial das geotecnologias na gestão ambiental e territorial de bacias hidrográficas em regiões semiáridas.

Histórico do artigo

Recebido: 15 agosto, 2025
Aceito: 03 dezembro, 2025
Publicado: 29 dezembro, 2025

<https://doi.org/10.33237/2236-255X.2025.7417>

doi

Palavras-chave: Incêndios florestais; Geotecnologias; AHP; Semiárido.



ABSTRACT

This study aimed to assess wildfire risk in the Angicos Reservoir Micro-Watershed (MHAA), located in the semiarid region of Rio Grande do Norte, Brazil, which covers an area of 142.1 km² and has a perimeter of 80.95 km. The analysis was conducted through the integration of geospatial data and multicriteria methods. Sentinel-2 and ALOS PALSAR satellite imagery were used to characterize physical variables, including land use and land cover, elevation, slope, and aspect. Data processing and thematic reclassification were performed using QGIS software, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) was applied to assign weights to the selected criteria. The results indicated marked seasonal variation in wildfire risk, with higher susceptibility during the dry period, particularly in areas with dense vegetation and steep slopes. The municipalities of Luís Gomes and Major Sales were identified as the most vulnerable to wildfire occurrence. The proposed model proved effective in identifying priority areas for preventive actions, demonstrating the potential of geotechnologies to support environmental and territorial management of watersheds in semiarid regions.

Keywords: Wildfires; Geotechnologies; AHP; Semi-arid.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el riesgo de incendios forestales en la Microcuenca Hidrográfica del Açude Angicos (MHAA), ubicada en la región semiárida de Rio Grande do Norte, la cual presenta un área total de 142,1 km² y un perímetro de 80,95 km, mediante la integración de datos geoespaciales y análisis multicriterio. La metodología empleó imágenes satelitales Sentinel-2 y ALOS PALSAR para la caracterización de variables físicas, como el uso y ocupación del suelo, altimetría, pendiente y orientación de vertientes. Se utilizó el software QGIS para el procesamiento y reclasificación de los datos, mientras que la técnica Analytic Hierarchy Process (AHP) fue aplicada para la asignación de pesos a los criterios seleccionados. Los resultados indicaron variaciones significativas en el riesgo de incendio entre los períodos lluvioso y seco, con mayor susceptibilidad asociada a la presencia de vegetación densa y áreas con pendientes pronunciadas. Los municipios de Luís Gomes y Major Sales se destacaron como los más vulnerables al riesgo de incendios. El modelo propuesto demostró ser eficaz en la identificación de áreas prioritarias para acciones de prevención, evidenciando el potencial de las geotecnologías en la gestión ambiental y territorial de cuencas hidrográficas en regiones semiáridas.

Palabras clave: Incendios forestales; Geotecnologías; AHP; Semiárido.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas figuram entre os principais desafios ambientais da atualidade, afetando ecossistemas, economias e sociedades em escala global. A intensificação de eventos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas e incêndios florestais, evidencia a necessidade urgente de compreender e mitigar tais fenômenos (Santos, 2022).

Em regiões semiáridas, como o Oeste do estado do Rio Grande do Norte, esses impactos são particularmente severos, agravando a vulnerabilidade socioambiental local.



No bioma Caatinga, exclusivamente brasileiro, a combinação entre condições naturalmente áridas e alterações nos regimes pluviométrico e térmico intensifica a suscetibilidade ambiental (Oliveira Júnior et al., 2021).

Secas mais intensas e frequentes elevam o risco de incêndios florestais, que provocam danos irreversíveis à vegetação nativa, afetam espécies endêmicas e alteram ciclos naturais de regeneração (Fidalgo; Fernandes, 2023). Dados recentes do Programa Queimadas do INPE indicam que a Caatinga tem registrado aumento expressivo na ocorrência de focos de calor, especialmente durante períodos de estiagem prolongada, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo (INPE, 2023). Além disso, o ICMBio destaca que unidades de conservação inseridas no bioma apresentam vulnerabilidade crescente ao fogo, demandando estratégias específicas de prevenção e resposta (ICMBio, 2022).

Nesse contexto, a gestão adequada das bacias hidrográficas torna-se essencial, visto que a suscetibilidade dessas áreas ao fogo representa um desafio adicional à conservação ambiental e ao manejo sustentável (Vendruscolo et al., 2022).

Microbacias de pequeno porte, como a do Açude Arapuã, em José da Penha/RN, possuem papel estratégico na manutenção e provisão de recursos hídricos para as comunidades locais. A incorporação de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto torna-se, portanto, fundamental para o monitoramento e análise ambiental integrados, contribuindo para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas e para uma gestão mais eficiente dos recursos naturais (Coelho et al., 2024). A integração entre monitoramento contínuo e gestão territorial também favorece avanços na proteção dos ecossistemas e na promoção da sustentabilidade em territórios vulneráveis (Ferreira; Rosa; Carmo, 2023).

Adicionalmente, o mapeamento de áreas de risco de incêndio por meio de técnicas geoespaciais constitui uma abordagem alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 13, 15 e 11, ao fornecer subsídios para a prevenção de desastres naturais, conservação da biodiversidade e fortalecimento da resiliência comunitária (Silva; Conde; Viseu, 2022).

Diante da crescente propensão à ocorrência de incêndios florestais no semiárido brasileiro, este estudo propõe o mapeamento de áreas com potencial risco de incêndio na Microbacia Hidrográfica do Açude Arapuã, utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de sensoriamento remoto. A proposta visa identificar áreas mais

vulneráveis e subsidiar estratégias de prevenção e mitigação, contribuindo para a gestão territorial sustentável e para a adaptação às mudanças climáticas na região.

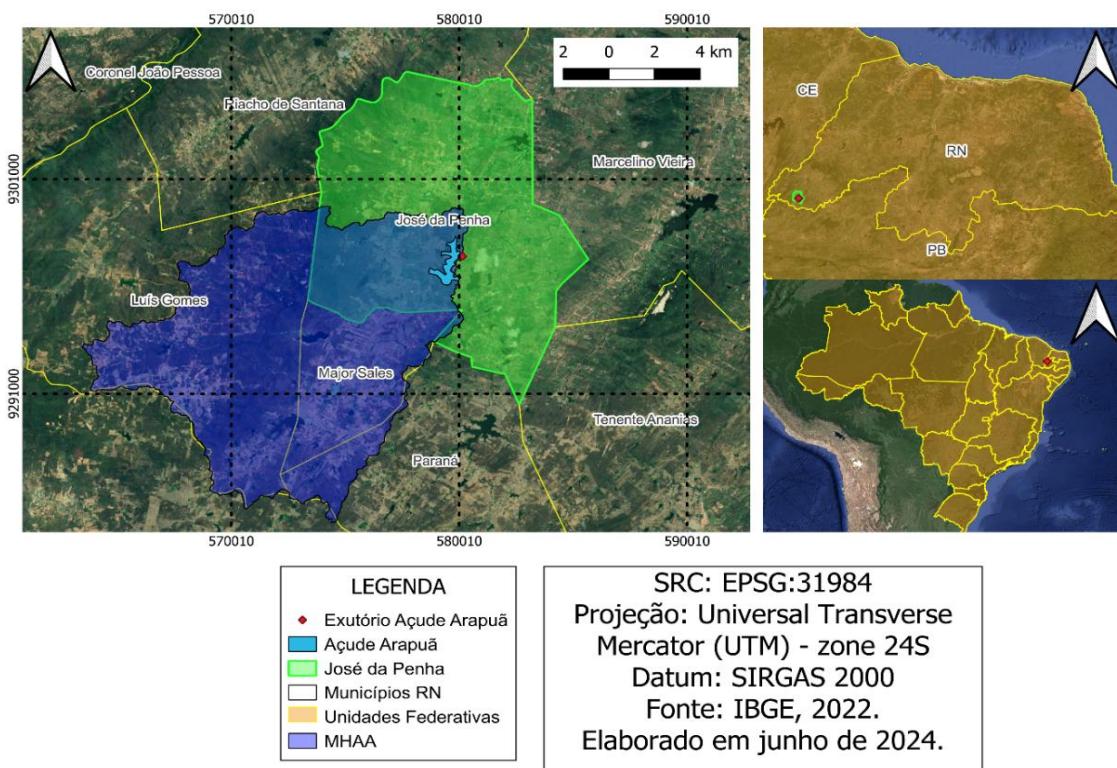
2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida na Microbacia Hidrográfica do Açude Arapuã (MHAA), situada no município de José da Penha, região do Alto Oeste Potiguar, no estado do Rio Grande do Norte. Conhecido localmente como Açude Angicos, o reservatório foi concluído em 1920 e possui capacidade de armazenamento de 4.295.000 m³, desempenhando papel fundamental no abastecimento regional até 1983 (Barbosa, 2024).

Atualmente sob responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), a MHAA abrange áreas dos municípios de José da Penha, Major Sales, Luís Gomes e Paraná, que contribuem com o escoamento superficial para o reservatório (Figura 01). A microbacia apresenta área total de 142,1 km² e perímetro de 80,95 km (Barbosa, 2024).

Figura 01 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Açude Arapuã e seu manancial



Fonte: Elaborados pelos autores (2024).

Segundo o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA, 2008), a região apresenta clima semiárido quente, com precipitação anual entre 600 e 800 mm, temperaturas que podem atingir 31 °C e cerca de 2.700 h de insolação ao ano. A vegetação predominante é a Hiperxerófila da Caatinga, enquanto os solos majoritários são Luvissolos desenvolvidos sobre rochas cristalinas (Embrapa, 2006). Do ponto de vista socioeconômico, destaca-se a predominância da agricultura familiar e atividades de pequeno comércio e serviços, além da criação de bovinos e cultivos como milho, feijão e sorgo (Estevam, 2023).

2.2 Procedimentos Metodológicos

A pesquisa adotou abordagem quali-quantitativa baseada em análises ambientais, dados meteorológicos e processamento de imagens orbitais em ambiente SIG. As etapas foram realizadas no software QGIS 3.22.11 *Biatowieza*, incluindo padronização cartográfica, correção geométrica, recorte, reprojeção e extração temática.

A seleção das imagens foi orientada por dados pluviométricos obtidos junto à EMPARN para os municípios de José da Penha, Major Sales, Luís Gomes e Paraná, considerando o critério de cobertura de nuvens inferior a 15% (Tabela 01). Foram escolhidas as cenas dos dias 25/10/2023 (período seco) e 11/06/2024 (período chuvoso).

Tabela 01 – Incidência Pluviométrica dos anos de 2023 e 2024 nos municípios que compõem a MHAA

CIDADE	JOSÉ DA PENHA	MAJOR SALES	LUÍS GOMES	PARANÁ
Valores em milímetros (mm)				
ANO/MÊS	2023	2024	2023	2024
JANEIRO	115,7	61,8	155,7	82,1
FEVEREIRO	139,3	202	167,4	194,2
MARÇO	244,6	269,6	229,3	230,8
ABRIL	207,4	110,7	191,8	145,4
MAIO	76,7	74,8	110	63,4
JUNHO	44,2	28,9	36,9	32
JULHO	66,9	0	60,2	3
AGOSTO	0	0	0	0
			3	0
			0	0



SETEMBRO	0	0	0	7	0	3,2	0	0
OUTUBRO	0	0*	0	0*	0	0*	0	0*
NOVEMBRO	0	-	0	-	4,2	-	0	-
DEZEMBRO	97	-	44,5	-	79,6	-	5	-
TOTAL	991,8	747,8	995,8	757,9	1134, 6	1136	963	726

Fonte: EMPARN (2023-2024)*: Valor parcial do mês; Valor ainda não contabilizado.

Para caracterização do uso e ocupação do solo, foram utilizadas bandas do satélite Sentinel-2 MSI, com resoluções espaciais de 10 m, 20 m e 60 m, conforme especificações originais. Nenhum filtro espectral ou suavização foi aplicado às bandas, mantendo-se a integridade radiométrica dos dados.

A classificação do UOS foi realizada por meio de classificação supervisionada, utilizando amostras definidas manualmente a partir da interpretação visual das imagens. Posteriormente, o raster classificado foi reclassificado para compor a variável temática do modelo.

A caracterização geomorfológica utilizou o produto ALOS PALSAR (cena AP_27014_FBS_F7050_RT1, abril/2011), permitindo extrair as variáveis altimetria, declividade e orientação das vertentes. As camadas foram unificadas em ambiente SIG, compondo a base analítica do modelo espacial.

2.3 Classificação de Risco para os Fatores Adotados

A classificação dos fatores de risco seguiu metodologia adaptada de Magalhães, Cordeiro e Oliveira (2023). Utilizou-se a ferramenta "Reclassificar por tabela" do QGIS, atribuindo valores numéricos às faixas de cada variável.

A reclassificação foi estruturada em três classes: baixo, médio e alto risco, conforme Tabela 02. Os intervalos foram definidos com base em: padrões fisiográficos típicos do semiárido; distribuição natural dos valores observados nas camadas primárias; limites utilizados em estudos antecedentes, garantindo consistência metodológica com a literatura; resposta esperada de cada variável sobre a propagação do fogo.

Tabela 02 – Classificação dos parâmetros para cada variável analisada na identificação dos riscos de incêndio

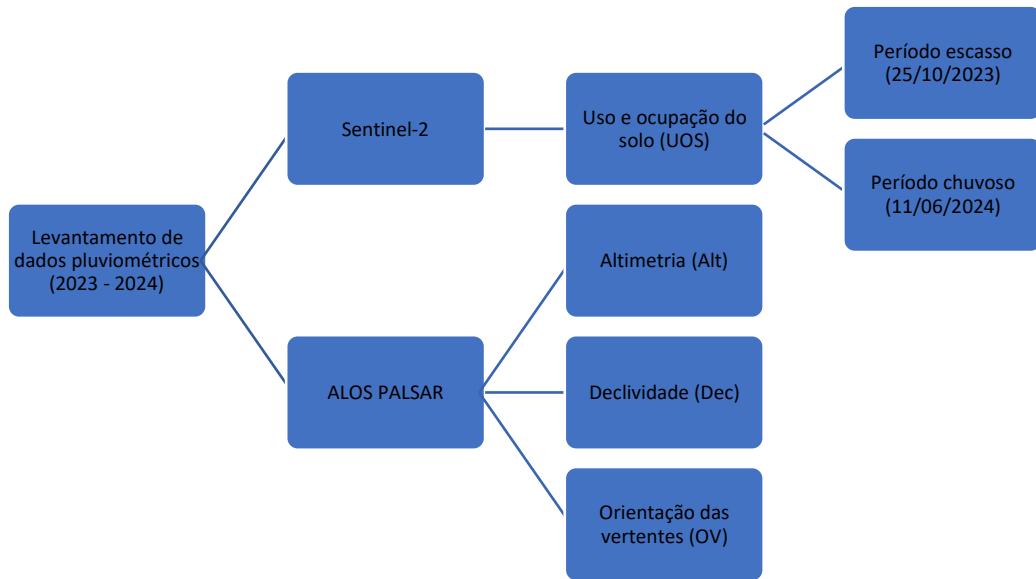
VARIÁVEL	PARÂMETRO	CLASSIFICAÇÃO	NÍVEL DE RIF
Cobertura do Solo	Floresta	3	Alto risco de incêndio
	Pastagem	2	Médio risco de incêndio
	Urbano/Exposto/Águ a	1	Baixo risco de incêndio
Altimetria	0 a 600 m	3	Alto risco de incêndio
	600 a 800 m	2	Médio risco de incêndio
	Acima de 800 m	1	Baixo risco de incêndio
Declividade	0 a 12º	1	Baixo risco de incêndio
	13º a 40º	2	Médio risco de incêndio
	Acima de 40º	3	Alto risco de incêndio
Orientação das Vertentes	0 a 45º - N	3	Alto risco de incêndio
	46º a 135º - L	2	Médio risco de incêndio
	136º a 225º - S	1	Baixo risco de incêndio
	226º a 315º - O	2	Médio risco de incêndio
	316º a 360º - N	3	Alto risco de incêndio

Fonte: Adaptado de Magalhães, Cordeiro e Oliveira (2023).

Os intervalos de reclassificação apresentados na Tabela 02 foram definidos considerando: padrões fisiográficos típicos do semiárido, onde pequenas variações topográficas já influenciam a dinâmica do fogo; distribuição estatística dos valores observados nas camadas primárias, garantindo coerência interna; aplicação em estudos anteriores, reforçando a aderência metodológica à literatura (Magalhães; Cordeiro; Oliveira, 2023); A resposta esperada ao risco, como: maiores declividades = maior propagação do fogo; faces norte e noroeste mais expostas à radiação = maior risco; solos expostos e vegetação seca = maior inflamabilidade.

O fluxograma da Figura 02 apresenta a organização metodológica desde o processamento das imagens até a elaboração do mapa final.

Figura 02 – Representação das etapas correspondentes a organização dos dados de entrada para classificação de risco e posterior análise da MHAA



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

2.4 Identificação das áreas mais vulneráveis a incêndios da MHAA

Com a reclassificação temática dos fatores de influência concluída, procedeu-se à etapa de ponderação, necessária para a construção do modelo integrado de risco de incêndio para a MHAA. Para essa finalidade, foi aplicado o Processo Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierarchy Process), método desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 e amplamente utilizado em análises de apoio à decisão multicritério no contexto ambiental e territorial (Lira; Francisco; Feiden, 2022)

A aplicação da metodologia AHP exigiu a definição de critérios e subcritérios que representassem, de forma hierarquizada, os fatores ambientais com potencial influência sobre a propagação de incêndios florestais. Cada critério foi comparado paritariamente em relação aos demais, com o objetivo de identificar sua relevância relativa no processo decisório. Segundo Posser *et al.* (2023), essa técnica permite a atribuição de pesos por meio de matrizes de comparação, garantindo maior consistência na análise e confiabilidade nos resultados obtidos

Após a construção da matriz de julgamento, os pesos dos critérios foram calculados e normalizados. Os valores atribuídos a cada variável podem ser visualizados na Tabela



03, que apresenta o resultado da ponderação obtida pela metodologia AHP, considerando os fatores altimetria, orientação das vertentes, declividade e uso e ocupação do solo.

Tabela 03 – Pesos atribuídos para os critérios analisados após a aplicação da metodologia AHP para a MHAA

Altimetria	OV	Declive	UOS
1.000.000	0.333333	0.250000	0.200000
3.000.000	1.000.000	0.333333	0.250000
4.000.000	3.000.000	1.000.000	0.333333
5.000.000	4.000.000	3.000.000	1.000.000
0.068413	0.134221	0.268121	0.529246

Fonte: Goepel (2018).

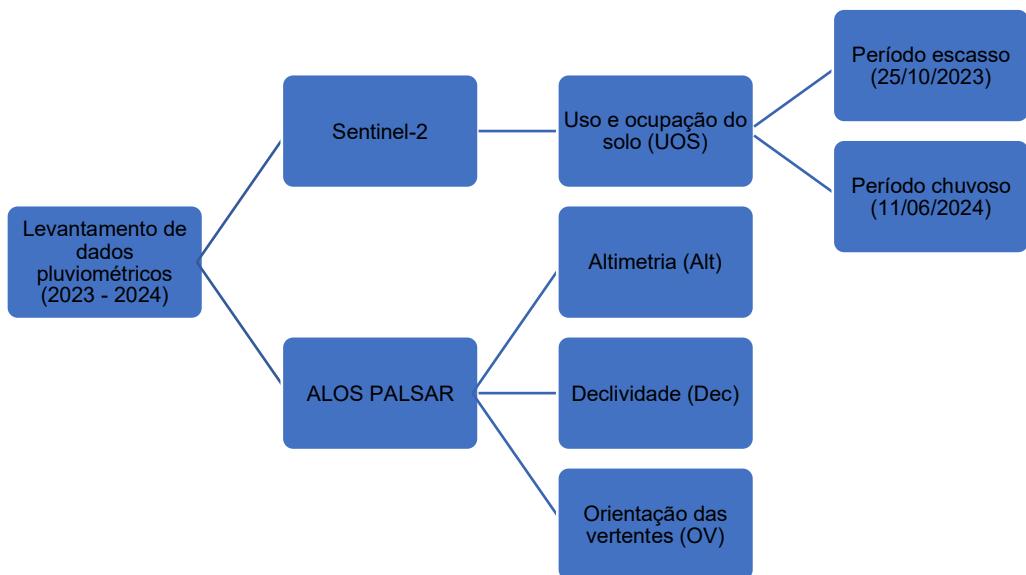
Com base nos valores encontrados, foram atribuídos os seguintes pesos para cada critério: Altimetria (0,068413), Orientação das Vertentes – OV (0,134221), Declividade (0,268121) e Uso e Ocupação do Solo – UOS (0,529246). Esses pesos foram utilizados como coeficientes na combinação ponderada das camadas temáticas por meio da ferramenta Calculadora *Raster* no ambiente do software QGIS

A equação de integração dos critérios, resultante do processo de análise multicritério, é apresentada na Equação 1, e foi utilizada para gerar os mapas finais de risco de incêndio, referentes aos dois cenários sazonais analisados (período seco e chuvoso)

$$RISCO = 0.068413 * Alt + 0.134221 * OV + 0.268121 * Dec + 0.529246 * UOS \quad \text{Eq. 01}$$

Com a execução dessa etapa, foi possível produzir os mapas temáticos de risco espacializado para a MHAA, os quais sintetizam a combinação dos fatores ambientais em diferentes níveis de suscetibilidade. A organização metodológica dos dados de saída e a representação do modelo integrado encontram-se ilustradas na Figura 03, que demonstra o encadeamento das operações finais do processo analítico.

Figura 03 – Representação das etapas correspondentes a organização dos dados de saída para análise da MHAA



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

Com base na aplicação da equação multicritério e na geração dos mapas temáticos de risco de incêndio, foram elaborados dois cenários para as datas de 25 de outubro de 2023 (período seco) e 11 de junho de 2024 (período chuvoso). Para quantificação das áreas por nível de risco, os mapas foram vetorizados com a ferramenta *r.to.vect*, do pacote *GRASS* no ambiente *QG/S*. Esse procedimento permitiu classificar a MHAA em zonas de baixo, médio e alto risco, cujas extensões e características ambientais foram analisadas individualmente. A avaliação resultante subsidiou a delimitação espacial das áreas mais e menos vulneráveis a incêndios, servindo como base para ações preventivas e estratégias de mitigação adaptadas às condições locais.

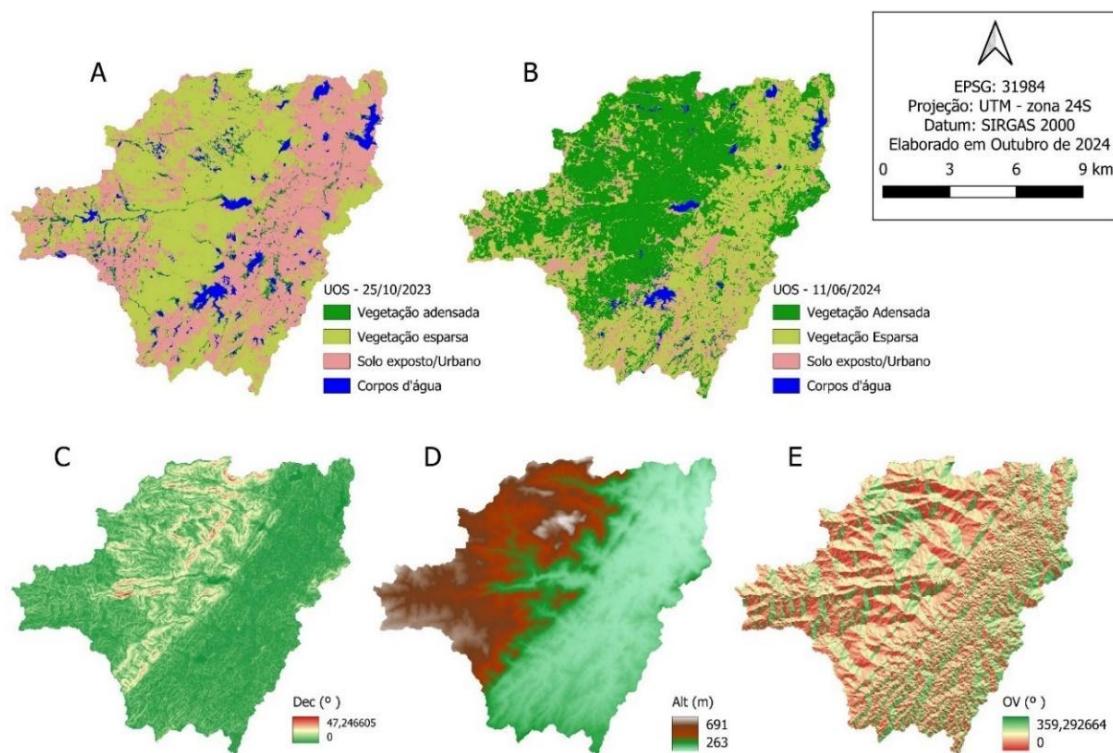
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Representação dos Aspectos Físicos da MHAA

A caracterização física da Microbacia Hidrográfica do Açude Arapuã (MHAA) baseou-se na análise de dados geoespaciais relacionados à altimetria, declividade, orientação das vertentes e uso e ocupação do solo. A Figura 04 apresenta uma síntese das características estruturais e ambientais da MHAA, evidenciando os gradientes topográficos, a complexidade das vertentes e os diferentes arranjos de cobertura e uso da terra, elementos essenciais para a interpretação integrada da paisagem e para o diagnóstico ambiental da microbacia.



Figura 04 – Caracterização da MHAA para: A- Uso e ocupação do solo (25/10/2023); B- Uso e ocupação do solo (11/06/2024); C- Declividade em graus; D- Altimetria em metros; e E- Orientação das vertentes em graus



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

As representações do uso e ocupação do solo, observadas nas Figuras 04-A e 04-B, evidenciam contrastes significativos entre os períodos chuvoso e seco. A imagem referente ao dia 11 de junho de 2024 (Figura 04-B), representativa do período chuvoso, revela um predomínio da vegetação adensada, resultado direto da maior disponibilidade hídrica. Em contrapartida, a imagem do dia 25 de outubro de 2023 (Figura 04-A), captada durante o período seco, apresenta maior presença de vegetação esparsa, áreas de solo exposto e regiões urbanizadas. Tal dinâmica é reflexo direto da variação pluviométrica sazonal, típica das regiões semiáridas.

De acordo com Nascimento e Calheiros (2024), a vegetação da Caatinga é altamente adaptada às oscilações climáticas da região semiárida, comportando-se de forma distinta ao longo do ano. Durante os períodos chuvosos, observa-se uma rápida regeneração da cobertura vegetal, a qual contribui para a redução do escoamento superficial e aumento da infiltração. Em contraposição, nas estações secas, a perda de folhas reduz a evapotranspiração, expõe o solo e favorece processos erosivos, alterando o

balanço hídrico e dificultando a recarga dos aquíferos. Essas diferenças são quantitativamente apresentadas na Tabela 04.

Tabela 04 – Representação da área (em hectares) para cada classe de uso e ocupação do solo (UOS) nos dois períodos analisados

CLASSE DE UOS	UOS 25/10/2023	UOS 11/06/2024
Vegetação adensada	575,441	6.759,70
Vegetação esparsa	6.925,36	5.577,84
Solo exposto/Urbano	6.045,32	1.589,23
Corpos d'água	667,191	286,542

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A Nota-se que os valores entre os dois períodos apresentam diferenças expressivas, especialmente o aumento de vegetação adensada e a redução significativa de solo exposto no período chuvoso. Esse comportamento é esperado para áreas de Caatinga, onde a resposta fenológica ao regime de chuvas é imediata. Durante a estação chuvosa, há forte expansão biomassa verde, fechamento do dossel e regeneração da vegetação, elevando as classes de vegetação densa. No período seco, ocorre o processo inverso: a senescência foliar expõe grandes superfícies de solo, reduz a cobertura vegetal e aumenta áreas classificadas como vegetação esparsa ou solo exposto. Assim, as diferenças observadas não representam erro de classificação, mas sim a dinâmica ecológica típica de ambientes hiperxerófilos.

A análise altimétrica da MHAA (Figura 04-D) revela uma variação de elevação que se estende de 263 metros, nas áreas mais baixas, a 691 metros nas regiões de maior altitude. A coloração nas imagens indica esse gradiente altitudinal, sendo as tonalidades frias (verdes) associadas a altitudes mais baixas e as tonalidades quentes (vermelho/vinho) às mais elevadas. De acordo com Pereira (2021), a altitude influencia diretamente o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, especialmente em relação à velocidade do escoamento superficial e à propensão à erosão.

Regiões elevadas favorecem maior escoamento e menor infiltração, enquanto áreas rebaixadas tendem a reter água e sedimentos, promovendo maior umidade e recarga do solo. A variável declividade (Figura 04-C) apresenta inclinações que variam até aproximadamente 47,25°, com maior concentração dos valores elevados nas regiões



serranas. As cores quentes (amarelo e vermelho) indicam essas áreas de alta declividade, enquanto os tons verdes representam zonas de baixa inclinação.

Conforme pontuam Oliveira e Aquino (2021), a declividade exerce papel determinante na dinâmica hídrica do solo: áreas íngremes intensificam o escoamento e a erosão, ao passo que áreas mais planas favorecem processos de infiltração e retenção hídrica, contribuindo para a estabilidade dos ecossistemas locais.

Por fim, a orientação das vertentes (Figura 04-E) demonstrou uma distribuição ampla, com valores angulares entre 0° e 360°. As cores nas imagens representam diferentes direções cardeais, sendo as vertentes voltadas para o norte e noroeste evidenciadas em tons avermelhados, as voltadas para o leste em amarelo, e as orientadas ao sul e sudoeste em tons esverdeados. No hemisfério sul, vertentes voltadas ao norte recebem maior radiação, o que eleva a temperatura e reduz a umidade, contribuindo para o aumento do risco de incêndios.

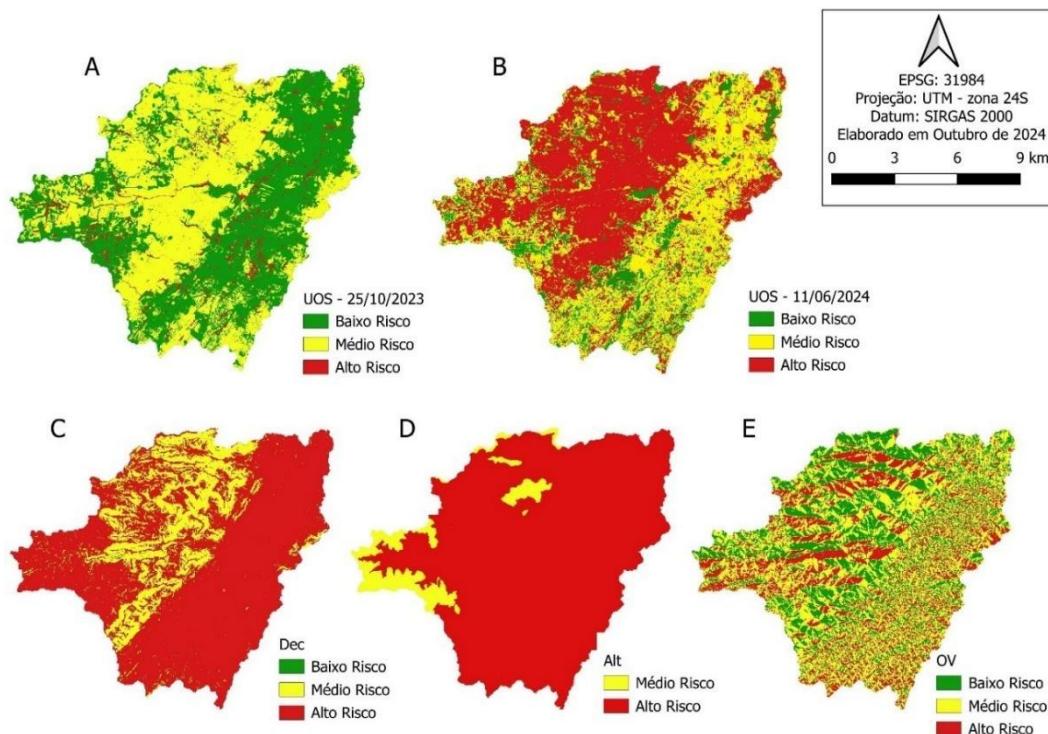
3.2 Classificação e Determinação da Influência de Incêndio na MHAA

A partir da atribuição dos fatores de risco de incêndio para cada um dos critérios analisados no presente estudo, procedeu-se à reclassificação dos dados geoespaciais por meio da ferramenta "Reclassificar por tabela" no software QGIS. O resultado final dessa etapa pode ser observado na Figura 05, que apresenta a espacialização dos níveis de risco (baixo, médio e alto) atribuídos a cada variável considerada: uso e ocupação do solo (UOS) para duas cenas temporais, declividade, altimetria e orientação das vertentes.

Com relação à reclassificação da altimetria (Figura 5-D), verificou-se uma distribuição de área de 13.045 hectares classificados como de alto risco, e 1.166,29 hectares como de risco médio. Não foram identificadas áreas na categoria de baixo risco, uma vez que a classificação para esse nível exige altitudes superiores a 800 metros, inexistentes dentro do perfil morfométrico da MHAA.

Segundo Ribeiro *et al.* (2008), a altitude influencia significativamente o microclima e a umidade do solo, sendo que regiões mais baixas tendem a apresentar maior propensão a incêndios, em virtude da maior exposição à radiação solar e menores índices de umidade. Além disso, topos montanhosos e fundos de vale apresentam variações térmicas e de umidade ao longo do dia, favorecendo a propagação do fogo em determinadas condições atmosféricas.

Figura 05 – Representação dos critérios após reclassificação dos níveis de risco de incêndio: A- Uso e ocupação do solo (UOS - 25/10/2023); B- Uso e ocupação do solo (UOS - 11/06/2024); C- Declividade (Dec); D- Altimetria (Alt); E- Orientação das vertentes (OV).



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

Em relação à declividade (Figura 05-C), a análise espacial indicou que aproximadamente 10.979,1 hectares da área da MHAa estão sob alto risco de incêndio, 3.116 hectares sob médio risco, e apenas 8 hectares sob baixo risco.

Para a orientação das vertentes (Figura 05-E), a reclassificação revelou que 3.509,37 hectares da bacia foram classificados como de alto risco, 6.786,45 hectares como de médio risco e 3.913 hectares como de baixo risco. Essa distribuição está diretamente relacionada à exposição solar das encostas.

Conforme Conjo (2021), vertentes voltadas para o norte, no hemisfério sul, recebem maior incidência solar, o que eleva a temperatura e reduz a umidade do solo, favorecendo a ignição e a propagação do fogo. Em oposição, vertentes voltadas ao sul tendem a ser mais úmidas e menos suscetíveis à combustão.

Quanto ao critério de uso e ocupação do solo (UOS) (Figuras 05-A e 05-B), a reclassificação dos dados permitiu uma comparação entre os dois períodos distintos: seco (25/10/2023) e chuvoso (11/06/2024). Os resultados, apresentados na Tabela 05,



demonstram uma significativa variação nas áreas associadas a cada nível de risco em função da sazonalidade pluviométrica.

Tabela 05 – Representação das áreas para as cenas de UOS analisadas na MHAA para cada nível de risco

NÍVEL DE RISCO DE INCÊNDIO	CENA	
	UOS 25/10/2023	UOS 11/06/2024
	ÁREA (ha)	
Baixo	6.716,62	1.877,49
Médio	6.924,19	5.576,73
Alto	572,668	6.757,45

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

A comparação entre os dois períodos evidencia o papel fundamental da vegetação da Caatinga no ciclo hidrológico e na dinâmica dos riscos ambientais. Durante a estação chuvosa, observa-se um adensamento vegetativo significativo, o qual atua como barreira natural à propagação de incêndios. Contudo, essa mesma biomassa torna-se altamente inflamável durante a estação seca, ampliando o risco de ignição.

3.3 Criação do Modelo Integrado de Risco de Incêndio

A elaboração do modelo integrado de risco de incêndio para a MHAA foi realizada a partir da consolidação de todos os critérios previamente analisados e reclassificados, com base nos níveis de risco atribuídos a cada subcritério. O processo utilizou como base a metodologia de Análise Hierárquica de Processos (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), desenvolvida por Thomas Saaty na década de 1970. Para a operacionalização dos cálculos, empregou-se a ferramenta digital *AHP Online System*, disponibilizada no site BPMSG – Business Performance Management Singapore, criada por Klaus D. Goepel (2018), que permite realizar comparações pareadas e gerar automaticamente os pesos relativos entre os critérios definidos.

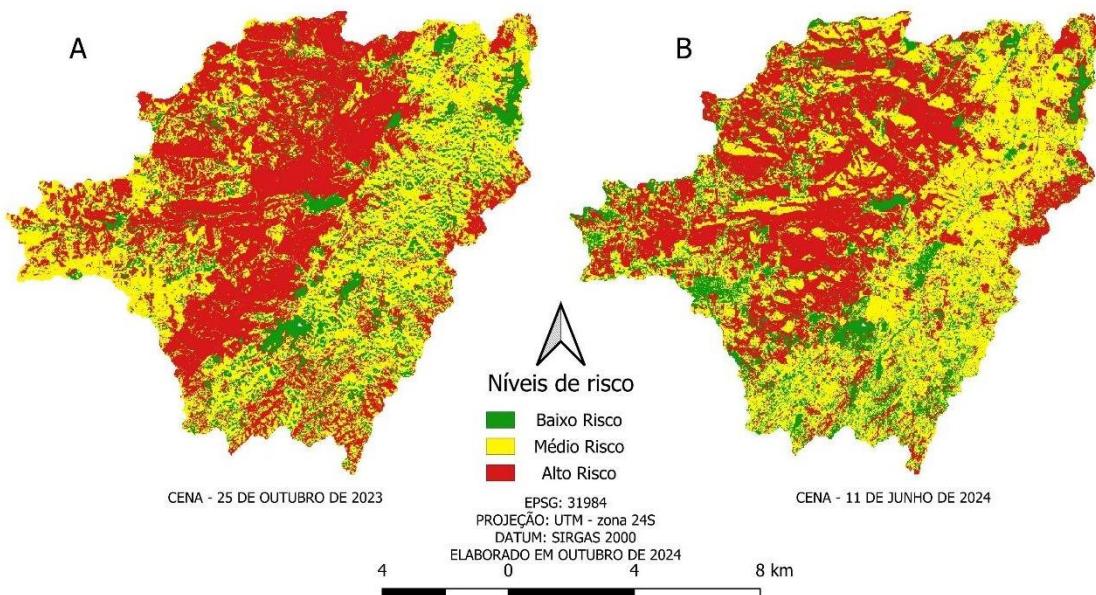
A aplicação da metodologia AHP permitiu a definição dos pesos relativos a cada critério (altimetria, declividade, orientação das vertentes e uso e ocupação do solo), proporcionando uma ponderação coerente com a importância de cada variável na determinação do risco de incêndio. Com a equação multicritério devidamente ajustada e



operacionalizada na ferramenta “Calculadora Raster” do QGIS, foi possível integrar os fatores em um único modelo espacial, resultando na geração dos mapas de risco para dois cenários distintos: um referente ao período seco (25/10/2023) e outro ao período chuvoso (11/06/2024), conforme representado na Figura 06.

Figura 06 – Mapa de risco de incêndio na MHAA para as cenas: A- 25/10/2023; e B-

11/06/2024



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

A partir da análise espacial dos modelos gerados, observa-se uma alteração significativa na distribuição das áreas susceptíveis a incêndios, fortemente influenciada pela sazonalidade do bioma Caatinga. No cenário de outubro de 2023, correspondente à estação seca, identificaram-se extensas áreas classificadas com alto risco de incêndio, o que reflete o efeito da redução da umidade do solo, da perda de cobertura vegetal verde e do acúmulo de biomassa seca e altamente inflamável.

Por outro lado, o cenário de junho de 2024, representativo da estação chuvosa, revelou maior predominância de áreas de risco baixo a médio, resultado direto da regeneração da vegetação, que contribui para a retenção de umidade no solo e reduz a inflamabilidade do material vegetal.

Essa variabilidade é característica da vegetação da Caatinga, cuja dinâmica é altamente sensível aos ciclos pluviométricos. A presença ou ausência de chuvas não apenas altera o volume e a densidade da vegetação, mas também modifica os processos



hidrológicos e a estrutura térmica do solo, fatores diretamente ligados à propagação de incêndios em bacias hidrográficas semiáridas.

A quantificação das áreas por nível de risco para cada um dos cenários analisados encontra-se sistematizada na Tabela 06, permitindo uma leitura comparativa das transformações espaciais de vulnerabilidade ao fogo ao longo do ciclo hidrológico.

Tabela 06 – Representação das áreas e seus respectivos níveis de risco de incêndio para os cenários de 25/10/2023 e 11/06/2024 na MHAA

NÍVEL DE RISCO DE INCÊNDIO	CENA	
	MAPA 25/10/2023	MAPA 11/06/2024
	ÁREA (ha)	
Baixo	1.844,31	2.183,73
Médio	5.847,86	6.278,74
Alto	6.410,01	5.639,53

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

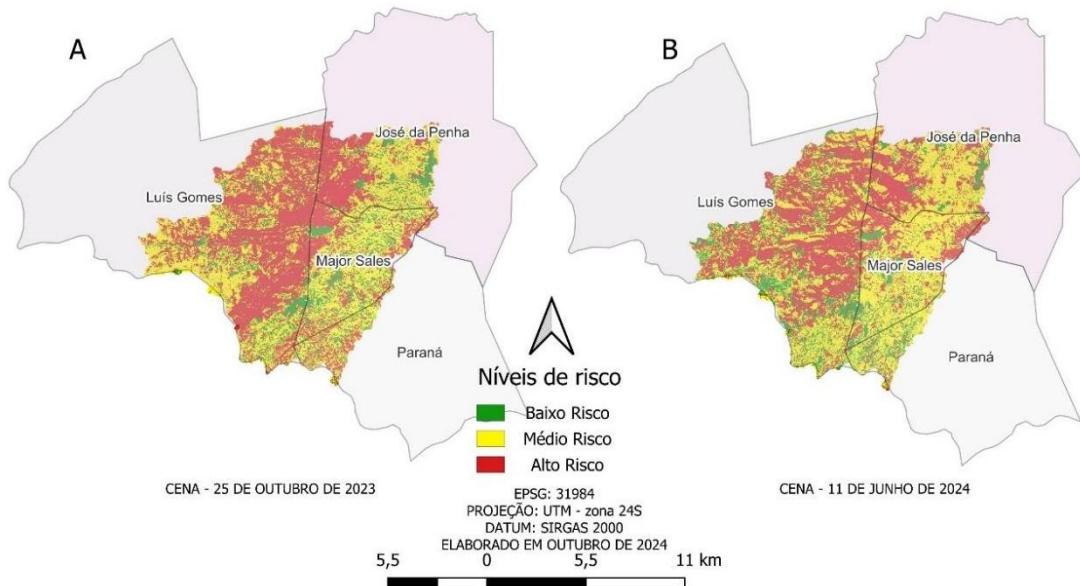
Os resultados evidenciam que o risco de incêndios em áreas de Caatinga não é estático, mas sim dinâmico e diretamente relacionado às oscilações climáticas e às condições ambientais locais. A utilização do modelo AHP, nesse sentido, revelou-se eficaz ao integrar múltiplos critérios e proporcionar uma análise espacial robusta, com potencial de aplicação em estratégias de planejamento ambiental, prevenção de incêndios e gestão sustentável dos recursos naturais.

3.4 Identificação das Áreas de Maior Vulnerabilidade a Incêndios na MHAA

Com base nos dados gerados a partir da análise dos mapas de risco de incêndio para os dois períodos avaliados (25/10/2023 e 11/06/2024), foi possível identificar as áreas mais vulneráveis à ocorrência de incêndios nos municípios que compõem a Microbacia Hidrográfica do Açude Angicos (MHAA). Embora o município de Major Sales possua quase a totalidade de seu território inserido na área da MHAA, é no município de Luís Gomes que se concentram as maiores extensões de áreas classificadas como de alto risco de incêndio. Por outro lado, o município de Paraná apresenta a menor contribuição territorial à microbacia, sendo também aquele com menor extensão de áreas de risco, conforme ilustrado na Figura 07.



Figura 07 – Ocupação da área de risco de incêndio para os municípios que compõem a MHAA



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

A distribuição quantitativa das áreas conforme os níveis de risco de incêndio (baixo, médio e alto) para cada município analisado está sintetizada na Tabela 07.

Tabela 07 – Áreas dos níveis de risco de incêndio para cada cidade que compõe a MHAA

CIDADE	ÁREA (m)					
	Baixo risco		Médio risco		Médio risco	
	25/10/20	11/06/20	25/10/20	11/06/20	25/10/20	11/06/202
José da Penha	434,171	296,853	1275,76	296,853	1275,76	1467,4
Major Sales	675,401	477,554	1636,44	477,554	1636,44	1860,89
Luís Gomes	586,794	1143,45	2454,13	1143,45	2454,13	2391,62
Paraná	240,908	240,908	509,714	240,908	509,714	509,714

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

A análise espacial das imagens reclassificadas e processadas revelou que as áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de incêndios estão localizadas, predominantemente, em regiões com elevada densidade de vegetação, tanto adensada quanto esparsa. Essa vegetação atua como combustível natural, favorecendo a propagação do fogo, especialmente durante períodos de estiagem prolongada. Além disso, observou-se que áreas com maiores índices de declividade apresentam maior vulnerabilidade, uma vez que inclinações acentuadas favorecem o deslocamento ascendente das chamas e o alastramento do fogo, agravando o risco e dificultando ações de contenção.

Esses resultados reforçam a importância do monitoramento sistemático da vegetação e do relevo em regiões semiáridas, sobretudo em microbacias hidrográficas com características semelhantes às da MHAA, para a prevenção e o planejamento de ações de mitigação de incêndios florestais.

4. CONCLUSÃO

A análise integrada dos fatores físicos e ambientais da Microbacia Hidrográfica do Açude Angicos (MHAA) possibilitou a elaboração de um modelo espacial de risco de incêndio baseado em dados orbitais, geoprocessamento e métodos multicritério. O estudo demonstrou que variáveis como uso e ocupação do solo, declividade, altimetria e orientação das vertentes exercem influência direta na distribuição do risco de incêndio, evidenciando a interação entre características naturais e dinâmicas sazonais do semiárido.

Os resultados revelam diferenças marcantes entre os períodos seco e chuvoso, reforçando que a sazonalidade é determinante na propagação do fogo. Municípios como Luís Gomes e Major Sales apresentaram maior concentração de áreas classificadas com alto risco, o que indica a necessidade de priorização dessas localidades em ações de prevenção.

A aplicação de ferramentas geotecnológicas e de metodologias como o AHP mostrou-se eficaz para subsidiar diagnósticos ambientais em microbacias do semiárido. Recomenda-se o fortalecimento de estratégias públicas de prevenção e mitigação de incêndios, pautadas em monitoramento contínuo, manejo adequado da vegetação e capacitação comunitária, de modo a promover maior segurança socioambiental e conservar os recursos naturais da MHAA.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, S. M. **Avaliação de anomalias em barragem de terra: estudo de caso da Barragem Angicos da cidade de José da Penha – RN**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/11343>. Acesso em: 24 jul. 2025.

COELHO, G. de S.; LIÁ, S. de L. S.; LIÁ, F. S., de ALMEIDA, L. R.; de BRITO, L. G.; SANTOS, I. B.; da SILVA, W. A.; da SILVA, C. M. Análise do uso e ocupação do solo em diferentes períodos no município de Cidelândia – MA. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 8077–8093, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-488. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/4808>. Acesso em: 15 out. 2024.

CONJO, M. P. F. Mapeamento da susceptibilidade à incêndios florestais na região sul de Moçambique. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 11, p. 1669–1689, 2021. DOI: 10.51891/rease.v7i11.3243. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3243>. Acesso em: 16 out. 2024.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE (EMPARN). **Dados pluviométricos dos municípios do Rio Grande do Norte – Série histórica 2023–2024**. Natal, 2024.

ESTEVAM, S. M. **Pluriatividade e sustentabilidade na agricultura familiar no Alto Oeste Potiguar**. 2023.132 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76120>. Acesso em: 04 dez. 2025.

FERREIRA, B. R. S.; ROSA, D. J. Q.; CARMO, J. C. S. Uso de RPA (Remotely Piloted Aircraft System) aplicado ao georreferenciamento de imóveis rurais. **Paramétrica**, v. 15, n. 2, 2023.

FIDALGO, A.; FERNANDES, A. S. **Efeito dos incêndios florestais no ecossistema: revisão integrativa**. Territorium, n. 30 (II), p. 5-13, 2023.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). Natal – RN, 2008. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000015000>. Acesso em: 23 jun. 2024.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano Integrado de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais no Bioma Caatinga – 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/manejo-integrado-do-fogo/prevfogo>. Acesso em: 04 dez. 2025.



INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa Queimadas: Monitoramento de focos ativos no Brasil – Relatório Anual 2023**. São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-dados-de-queimadas>. Acesso em: 04 dez. 2025.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classification of environmental fragility in watershed using Fuzzy logic and AHP method. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e62872, 2022.

MAGALHÃES, M. R. C. de; CORDEIRO, C. L. de O.; OLIVEIRA, R. R. Mapeamento de susceptibilidade a incêndios no Monumento Natural Serra dos Mascates, Valença - RJ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20., 2023, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/mapeamento-de-susceptibilidade-a-incendios-no-monumento-natural-serra-dos-mascat>. Acesso em: 08 jul. 2024.

NASCIMENTO, M. A. D. do; CALHEIROS, A. S. **Monitoramento do estado de conservação da caatinga alagoana por meio do índice de cobertura vegetal**. 2024.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Análise dos fatores de erodibilidade e declividade na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia, Piauí - Brasil. **Terr@ Plural**, v. 15, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/16655>. Acesso em: 16 out. 2024.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. G. de; SANTOS, J. M.; Policarpo, J. S. M.; Lopes, P. M. O. Mapeamento espectral de cicatrizes de queimadas na caatinga através de dados orbitais MODIS e LANDSAT. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 2021. Disponível em: <https://www.inovagri.ou.br/revista/index.php/rbai/artigo/ver/1164>.

PEREIRA, P. S. P. M. L. **Mapeamento geoecológico da suscetibilidade a enchente associado à dinâmica de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio da Guarda-RJ**. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021.

POSSE, T. G. P., COSTA, V. M. F., WEGNER, R. DA S., BORBA, S. N., & RICHTER, J. Investigação e modelagem da incividade no trabalho na percepção dos professores de instituições públicas e privadas. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 4, p. 5049–5068, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i4.1967. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/1967>. Acesso em: 16 out. 2024.

RIBEIRO, L. KOPROSKI, L de P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, set. 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/12430>. Acesso em: 16 out. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v38i3.12430>.

SANTOS, A. M. Meio ambiente, mudanças climáticas e seus impactos na saúde coletiva. **Revista Foco**, v. 15, n. 1, p. e329-e329, 2022.



SILVA, A. C. P.; CONDE, F.; VISEU, C. O desenvolvimento sustentável e sustentabilidade municipal: o caso de Portugal. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 429-458, 2022.

VENDRUSCOLO, J. CAVALHEIRO, W. C. S.; SANTOS, N. R. F. dos; SILVA, E. D. da. Microbacia do rio Cachara: características hidrogeomorfométricas e dinâmica da cobertura do solo como subsídios para o planejamento e a gestão dos recursos naturais. **RECIMA21**, v. 3, n. 4, p. e341306, 2022.
