



ANÁLISE DO RISCO DE FOGO PARA O BIOMA CAATINGA

Fire risk analysis for the Caatinga biome

Análisis de riesgo de incendios para el bioma Caatinga

Júlia Pereira Bello  

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
juliabello@unifei.edu.br

Ana Carolina Vasques Freitas  

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
ana.freitas@unifei.edu.br

Eliane Maria Vieira  

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
elianevieira@unifei.edu.br

Resumo: A crescente presença do fogo por meio de queimadas e incêndios florestais vem atingindo grandes áreas de florestas nativas e rica vegetação do Brasil há várias décadas, assim como ocorre no bioma Caatinga. O objetivo deste estudo é elaborar um mapa de risco de fogo neste bioma, utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o método de análise hierárquica gaussiano, de modo a identificar as regiões mais suscetíveis à ocorrência de incêndios. Os resultados mostraram que o risco de fogo no bioma está, primordialmente, relacionado às condições pluviométricas e atividades antrópicas, o que foi demonstrado pelo maior número de focos de fogo nas classes de floresta e agropecuária. O mapeamento do risco de fogo indicou as porções nordeste e centro-leste do bioma como apresentando alto risco, devido ao fato dessas regiões apresentarem baixos índices pluviométricos anuais, temperaturas e declividades mais elevadas, e predominância de atividades agrossilvopastoris. As classes de risco alto e muito alto representaram, conjuntamente, uma área equivalente a cerca de 51% da área total do bioma. Reconhecendo a importância da Caatinga e sua vulnerabilidade frente às mudanças climáticas, ressalta-se a necessidade do desenvolvimento de pesquisas na área de risco de fogo e seus índices, além de ações de controle, monitoramento, prevenção e predição de incêndios na região.

Palavras-chave: Fogo. Condições climáticas. Suscetibilidade.

Abstract: The increasing presence of forest fires has been affecting large areas of native forests and rich vegetation in Brazil for several decades, as it occurs in the Caatinga biome. The objective of this

study is to elaborate a fire risk map of this biome, using Geographic Information Systems (GIS) tools and the Gaussian hierarchical analysis method, in order to identify the most susceptible regions to the occurrence of fires. The results showed that the risk of fire in the biome is primarily related to rainfall conditions and anthropic activities, which was demonstrated by the higher number of fire outbreaks in the forest and agriculture classes. The mapping of fire risk indicated the northeastern and central-eastern portions of the biome as presenting high risk, due to the fact that these regions have low annual rainfall rates, higher temperatures and slopes, and predominance of agrosilvopastoral activities. The classes representing high risk and very high risk make up a total of 51% of the total biome area. Recognizing the importance of the Caatinga and its vulnerability to climate change, there is a need to develop research in the area of fire risk and its indices, as well as actions to control, monitor, prevent and predict fires in the region.

Keywords: Fire. Climatic conditions. Susceptibility.

Resumen: La creciente presencia del fuego a través de quemas e incendios forestales afecta desde hace varias décadas a grandes áreas de bosques nativos y rica vegetación en Brasil, como ocurre en el bioma de la Caatinga. El objetivo de este estudio es elaborar un mapa de riesgo de incendio en este bioma, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el método de análisis jerárquico de Gauss, con el fin de identificar las regiones más susceptibles a la ocurrencia de incendios. Los resultados mostraron que el riesgo de incendio en el bioma está relacionado principalmente con las condiciones pluviométricas y las actividades antrópicas, lo que quedó demostrado por el mayor número de conatos de incendio en las clases forestal y agrícola. El mapeo del riesgo de incendio indicó que las porciones noreste y centro-este del bioma presentaban un riesgo alto, debido a que estas regiones tienen bajos índices de precipitación anual, temperaturas y pendientes más elevadas, y predominio de actividades agroforestales y ganaderas. Las clases de riesgo alto y muy alto representaban, en conjunto, una superficie equivalente a cerca del 51% de la superficie total del bioma. Reconociendo la importancia de la Caatinga y su vulnerabilidad al cambio climático, se enfatiza la necesidad de desarrollar investigaciones en el área de riesgo de incendios y sus índices, así como acciones para el control, monitoreo, prevención y predicción de incendios en la región.

Palabras clave: Fuego. Condiciones climáticas. Susceptibilidad.

Submetido em: 18/01/2023

Aceito para publicação em: 08/06/2023

Publicado em: 27/06/2023

1. INTRODUÇÃO

A queimada é considerada uma prática antiga da agricultura, destinada, especialmente, para a limpeza de áreas, preparo do plantio, renovação do cultivo, controle de pragas; além da conversão em pastagens para fins de atividades pecuárias (BEZERRA et al., 2018; GOMES; SAKAMOTO; SILVA, 2020; CHAVES et al., 2021). O incêndio, por sua vez, “se refere à perda do controle da queimada ou quando essa é resultante do processo antrópico ou natural” (SOUSA FILHO et al., 2022).

O uso indiscriminado e crescente do fogo tem preocupado vários setores da sociedade, devido às altas emissões de gases de efeito estufa resultantes destas práticas, colocando em risco o bem estar dos seres vivos e a preservação de importantes ecossistemas (PIVELLO et al., 2021).

De forma geral, o início e a propagação do fogo em áreas florestais ocorrem devido a um conjunto de fatores, estando diretamente ligados à suscetibilidade do fogo em um local (TORRES et al., 2017; SOUTO; FREITAS; MARTINS, 2021; LACERDA et al., 2022). Assim, as regiões com maior suscetibilidade ao fogo são aquelas em que há maior predisposição ou propensão para o surgimento e/ou alastramento de incêndios (TORRES et al., 2014).

O risco de fogo, por sua vez, se constitui na probabilidade de ocorrência do evento em função da sensibilidade (em relação ao fogo) de fatores humanos, ecológicos e climáticos; além de hidrografia, uso e cobertura do solo, e geomorfologia (CHEN et al., 2001 apud SILVEIRA; VETTORAZZI; VALENTE, 2008; TORRES et al., 2014, 2017; OLIVEIRA et al., 2020).

A crescente presença do fogo vem atingindo grandes áreas de florestas nativas e rica vegetação do Brasil há décadas (PIVELLO et al., 2021; MAPBIOMAS, 2022). O foco deste estudo é o bioma Caatinga, um dos mais afetados por incêndios, uma vez que “a ação do fogo é potencializada pelo tipo de vegetação e pelas condições edafoclimáticas” (SOARES-FILHO et al., 2014; CHAVES et al., 2021).

A Caatinga, ou chamada também de Domínio das Caatingas, por apresentar ampla variedade de paisagens e de espécies endêmicas, é um bioma exclusivamente brasileiro; ou seja, suas características não são encontradas em outras localidades (AB’SÁBER, 2007). Segundo o MapBiomas (2022), a Caatinga ocupa uma área de 862.850 km² de extensão, isto é equivalente a 10% do território nacional e corresponde a cerca de 70% do nordeste



brasileiro. As formações savânicas cobrem a maior parte da Caatinga e são o tipo de uso e cobertura natural com maior ocorrência de fogo, representando 79% de 1985 a 2022 (INPE, 2022). De acordo com Vieira (2021), após essas formações, as regiões mais suscetíveis ao fogo seguem na ordem de áreas de Pastagem, áreas de Formações Florestais e Campestres de vegetação nativa.

A região da Caatinga sofre, constantemente, com os danos causados pelos incêndios. De acordo com os dados de monitoramento de queimadas e incêndios florestais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022), a área queimada da região foi de 50.877 km² em 2021, apresentando altos índices nos últimos anos. Apenas em outubro de 2021, por exemplo, o bioma apresentou uma extensão de 12.722 km² de área queimada e, no mês de dezembro, representou um valor de 64,1% de contribuição na ocorrência de área queimada por biomas do Brasil (INPE, 2021). Já no mês de outubro de 2022, a Caatinga apresentou um total de 300 mil hectares queimados (3 mil km²), o que representa um aumento de 134% em relação ao mês de setembro do mesmo ano, principalmente em regiões próximas ao Cerrado e no Estado do Piauí (MAPBIOMAS, 2022).

Em relação aos focos de fogo, no período de 2001 a 2021, a Caatinga apresentou uma média de 17 mil focos por ano, com valores mais altos nos meses de outubro, novembro e dezembro durante esses anos (INPE, 2022).

Alves et al. (2021) reafirmaram a estreita relação entre os focos de incêndio e as variáveis climáticas no bioma Caatinga em um estudo realizado para os anos de 2002 a 2018. A análise da variabilidade interanual dos focos de calor no bioma e as suas relações com diferentes variáveis meteorológicas mostrou que o período de setembro a dezembro, que são os meses mais secos da região, coincide com o período de ventos mais fortes, quando há maior possibilidade de propagação de focos de calor. A análise dos dados de precipitação ainda permitiu identificar que a ocorrência de chuvas abaixo da média entre os meses de fevereiro a junho (período chuvoso) resulta em maiores focos de calor. Ainda de acordo com os autores, a ocorrência de maior evapotranspiração leva o solo a ficar mais seco e, assim, mais vulnerável ao calor. Por fim, valores de umidade relativa abaixo da média foram associados com a ocorrência de focos de calor acima da média (ALVES et al., 2021).

A intensificação dos focos de calor e do desmatamento na Caatinga não ocorre apenas por condições meteorológicas, mas sim por um conjunto de fatores. Analisando o histórico

desde as primeiras ocupações da Caatinga, percebe-se que extensas áreas de vegetação natural vêm sendo convertidas em áreas agrícolas, caracterizadas pelo manejo inadequado do solo e da vegetação, uso indiscriminado do fogo e uso de insumos químicos (ISPN, 2021; CASTELETTI; SILVA; SANTOS, 2004). Essas e outras práticas agrícolas contribuem para a degradação do bioma, sendo que mais de 46% de sua área já sofreu com atividades antrópicas, contabilizando grandes áreas desmatadas e elevado índice de fragmentação, com mais de 15% do território com tendência à formação de núcleos de desertificação (ISPN, 2021; CASTELETTI; SILVA; SANTOS, 2004).

Um grande fator de degradação da Caatinga é a extração de recursos naturais para produção de lenha em indústrias de carvão vegetal, sendo uma das principais causas de desmatamento no local (ISPN, 2021). Além disso, apesar de importante para a economia e para a população que depende de recursos da Caatinga para sua renda, a lenha e o carvão para uso doméstico e para o comércio, juntamente com as atividades de agricultura e pecuária, somam mais da metade da degradação na Caatinga, causando superpastoreio por excesso de animais e fragmentação na vegetação do bioma, a qual pode ser dificilmente identificável, mas ainda é considerada um grande impacto ambiental (PAREYEN et al., 2013).

Em estudos realizados sobre o perfil e o índice de risco de incêndios florestais em áreas naturais protegidas da Caatinga, foi verificado que as principais causas da ocorrência de fogo nos Estados do Pernambuco e Ceará são caça, vandalismo, e atividades agrícolas, como limpeza de área e renovação de pastagem plantada, e extração de mel e de madeira (SILVA, 2020; FERREIRA FILHO e ARAÚJO, 2021; SILVA et al., 2021, 2022).

Por ser um bioma apenas encontrado no Brasil e apresentar condições mais particulares, a restauração e recuperação da Caatinga neste cenário de degradação ambiental é mais difícil. Sendo assim, é fundamental que nos âmbitos social, científico e tecnológico sejam desenvolvidas e incentivadas estratégias para suporte à preservação desta região (AC, 2022; SILVA, 2020).

Conforme mencionado anteriormente, o risco de incêndios florestais é o produto de vários fatores que afetam o comportamento do fogo, como, por exemplo, fatores devido às características da vegetação, condições meteorológicas e topográficas (TORRES et al., 2017). O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido muito úteis na elaboração de mapas de risco de incêndios florestais, auxiliando na identificação de regiões com maior



suscetibilidade à ocorrência de fogo. Estes mapas podem ser obtidos por meio da sobreposição de mapas temáticos que representam os fatores de risco, com seus devidos pesos, para o início e propagação do fogo (TORRES et al., 2014). Um dos métodos mais utilizados para realizar esta sobreposição de mapas é o Processamento Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP, em inglês). Inúmeros estudos têm aplicado esse método para o mapeamento do risco de fogo (NUTHAMMACHOT e STRATOULIAS, 2019, 2021; KUMARI e PANDEY, 2020; LAMAT et al., 2021; NIKHIL et al, 2021). Contudo, até a data deste estudo, não foram encontrados outros trabalhos que elaboraram um mapa de risco de fogo para o bioma Caatinga. De acordo com Ganem et al. (2020), “o bioma ainda é um dos que recebe menor atenção da comunidade científica”.

Assim, os mapas de risco de fogo são de extrema importância para caracterizar regiões que apresentam suscetibilidade à ocorrência de incêndios, bem como auxiliar na promoção de ações de prevenção, vigilância, monitoramento e combate aos incêndios, além do dimensionamento de infraestrutura e de equipes (MACHADO; SILVA; BIUDES, 2014; DEPPE et al., 2004). Portanto, dado que a Caatinga apresenta vasta biodiversidade e importantes ecossistemas, e que esta região é foco de crescente desmatamento e dificuldades de monitoramento, este estudo pretende elaborar um mapa de risco de fogo para este bioma.

Sendo assim, o objetivo geral deste estudo é avaliar o risco de fogo no bioma Caatinga utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o método de análise hierárquica para verificar as regiões mais suscetíveis à ocorrência destes eventos.

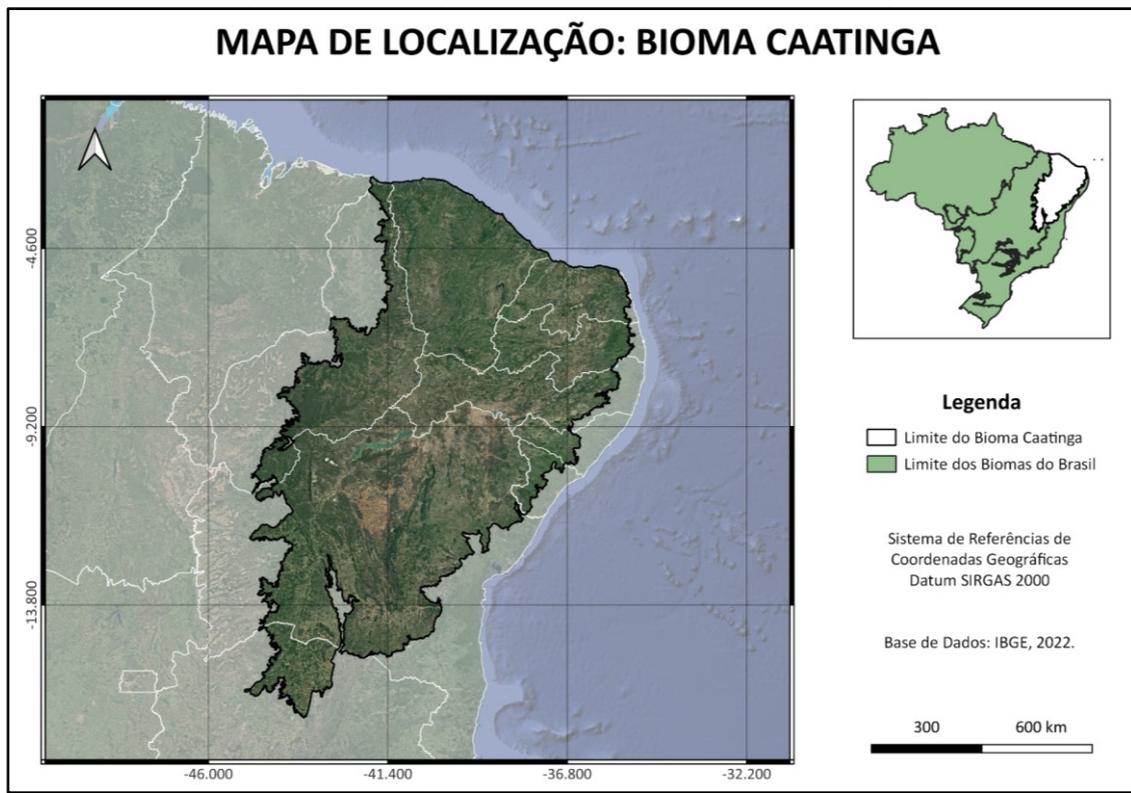
Espera-se que os resultados deste estudo permitam indicar as regiões mais propícias para a ocorrência de incêndios florestais na Caatinga; o papel dos fatores meteorológicos e das ações antrópicas nestas ocorrências.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Caatinga é a região predominante no nordeste brasileiro e faz limite com outros três biomas, a Amazônia, o Cerrado e a Mata Atlântica. Também cobre as áreas dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Piauí, Bahia e Minas Gerais (Figura 1).

Figura 1 - Localização da Área de Estudo: Bioma Caatinga.



Fonte: Autores (2022).

De acordo com a Associação Caatinga (AC, 2022), o clima do bioma é predominantemente o semiárido, apresentando temperatura média anual de 25°C a 30°C. Segundo a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2021), o semiárido brasileiro é composto por 1.427 municípios, dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Espírito Santo e Minas Gerais.

A região apresenta um sistema de chuvas que alterna entre períodos secos e chuvosos ao longo do ano. O período seco deu origem ao nome Caatinga, que significa “Mata Branca” em tupi, pois durante esta época, a paisagem se torna mais esbranquiçada e clara, grande parte das plantas perdem as folhas e os troncos ficam expostos, sendo que a temperatura do solo neste período pode chegar a 60°C. A paisagem da Caatinga permanece assim durante a maior parte do ano, pois o período chuvoso é curto, mais concentrado entre os meses de janeiro e maio, quando a paisagem é mais verde, com mais presença de folhas nas árvores (AC, 2022).



A alternância entre os períodos seco e chuvoso também determina que a maioria dos rios dentro do bioma sejam intermitentes, podendo ficar secos durante muitos meses devido à baixa umidade e irregularidade de chuvas (AC, 2022). Mesmo com estas condições, dois importantes rios se encontram na região, o rio São Francisco e o rio Parnaíba.

A Caatinga apresenta relevo diversificado, sendo encontrados no local serras, chapadas, planaltos e depressões (AC, 2022). Também se nota que a vegetação e os animais da Caatinga sofreram adaptações ao longo dos anos para sobreviverem às irregularidades no regime hídrico do local (AC, 2022; ISPN, 2022). Estes fatores indicam a importância e as particularidades do bioma Caatinga.

2.2 Procedimentos metodológicos

O risco ou a probabilidade de ocorrência e propagação do fogo depende de vários fatores que influenciam a combustão, e que variam de local para local. Assim, uma análise deve ser feita em cada local para selecionar os fatores que determinarão o risco de incêndios. As regiões com maior risco serão as que possuem maior suscetibilidade ao fogo e, portanto, apresentam maior predisposição ou propensão para o surgimento e/ou alastramento de incêndios.

De acordo com Batista (2000), existem dois grupos de fatores: fontes de ignição, que desencadeiam o processo de combustão, e condições favoráveis de propagação, as quais influenciam o desenvolvimento do fogo em uma região. No caso das fontes de ignição, a caracterização das atividades de uso e ocupação da terra pelo homem é um fator fundamental para o zoneamento de risco de fogo (BATISTA, 2000). Já os fatores de propagação estão relacionados às características do ambiente, como a topografia e condições climáticas.

Assim, no presente estudo foram escolhidas as seguintes variáveis a serem utilizadas para análise do risco de fogo: Uso e Ocupação do Solo, Declividade, Precipitação e Temperatura. Cada variável foi analisada de modo a se estabelecer graus ou níveis de risco, de acordo com a influência da mesma na ignição e propagação do fogo na Caatinga. A partir disso, foram elaborados mapas para cada uma das variáveis analisadas, conforme será descrito a seguir. Finalmente, o mapa de risco de fogo no bioma Caatinga foi elaborado a partir da superposição dos mapas, de acordo com cada grau ou nível de risco, utilizando-se uma

variação do método AHP (SANTOS; COSTA; GOMES, 2021), o qual será descrito nessa seção. O geoprocessamento dos mapas foi realizado no software QGis 3.22.13, com o uso dos complementos GRASS GIS 7.8.7 e SAGA GIS Processing Provider, e no software ArcGIS Pro 3.0.3.

2.2.1 Uso e Ocupação do Solo

O Mapa de Uso e Ocupação do Solo foi obtido através dos produtos disponibilizados pelo MapBiomas (2022), os quais são divididos em Coleções, sendo a mais atual e a utilizada neste estudo a Coleção 7, publicada em agosto de 2022, considerando as classificações principais: Floresta, Formação Natural não Florestal, Agropecuária, Área não Vegetada e Corpo D'água. A base de dados da plataforma Google Earth Engine foi utilizada e o mapa foi obtido diretamente desta.

2.2.2 Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade foi obtido através do projeto TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil do INPE (2022). A plataforma TOPODATA, por meio do WebMapit, permite o acesso aos índices de altitude, declividade, orientação, entre outros, para todo o Brasil desde 2011. Assim, foi realizado o download das quadrículas que cobrem a região e feito o mosaico do bioma Caatinga. O mapa final de declividade foi obtido a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), após reclassificação, sendo apresentado em porcentagem, de acordo com a distribuição da EMBRAPA (2022).

2.2.3 Dados meteorológicos

Neste estudo, a partir da plataforma Copernicus Climate Data Store, foram obtidos dados mensais de precipitação total e temperatura do ar em 2 m de altura no período de 1991 a 2021 das simulações da reanálise do ERA5 do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF, 2022). Esses dados se encontram em uma resolução espacial de 0,25º de latitude por 0,25º de longitude.



Os dados de reanálises apresentam a vantagem de possuírem alta resolução espacial e temporal com cobertura global e séries longas sem dados faltantes; contudo, não são dados diretamente observados, e sim provenientes de modelos meteorológicos, o que pode resultar em incertezas. Porém, o produto ERA5 incorpora um grande volume de dados observacionais de estações meteorológicas e de satélite e apresenta uma boa performance em representar variáveis climáticas como temperatura do ar e precipitação em diversas regiões do globo, incluindo o Brasil (HERSBACH et al., 2020; TAREK; BRISSETTE; ARSENAULT, 2020; AVILA-DIAZ et al., 2020). Esses dados têm sido utilizados em vários estudos relativos a risco de fogo, tais como Souto, Freitas e Martins (2021) e Li et al. (2021).

Os dados de temperatura se encontram em unidades Kelvin e os de precipitação em metros de água por dia para cada mês. Assim, para a obtenção da precipitação em mm, multiplicou-se os dados obtidos por 1000 e pelo número de dias no mês, conforme orientado na plataforma Copernicus. Posteriormente, foi calculada a precipitação acumulada para cada ano e, finalmente, foi realizado o cálculo da precipitação média no período de 1991 a 2021. No caso da temperatura, os dados foram convertidos para graus Celsius e a temperatura média foi calculada para o mesmo período. Todos esses cálculos foram realizados utilizando o software Climate Data Operators (CDO).

Os mapas de precipitação e temperatura média anual foram classificados de acordo com o agrupamento natural inerente dos dados, utilizando as classes de Quebras Naturais, também chamadas de Jenks Favorável (ARCGIS, 2022). Estas quebras permitem que os valores entre mínimo e máximo sejam configurados de acordo com a variação relativa dos valores dos dados, sendo assim, agrupados valores semelhantes, maximizando a diferença entre classes.

Finalmente, todos os mapas (uso e ocupação do solo, declividade, temperatura e precipitação) foram reclassificados em níveis ou graus de risco (Quadro 1) variando de 1 a 5 (muito baixo - grau 1 a muito alto - grau 5), de modo a possibilitar a elaboração do mapa de risco ao fogo.

Quadro 1 - Identificação dos Graus de Risco ao Fogo.

Índice	Graus de Risco	Cor
1	Muito baixo	
2	Baixo	
3	Médio	
4	Alto	
5	Muito alto	

Fonte: Autores (2022).

2.2.4 Processamento Analítico Hierárquico (AHP)

Estruturas lógicas de análise integrada podem ser usadas para elaborar um mapeamento de suscetibilidade de um local, considerando-se que estas estruturas tratam sistemas complexos, que apresentam diversas variáveis, com decomposição e divisão do problema em fatores e suas relações, o que permite a visualização de um problema e auxílio na tomada de decisão (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009; SILVA e NUNES, 2009).

O método de Processamento Analítico Hierárquico (AHP) foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70. Este processo possibilita atribuir pesos e valores a diferentes fatores, por meio de análise multicriterial, podendo-se identificar as alternativas prioritárias para atingir o objetivo final (JUVANHOL; FIEDLER; SANTOS, 2015).

De acordo com Costa (2002), o método AHP se baseia em três princípios do pensamento analítico, os quais são: “construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica”. Estes princípios são essenciais para identificar os elementos-chave para a tomada de decisão e avaliar as prioridades e as consistências da análise.

O método AHP apresenta três estágios, que podem ser definidos como etapas, para resultar em uma decisão, sendo:

1º Estágio - Construção de Hierarquia: Verificação de elementos de uma hierarquia, com foco principal na distribuição em níveis ou camadas de conjunto de critérios e alternativas viáveis.



2° Estágio - Definição de prioridade: Percebe-se a relação entre os objetos e as situações da questão, seguindo as etapas: julgamentos paritários, normalização das matrizes de julgamento e cálculo das prioridades médias locais (PML) e globais (PG).

3° Estágio - Consistência lógica: Avaliação da consistência no julgamento de valores com realização de cálculos de índice de consistência e índice de consistência randômico.

Estes estágios auxiliam na obtenção de um resultado e na tomada de decisão, de acordo com a qualidade da modelagem e das avaliações realizadas.

Uma variação do método AHP foi proposta por Santos, Costa e Gomes (2021), com o intuito de eliminar a obrigatoriedade da obtenção dos pesos para os critérios utilizando a escala fundamental de Saaty; o que resolveu vários problemas de inconsistências nas atribuições dos pesos. Este método foi denominado de AHP-Gaussiano e objetiva, assim, a obtenção dos pesos finais dos critérios por meio de cálculo a partir da própria matriz de decisão, sendo a análise da sensibilidade originada de um fator gaussiano.

Desta forma, foi aplicado neste estudo o Método de Decisão Multicritério (MCDM) por meio do método AHP-Gaussiano nos mapas selecionados. O método AHP-Gaussiano foi aplicado por meio de uma solução na linguagem de programação Python, desenvolvido por Lisboa (2022) e executado na distribuição Anaconda, versão 2022.05. Para isso, foram inseridas as entradas de critérios e alternativas com o objetivo de identificar a ordem de prioridade (ranking das alternativas) e pesos de cada uma das alternativas (uso e ocupação do solo, declividade, temperatura e precipitação) do mais alto ao mais baixo. A obtenção dos pesos permitiu a composição do mapa final de risco, indicando as regiões de maior suscetibilidade ao fogo.

O Mapa de Risco de Fogo da Caatinga foi, assim, obtido a partir da fórmula (1) aplicada aos dados no SIG, adicionando os respectivos pesos obtidos para cada fator de risco:

$$(1) \quad R = (U * 0.339) + (D * 0.022) + (P * 0.574) + (T * 0.065)$$

Em que:

R = Risco

U = Uso e Ocupação do Solo



D = Declividade

P = Precipitação média no período de 1991 a 2021

T = Temperatura média no período de 1991 a 2021

Além da utilização do método AHP-Gaussiano, foi realizada uma análise comparativa dos mapas de Uso e Ocupação do Solo dos anos de 2011 e 2021, verificando a área correspondente em cada classe (em km² e porcentagem) e suas diferenças entre os dois anos. Posteriormente, foi feita a sobreposição dos focos de fogo sobre o mapa de uso e ocupação do solo da região da Caatinga, ambos para o ano de 2021. Os dados de focos de calor são derivados do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) para o satélite de referência AQUA, sendo disponibilizados publicamente pelo INPE por meio do Banco de Dados de Queimadas (2022). Obteve-se, por fim, a identificação de cada ponto de foco na respectiva área de ocupação do solo, possibilitando quantificar a distribuição dos focos e a análise dos resultados obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme mencionado anteriormente, o mapa de risco de fogo é elaborado considerando os fatores que influenciam na ocorrência e propagação do fogo na Caatinga. Os fatores considerados neste estudo foram a ocupação do solo (que caracteriza as atividades antrópicas que resultam em mudanças na cobertura terrestre); a declividade, que influencia diretamente na suscetibilidade ao fogo (TORRES, 2016); e as variáveis climatológicas de temperatura e precipitação, uma vez que o início, propagação e intensidade dos incêndios estão associados a períodos de seca e a ocorrência de extremos climáticos (ARAGÃO, 2016, 2018; SILVA et al. 2021).

Assim, a partir do processamento dos dados, obteve-se os mapas de uso e ocupação do solo, declividade, temperatura e precipitação média, conforme apresentado na Figura 2. Pode-se verificar no mapa de uso e ocupação do ano de 2021 que, especialmente, as porções do nordeste da Bahia, Sergipe e Alagoas (Figura 2) apresentam, predominantemente, atividades agropecuárias, que podem desencadear o processo de ignição para a limpeza de áreas, preparo do plantio e renovação do cultivo, por exemplo.



Com relação a declividade, pode-se notar, na Figura 2, que as maiores declividades ocorrem em porções dos Estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. De acordo com Torres et al. (2016), quanto maior a declividade em um local, maior o número de eventos de focos de fogo, de forma que se “existe um mínimo de declividade, a taxa de propagação tende a crescer e será tanto maior quanto maiores forem as transformações microclimáticas na zona de combustão”. Devido ao relevo diversificado do bioma (presença de serras, chapadas, planaltos e depressões), este fator pode ser uma influência importante no potencial de propagação do fogo.

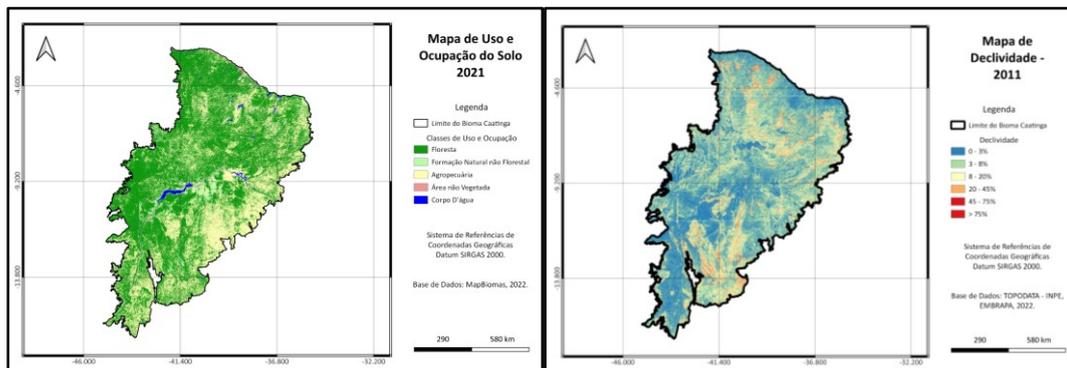
No centro-leste da região do bioma Caatinga a precipitação média anual, de acordo com a Figura 2, é inferior a 471 mm. Já no extremo oeste do bioma a precipitação ultrapassa os 758 mm. Portanto, a suscetibilidade ao fogo, devido às condições de pluviometria, diminui no sentido oeste do bioma (Figura 2). É interessante também notar que, mesmo no interior do semiárido, podem ser observados valores de precipitação acima de 961 mm, devido à presença de serras e montanhas nesta região.

Finalmente, a temperatura média anual no bioma é bastante elevada, variando de 19,7 °C a 29,3 °C, apresentando valores superiores a 27 °C em porções dos Estados do Piauí, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (Figura 2). Valores inferiores a 22 °C são observados, de forma geral, nos locais que também apresentam as maiores porcentagens de declividade, especialmente em porções da Bahia, Pernambuco e Paraíba (Figura 2).

Figura 2 - Mapas dos fatores de risco analisados neste estudo.

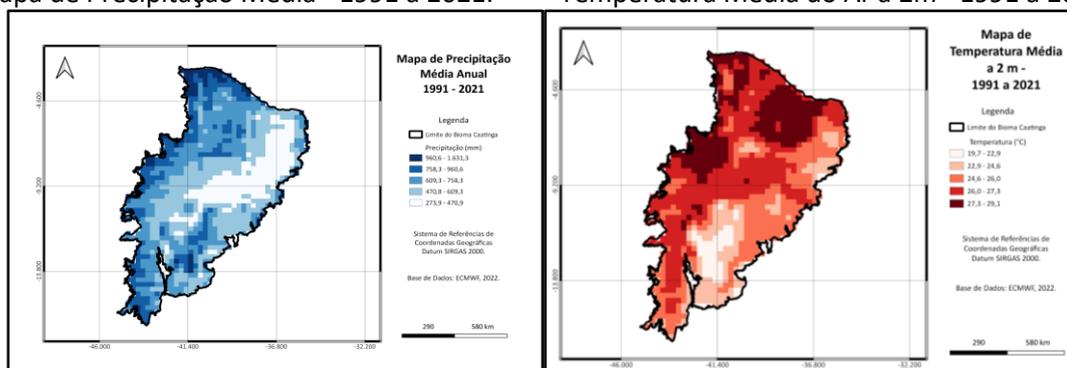
Uso e Ocupação do Solo - 2021.

Declividade - 2011.



Mapa de Precipitação Média - 1991 a 2021.

Temperatura Média do Ar a 2m - 1991 a 2021.



Fonte: Autores (2022).

A distribuição do uso e ocupação do solo da Caatinga no ano de 2021 (Figura 2) apresenta 59% de área de floresta, 34,3% de agropecuária, 4,1% de Formação Natural Não Florestal, 1,7% de Área Não Vegetada e 0,9% de Corpo D'Água (Tabela 1).

De acordo com o MapBiomas (2022), em relação às duas maiores áreas de cobertura no ano de 2021, a região da Caatinga passou de 57 Mha de floresta em 1985 para 51 Mha em 2021, além de 23,9 Mha de agropecuária em 1985, que passaram para 29,5 em 2021. Na Tabela 1 pode-se notar que, em comparação com o ano de 2011, houve uma diminuição de 1,45% na área de floresta.

Ainda segundo o MapBiomas (2022), sobre a Evolução Anual da Cobertura e Uso da Terra de 1985 a 2021 no bioma, houve um crescimento de 23,8% da área de agropecuária e 11,6% de perda de cobertura remanescente de vegetação nativa. Já na Tabela 1 pode-se verificar que na década considerada (2011 a 2021) houve um aumento de 1,4% na formação natural não florestal, e de aproximadamente 0,4% de área não vegetada, não sendo observada diferença (em termos percentuais) na área referente a agropecuária.



Tabela 1 - Área e Mudança no Uso e Ocupação do Solo.

Área e Mudança do Uso e Ocupação do Solo					
Classe	Área (km ²) 2011	Área (km ²) 2021	Área (%) 2011	Área (%) 2021	Diferença (%) 2011 e 2021
1. Floresta	521245	508734	60,41	58,96	-1,45
2. Formação Natural não Florestal	284532	296585	32,98	34,37	1,40
3. Agropecuária	35375	35337	4,10	4,10	0,00
4. Área não vegetada	11384	14509	1,32	1,68	0,36
5. Corpo D'Água	10317	7693	1,20	0,89	-0,30
Total	862853	862858	100	100	

Fonte: Autores (2022).

A Tabela 2 apresenta a relação de focos de calor e cobertura do solo. A partir da análise da distribuição dos focos de calor no mapa de uso e ocupação do solo da Caatinga nos anos de 2011 e 2021 pode-se notar que a grande maioria dos focos se concentram na classe de floresta, com um aumento de 19,8% no ano de 2021 em relação a 2011 (Tabela 2), o que concorda com o resultado obtido, por meio da Tabela 1, de diminuição na área de floresta. Deve-se também ressaltar que a segunda classe com maior número de focos, em ambos os anos, é a agropecuária (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise da distribuição dos Focos de Fogo no mapa de Uso e Ocupação do Solo da Caatinga em 2011 e 2021.

Focos de calor em 2011		Focos de calor em 2021	
CLASSE	CONTAGEM	CLASSE	CONTAGEM
1	9096	1	11100
2	1790	2	1660
3	3341	3	2692
4	77	4	103
5	31	5	12
Total	14335	Total	15567

Fonte: Autores (2022).

Conforme explicado na seção de metodologia, para cada fator considerado na Figura 2 foi atribuído um grau de risco, variando de 1 a 5, conforme o Quadro 2. Por meio do método AHP-Gaussiano os atributos qualitativos, como o uso e ocupação do solo, são convertidos em

atributos quantitativos. A reclassificação de todos os mapas, considerando estes graus de risco, pode ser visualizada na Figura 3. Dessa forma, os graus de risco 5 representam as regiões com maior suscetibilidade ao fogo.

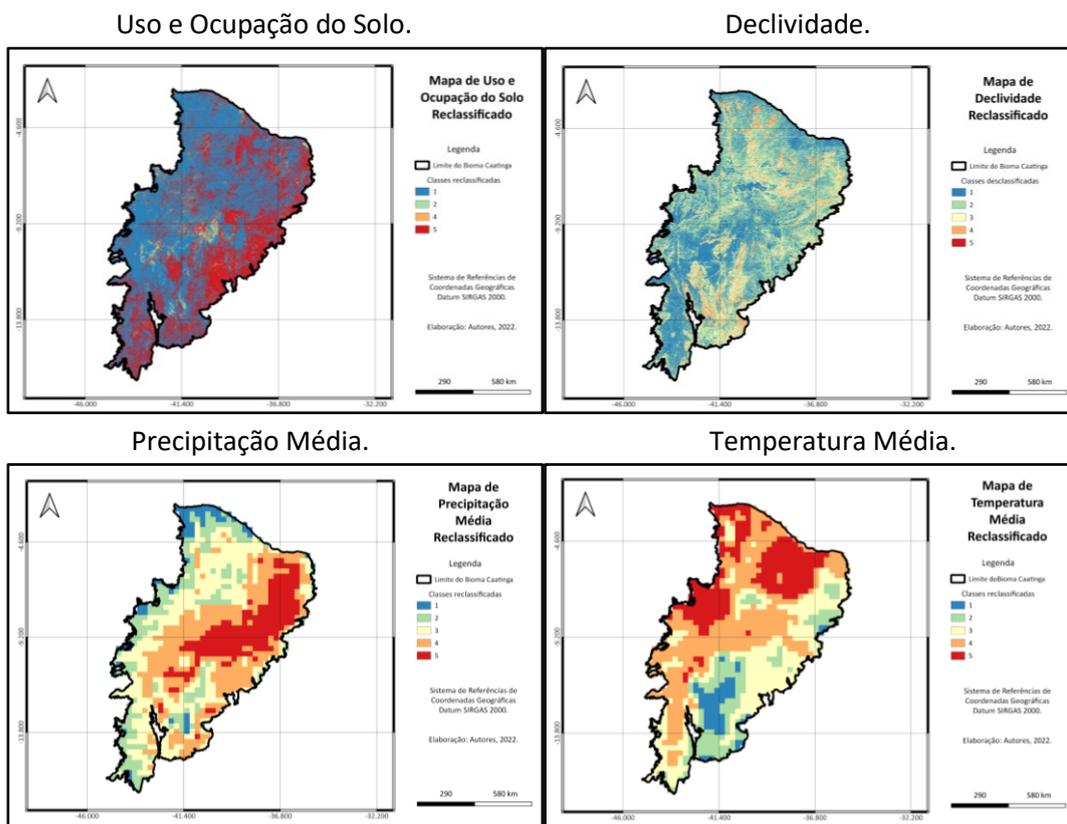
No Quadro 2 e na Figura 3 pode-se verificar que essas regiões são aquelas em que predominam as atividades agropecuárias, com relevo montanhoso (45 a 75 % de declividade) e escarpado (maior que 75% de declividade), baixos índices pluviométricos (abaixo de 470,9 mm/ano) e temperaturas médias anuais elevadas (acima de 27,3 °C).

Quadro 2 - Intervalos e classes consideradas para a reclassificação dos mapas para o Bioma Caatinga.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	
Níveis	Classes
Floresta	1
Formação Natural não florestal	2
Agropecuária	5
Área Urbana	4
Corpos D'Água	1
DECLIVIDADE	
Níveis	Classes
Plano (0 – 3%)	1
Suave Ondulado (3 – 8%)	2
Ondulado (8 – 20%)	3
Forte Ondulado (20 – 45%)	4
Montanhoso (45 – 75%)	5
Escarpado (> 75%)	5
PRECIPITAÇÃO MÉDIA (1991 a 2021)	
Níveis	Classes
237,901 – 470,86	5
470,86 – 609,264	4
609,264 – 758,314	3
758,314 – 960,596	2
960,596 – 1631,32	1
TEMPERATURA MÉDIA (1991 A 2021)	
Níveis	Classes
19,7 – 22,814	1
22,815 – 24,593	2
24,594 – 26,039	3
26,04 – 27,299	4
27,3 – 29,152	5

Fonte: Autores (2022).

Figura 3 - Mapas reclassificados dos fatores de risco analisados neste estudo.



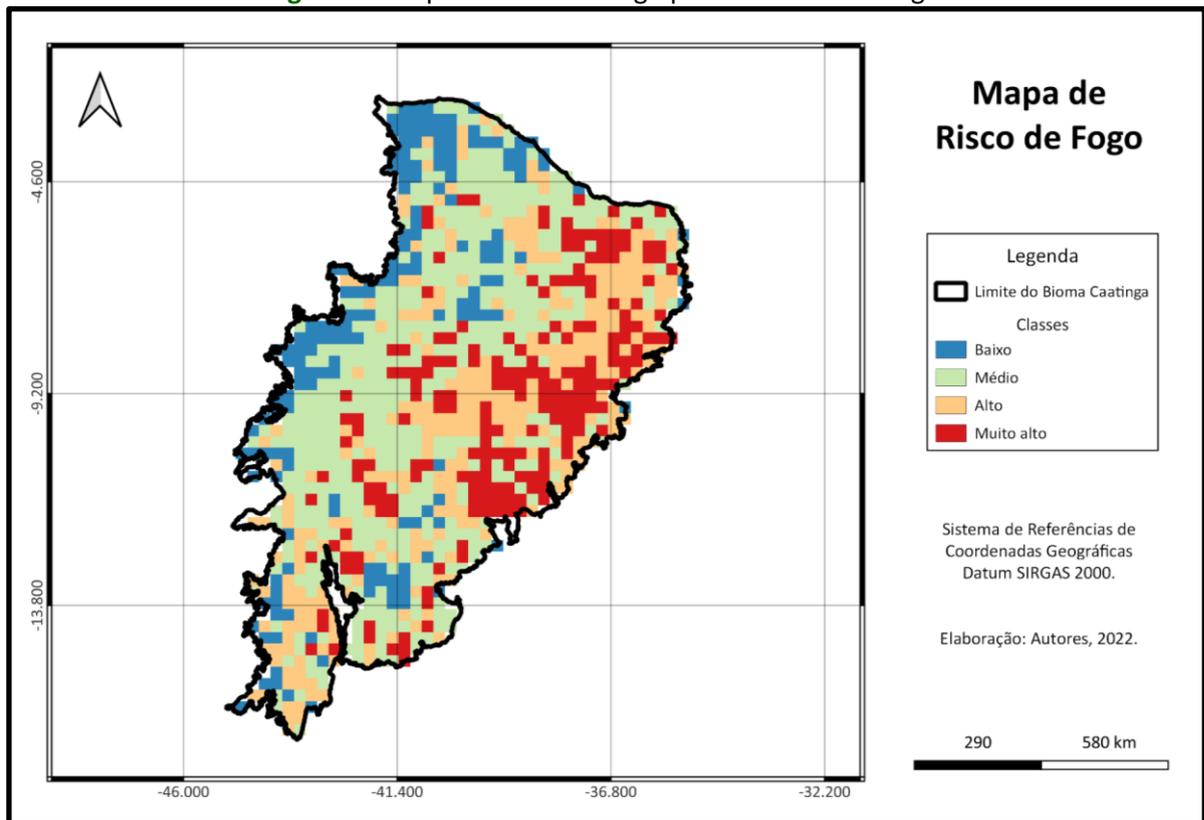
Fonte: Autores (2022).

Finalmente, na Figura 4, por meio da sobreposição dos mapas da Figura 3 utilizando o método AHP-Gaussiano, pode-se visualizar o mapa de risco de fogo para o bioma Caatinga. Este mapa foi obtido a partir da fórmula (1), onde cada fator de risco é multiplicado por um respectivo peso, obtido por meio do fator Gaussiano normalizado. Este fator é baseado no cálculo da média e desvio padrão para cada fator de risco.

Pode-se notar na fórmula (1) que o fator precipitação foi o que obteve o maior peso, seguido pelo uso e ocupação do solo, temperatura e declividade. Assim, o risco de fogo no bioma está, primordialmente, relacionado às condições pluviométricas e atividades antrópicas, o que foi demonstrado pelo maior número de focos de fogo nas classes de floresta e agropecuária (Tabela 2). Estes resultados estão de acordo com o que foi encontrado por Silva, Vasconcelos e Costa (2022) no Estado do Ceará. Os autores verificaram a estreita relação entre o regime pluviométrico e a prática das queimadas para limpeza de áreas, para o plantio de culturas de subsistências, e/ou para limpeza de aterros sanitários, aumentando o risco de propagação do fogo na vegetação.

É possível verificar na Figura 4 que a parte leste, especialmente as porções nordeste e centro-leste do bioma Caatinga apresentam alto risco de fogo, devido ao fato dessas regiões apresentarem baixos índices pluviométricos, temperaturas relativamente elevadas, declividades acentuadas e predominância de atividade agropecuária. Esse resultado também está de acordo com o que foi encontrado por Alves et al. (2021). Os autores verificaram no bioma Caatinga que áreas do leste do nordeste apresentavam elevado risco de fogo.

Figura 4 - Mapa de Risco de Fogo para o Bioma Caatinga.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 4 a classe de risco médio representa a maior área do bioma, equivalente a cerca de 47%. Logo em seguida, encontra-se a classe de risco elevado, representando uma área equivalente a aproximadamente 30% do bioma. A classe de risco muito alto aparece em terceiro lugar na área no mapa de risco de fogo, representando cerca de 21%. Finalmente, a classe de risco baixo representa somente cerca de 2% da área do bioma.

De acordo com o primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), até o final do século, a temperatura da Caatinga deverá aumentar progressivamente entre 3,5 °C e 4,5 °C e a ocorrência de chuva deve diminuir entre



40% e 50%. Essas projeções indicam que o risco de fogo deste bioma deve aumentar proporcionalmente, uma vez que a precipitação foi a variável com maior peso, entre todas as outras analisadas neste estudo. Além disso, essas projeções indicam um aumento no número de áreas susceptíveis à desertificação, que é algo que já vem sendo observado na Caatinga (GANEM et al., 2020).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a investigação de diferentes fatores relacionados ao risco de fogo no Bioma Caatinga e, por conseguinte, a identificação das regiões mais suscetíveis à queima. A utilização de ferramentas de geoprocessamento e o método de análise hierárquica gaussiano (AHP-Gaussiano) foram adequados para atingir os resultados, uma vez que boa parte destes foram corroborados por outros estudos.

Deve-se ressaltar que este é o primeiro estudo a aplicar o método AHP-Gaussiano para mapear o risco de fogo na Caatinga, uma vez que não foram identificados outros trabalhos que fizeram este mapeamento, ou mesmo que aplicaram este método para a mesma finalidade.

O risco de fogo indica a suscetibilidade de uma região à queima e é o produto de fatores relacionados às fontes de ignição e condições favoráveis de propagação do fogo. Neste estudo, as fontes de ignição foram representadas pelo mapa de uso e ocupação do solo, enquanto as condições de propagação foram representadas pelos mapas de declividade, precipitação e temperatura médias anuais.

Os resultados do mapeamento de risco, obtido com a sobreposição dos mapas de cada fator, com seus respectivos pesos, mostraram que a região leste do bioma, especialmente as porções nordeste e centro-leste, apresentaram os graus mais altos de suscetibilidade ao fogo.

A precipitação média anual foi o fator de risco mais significativo, uma vez que no centro-leste do bioma (área com risco muito alto) esta é inferior a 471 mm; além do fato de existir uma estreita relação entre o regime pluviométrico e as atividades agropecuárias. Neste contexto, a análise do uso e ocupação do solo no bioma, o segundo fator mais significativo, apontou que as áreas com risco muito alto de fogo apresentam, predominantemente, essas atividades. Além disso, a prática de queimadas, para fins dessas atividades, como abertura e

manutenção de áreas agrícolas, aumenta o risco de propagação do fogo na vegetação, o que foi demonstrado pelo maior número de focos de fogo observados nas classes de floresta e agropecuária. Deve-se ressaltar também o elevado grau de fragmentação da paisagem já existente na Caatinga, sendo que as áreas de pastagem catalisam ainda mais essa fragmentação do bioma, deixando-o mais suscetível ao fogo.

Finalmente, a temperatura média anual e a declividade foram os fatores que, relativamente, obtiveram os menores pesos para o mapa de risco. Porém, isso não significa que estes fatores sejam insignificantes; pelo contrário, também apresentam potencial importante de influenciar na propagação do fogo. O relevo é diversificado e as temperaturas médias anuais são bastante elevadas no bioma, apresentando poucas variações, com exceção das regiões de serras e chapadas.

Assim, destacam-se, então, a partir do mapa de risco de fogo final gerado, os Estados mais suscetíveis, ou seja, com maior propensão para o surgimento e/ou alastramento de incêndios: Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e o nordeste da Bahia. Estas áreas apresentam baixos índices pluviométricos, temperaturas e declividades mais elevadas e predominância de atividades agrossilvopastoris. Nesse contexto, a recorrência de incêndios evidencia que a Caatinga tende a se tornar cada vez mais fragilizada, aumentando, assim, o impacto dos danos ambientais e os desafios na conservação e restauração desse sistema.

As classes de risco alto e muito alto representaram, conjuntamente no mapa de risco, uma área equivalente a cerca de 51% da área total do bioma, o que demonstra a urgente necessidade de investimentos técnico-científicos nesta região, uma vez que este bioma, exclusivamente brasileiro, é rico em biodiversidade e, ao mesmo tempo, um dos menos estudados pela comunidade científica. Somado ao risco de fogo, demonstrado neste estudo, as mudanças climáticas estão impondo uma vulnerabilidade ainda maior a este bioma, que vem sentindo o aumento no número de áreas sujeitas a desertificação.

Portanto, ressalta-se a importância do desenvolvimento de pesquisas na área de risco de incêndio e seus índices, além de ações de controle, monitoramento, prevenção e predição de queimadas e incêndios florestais na região.

Espera-se que este artigo possa contribuir na constituição de políticas públicas e gestão ambiental neste bioma. A metodologia utilizada pode ser replicada para outras regiões com



recorrência de queimadas e incêndios florestais, a partir do conhecimento dos fatores de risco mais significativos a serem selecionados, os quais podem variar de local para local. Recomenda-se, ainda, que sejam feitos outros estudos de mapeamento deste bioma, levando-se em consideração outros fatores potenciais de risco de fogo, bem como as mudanças projetadas para o futuro nas variáveis climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos revisores anônimos pelas sugestões e contribuições e à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - Campus Itabira pelo apoio na realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**, Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, Ateliê Editorial, v. 4, 2017.
- AC - Associação Caatinga. **Bioma Caatinga**, 2022. Disponível em: <https://www.aacaatinga.org.br/sobre-a-caatinga/>. Acesso em: 05 maio 2022.
- ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; ARAÚJO, F. C.; SILVA, L. L. Um Estudo de Focos de Calor no Bioma Caatinga e suas Relações com Variáveis Meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786363001>.
- ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature**, Nature Communications, 2018. DOI: 10.1038/s41467-017-02771-y.
- ARCGIS. **ArgGis for SharePoint**, Camadas de estilo, 2022. Disponível em: <https://doc.arcgis.com/pt-br/sharepoint/latest/use-maps/use-style-options.htm>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- AVILA-DIAZ, A. *et al.* Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, v. 55, p. 1403–1426, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z>.
- BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Revista Floresta**, v. 30, n. 1/2, p. 45-54, 2000.
- BEZERRA, D. da S. *et al.* Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1998 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57337>.

CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J. M. C.; SANTOS, A. M. M. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar, CNPTIA: Repositório de Informação Tecnológica da Embrapa, **EMBRAPA**, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18266/1/Caatinga.pdf>. Acesso em: 02 maio 2022.

CHAVES, M. E. D. *et al.* Focos de calor no Cerrado e na Caatinga de Minas Gerais identificados por sensor orbital. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v.2, n.1, p. 042-054, 2021.

COSTA, H. G. **Introdução ao Método da Análise Hierárquica. Análise Multicritério no Auxílio à Decisão**. Projeto Integrado de Pesquisa “Análise multicritério aplicada a problemas de ordenação, priorização e classificação”, Rio de Janeiro, ed. 1, iv, 104p, 2002.

DEPPE, F.; PAULA, E. V.; MENEGHETTE, C. R.; VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. **Floresta**, v. 34, n.2, p.119-126, 2004.

ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather. Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store. **ERA5 monthly averaged data on single levels from 1959 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2022. DOI: 10.24381/cds.f17050d7.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Sistema de Inteligência Territorial Estratégica do Bioma Caatinga**. Campinas, SP, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/bioma-caatinga>. Acesso em: 06 jun. 2022.

FERREIRA FILHO, J. E.; ARAÚJO, A. C. Análise de Ocorrências de Incêndios Florestais na área do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863630025>.

GANEM, K. A. *et al.* Mapeamento da Vegetação da Caatinga a partir de Dados Ópticos de Observação da Terra – Oportunidades e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 829–854, 2020. DOI: 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56543.

GOMES, D. T.; SAKAMOTO, M. S.; SILVA, A. E. F. da. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, p. 467-475, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635300>.

HERSBACH, H. *et al.* The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, vol. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

INPE. **Programa Queimadas**. 2022. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>. Acesso em: 12 nov. 2022.

INPE. **INFOQUEIMA**. Boletim Técnico Mensal de Monitoramento de Focos de Fogo Ativo DEZEMBRO - 2021. v. 6, n. 11, 2021. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros-produtos/infoqueima>. Acesso em: 05 maio 2022.

ISPN - Instituto Sociedade, População e Natureza. **Caatinga**, Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.cerratinga.org.br/biomas/caatinga/>. Acesso em: 12 maio 2022.



JUVANHOL, R. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R. **Modelagem de Risco de Incêndios em Florestas Naturais com o Uso de Geotecnologias**, cap. 11, 2015. Disponível em: <https://www.mundogeomatica.com/Publicacoes/Capitulo23.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

KUMARI, B.; PANDEY, A. C. Geo-informatics based multi-criteria decision analysis (MCDA) through analytic hierarchy process (AHP) for forest fire risk mapping in Palamau Tiger Reserve, Jharkhand state, India. **J Earth Syst Sci**, v. 129, n. 204, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-020-01461-6>.

LACERDA, H. C., FARIA, A. L. L., TORRES, F. T. P., FONSECA, H. P., SOARES, W. O., SILVA, M. A. Suscetibilidade a incêndios florestais em unidade de conservação localizada na região de transição dos Biomas Cerrado e Mata Atlântica, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 451–473, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509864171>.

LAMAT, R. *et al.* Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India. **SN Appl. Sci.**, v. 3, n. 425, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>.

LI, S. *et al.* Identifying local-scale meteorological conditions favorable to large fires in Brazil. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, 2021. DOI: 10.1002/cli2.11.

LISBOA, M. J. **Multiple Criteria Decision**. v. 9bf6e61, 2022. Disponível em: https://github.com/MarioLisboaJr/multiple_criteria_decision. Acesso em: 05 dez. 2022.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P. da; BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. **Ciência e Natura**, v.36, n.3, p.459-469, 2014. DOI: 10.5902/2179460X11892.MAPBIOMAS.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomas**, SEEG/OC, 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

MAPBIOMAS. **Infográfico Caatinga - Evolução Anual da Cobertura e Uso da Terra (1985 - 2021)**, 2022. Disponível em: https://mapbiomas.org/infograficos-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 05 nov. 2022.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – Um Estudo de Caso**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.

NIKHIL, S. *et al.* Application of GIS and AHP Method in Forest Fire Risk Zone Mapping: a Study of the Parambikulam Tiger Reserve, Kerala, India. **J Geovis Spat Anal**, v.5, n.14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41651-021-00082-x>.

NUTHAMMACHOT, N.; STRATOULIAS, D. A. GIS- and AHP-based approach to map fire risk: a case study of Kuan Kreng peat swamp forest. **Geocarto International**, v.36, n.2, p.212-225, Thailand, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1611946>.

NUTHAMMACHOT, N.; STRATOULIAS, D. Multi-criteria decision analysis for forest fire risk assessment by coupling AHP and GIS: method and case study. **Environ Dev Sustain**, v.23, p.17443–17458, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01394-0>.

OLIVEIRA, V. F. R. *et al.* Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, p. 1194-1212, 2020.

PAREYEN, F. G. C.; MILIKEN, W.; BARACAT, A.; GARIGLIO, M.; SANTOS, E.; GALINDO, R.; GASSON, P.; GALLINDO, F.; HASSETT, D. Cuidando da Caatinga. **APNE - Associação Plantas do Nordeste e Royal Botanic Gardens, Kew**. 2013. ISBN: 978-1-84246-500-4.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 1, 464 pp, 2014. ISBN: 978-85-285-0207-7.

PIVELLO, V. R. *et al.* **Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies**. Perspectives in Ecology and Conservation Volume 19, Issue 3, p. 233-255, 2021.

SANTOS, M.; COSTA, I. P. de ARAUJO; GOMES, C. F. S. Multicriteria Decision-Making in The Selection Of Warships: A New Approach To The AHP Method. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 13, p. 1-13, 2021.

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. **Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE**. INPE, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 5435-5442, 2009. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.56/doc/5435-5442.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SILVA, E. M. da *et al.* Registros de Queimadas em Vegetação (Incêndios) e a Climatologia da Chuvas no Estado do Ceará: Estudo de Caso no Período de 2015 a 2019. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863630040>.

SILVA, E. M. da.; VASCONCELOS, F. L.; COSTA, A. A. Nexo Entre a Climatologia de Precipitação e as Ocorrências de Incêndios em Vegetação nos Municípios ao Longo da Rodovia CE-060 - Região de Interesse Econômico do Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863740080>.

SILVA, T. B. F. **Perfil e índice de incêndios florestais em áreas naturais protegidas da Caatinga**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/37327/1/Perfileindice_Silva_2020.pdf. Acesso em: 05 jun. 2022.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A. **Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP**, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200009>.

SOARES-FILHO, B., RAJÃO, R., MACEDO, M., CARNEIRO, A., COSTA, W., COE, M., RODRIGUES, H., ALENCAR, A. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, 344(6182), p. 363-364, 2014.

SOUSA FILHO, V. R. *et al.* Dinâmica dos Focos de Calor nas Mesorregiões Climáticas do Estado de Alagoas, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863730029>.



SOUTO, C. A.; FREITAS, A. C. V.; MARTINS, G. Influência das Condições Meteorológicas Atuais e Futuras na Ocorrência de Queimadas e Incêndios Florestais no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, 2021.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **RESOLUÇÃO CONDEL/SUDENE Nº 150, DE 13 DE DEZEMBRO DE 2021**, ed. 246, s. 1, p. 52, 2021.

TAREK, M.; F. P. BRISSETTE; R. ARSENAULT. Large-Scale Analysis of Global Gridded Precipitation and Temperature Datasets for Climate Change Impact Studies. **J. Hydrometeor.**, v.21, p.2623–2640, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0100.1>.

TORRES, F. T. P. *et al.* Mapeamento da Suscetibilidade a Ocorrências de Incêndios em Vegetação na Área Urbana de Ubá-MG. **Revista Árvore**, v. 5, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000500005>.

TORRES, F. T. P. *et al.* Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v.24, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025615>.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. **Influência do Relevo nos Incêndios em Vegetação em Juiz de Fora (MG)**. Universidade Federal de Viçosa, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2016.v18i36.a13748>.

VIEIRA, DOS S. G. **Análise Espaço-Temporal do Fogo no Bioma Caatinga**, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 42 p, 2021.