

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS CHAPADINHA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

THIAGO ROCHA ARAÚJO

**ZONEAMENTO DE RISCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS
NO MUNICÍPIO DE BREJO - MA**

**CHAPADINHA, MA
2022**

THIAGO ROCHA ARAUJO

**ZONEAMENTO DE RISCOS DE INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE BREJO – MA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Profº. Drº. Marcus Willame Lopes
Carvalho

**CHAPADINHA, MA
2022**

THIAGO ROCHA ARAÚJO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

TCC defendido e aprovado, em ____ de _____ de 2022, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado
Examinador

Esp. Marcelino Brito da Silva
Bacharel e licenciado Geografia - UFPa
Especialista em Geoprocessamento – Unip
Examinador

CHAPADINHA, MA
2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

ROCHA ARAÚJO, THIAGO.

ZONEAMENTO DE RISCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO
MUNICÍPIO DE BREJO MA / THIAGO ROCHA ARAÚJO. - 2022.
41 p.

Orientador(a): Marcus Willame Lopes Carvalho.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2022.

1. Fogo. 2. Planejamento de PCIF. 3. Vegetação. I.
Lopes Carvalho, Marcus Willame. II. Título.

Aos meus pais, José Antonio Rocha Araújo e Norma Conceição Rocha Araújo, que sempre acreditou no meu potencial e nunca me deixou pensar em desistir, por tudo que fez por mim e pelo lindo legado que deixou à minha história.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais José Antônio Bastos Araújo e Norma Conceição Lisboa Rocha, aos meus irmãos Elayne, Grazielle, Matheus e Bruna. E meu obrigado a toda a família pela confiança, força, incentivos, amor, carinho, ensinamentos, etc.

Ao meu orientador professor Marcus Willame Lopes Carvalho pelos ensinamentos, paciência e amizade. Obrigado, professor!

A minha amiga e irmã do curso de engenharia agrícola Iasmim Leite, obrigado pela amizade e por ser essa pessoa incrível que nunca largou minha mão, e que sempre estive ao meu lado nos piores e melhores momentos no período acadêmico.

A todos os meus amigos de turma e da universidade, em especial ao Emanoelle Baeta e Gessiele Rodrigues pela grande amizade, força e companheirismo durante toda graduação.

Aos meus amigos conterrâneos, principalmente Filho, Brendon, Neide, Conceição, Neto, Sebastião e Carla, que sempre estiveram comigo nessa caminhada mesmo longe.

À Universidade Federal do Maranhão pela oportunidade de realizar o curso, e a todos os professores do Centro de Ciências Chapadinha pelos conhecimentos repassados.

Agradeço à Deus, por estar sempre ao meu lado diante dos dias difíceis e por todo consolo quando pensei em desistir, por sempre me proteger e me guardar até aqui.

OBRIGADO!

.

*“Quando finalizar uma etapa, não olhe
para ela como a linha de chegada.
Olhe como o ponto de partida para a
sua próxima conquista.”*

(Pensador.)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	08
RESUMO	09
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo geral.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. Ocupação e supressão da vegetação do município de Brejo - MA.....	13
3.2. Fatores relacionados ao riscos de incêndios florestais	14
3.3. Geoprocessamento (Sistema de Informações Geograficas e Sensoriamento Remoto)...	15
3.4. Zoneamento de riscos de incêndios florestais	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1. Caracterização da área estudo.....	19
4.2. Obtenção dos planos de informações.....	19
4.2.1. Uso e ocupação do solo	20
4.2.2. Índice de vegetação	20
4.2.3. Declividade do terreno, altitude e orientação das encostas	21
4.2.4. Malha hidrográfica e sistema viário	21
4.3. Mapa de risco	22
4.3.1. Definição de pesos dos fatores.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5.1. Fator de influência em função da declividade	25
5.2. Fator de influência em função da orientação da encostas	26
5.3. Fator de influência em função da altimetria	27
5.4. Fator de influência em função da rede viária	28
5.5. Fator de influência em função da rede hidrografica	29
5.6. Fator de influência em função do uso e ocupação do solo	30
5.7. Fator de influência em função do índice de vegetação	31
5.8. Zoneamento de riscos de incêndios florestais	32
6. CONCLUSÕES.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Brejo - MA.	19
Tabela 1. Classificação de risco segundo o uso do solo.	20
Tabela 2. Classificação de risco segundo o índice de vegetação (NDVI).	21
Tabela 3. Classificação de risco segundo a declividade 21	21
Tabela 4. Classificação de risco segundo a altimetria. 21	21
Tabela 5. Classificação de risco segundo a orientação das encostas. 21	21
Tabela 6. Classificação de risco segundo o corpos hídricos. 22	22
Tabela 7. Classificação de risco segundo o sistema viário. 22	22
Figura 2. Escala de pontos para a comparação pareada entre os fatores. 22	22
Tabela 8. Matriz de comparação pareada entre os fatores de risco de incêndios florestais. 23	23
Figura 3. Influência da declividade sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA. 24	24
Figura 4. Influência de orientação das encostas sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.. 25	25
Figura 5. Influência da altimetria sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.. 26	26
Figura 6. Influência da sistema viária sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA. 27	27
Figura 7. Influência da uso do solo sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA. 28	28
Figura 8. Influência da hidrografia sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA. 29	29
Figura 9. Influência da índice de vegetação sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.. 30	30
Figura 10. Mapa de riscos de incêndios florestais para o município de Brejo - MA... 31	31

RESUMO

O zoneamento de risco de incêndios florestais é uma ferramenta fundamental para a prevenção, o monitoramento e a tomada de decisões no combate a incêndios. O objetivo com esse estudo foi realizar um zoneamento de riscos de incêndios florestais para o município de Brejo – MA. O uso e cobertura do solo foram utilizadas imagens originadas do satélite LandSat 8 OLI e TIRS, adquiridas pelo site USGS. A caracterização da cobertura vegetal da área foi realizada por meio do cálculo NDVI. Os dados referentes às variáveis declividade do terreno, orientação das encostas e altitude foram obtidos a partir do MDE, disponibilizado no site do Projeto TOPODATA. Para a elaboração dos mapas com os corpos hídricos e rede viária utilizou-se mapas vetoriais do IBGE. A técnica do Processo Hierárquico Analítico foi aplicada para a atribuição de pesos aos fatores mencionados. Feito isso, mapas temáticos foram elaborados mostrando zonas de riscos de ocorrência e propagação do fogo, onde detectou-se risco muito baixo (1,16%), baixo (50,05%), médio (19,68%), alto (26,47%) e muito alto (2,51%) para o território de Brejo, sendo as áreas mais propícias localizadas na região oeste do município. Esses resultados são de potencial interesse para estratégias de prevenção e combate aos incêndios florestais e definição de políticas públicas relativas à manutenção do patrimônio ecológico na área municipal.

Palavras-chave: Planejamento de PCIF, Fogo, Vegetação.

1. INTRODUÇÃO

A ação do fogo vem tendo efeitos extremamente negativos nos ecossistemas, em que sua ocorrência e propagação dependem de vários fatores associados ao fenômeno, podendo ser natural ou antrópica. Neste contexto, os incêndios florestais variam em função do ambiente, onde a regiões com maior ou menor risco de ignição. Uma das principais causas de incêndios são as ações de uso e ocupação da terra. Avaliar os riscos de incêndios é essencial para o planejamento de ações preventivas (OMENA, 2016).

O cerrado brasileiro é considerado a savana mais biodiversa do mundo, em termos para conservação. No entanto, nas últimas décadas tem sido frequentemente ameaçado pelo uso indiscriminado do fogo, afetivamente a manutenção da biodiversidade. Nesse sentido, o manejo agropecuário vem comprometendo afetivamente as unidades de conservação, em função de usos alternativos do solo, o que implica a perda de cobertura vegetal nativa, fator que contribui para ocorrências de queimadas no período de seca (Camelo, 2020). No segundo trimestre cerca de 154.811 focos de queimadas no país, sendo 17.944 focos foram registrados no Nordeste, pouco mais de 39.9% foram registrados no Maranhão (INEP, 2019).

Recentemente, as proporções na cobertura vegetal do município de Brejo (MA) vêm sendo realizadas em grandes proporções, a redução da área com vegetação nativa, como apontam dados de pesquisas realizadas que, à medida que o agronegócio avança no município, verifica-se alterações na área. Alterações essas que possuem certo risco em maior ou menor escala, mesmo em terreno plano, devido às formas de manejo aplicadas, tendo como base o fogo (ALMEIDA E MATTOS JUNIOR, 2016).

Vale ressaltar que, a incidência do fogo é um componente natural do bioma, fazendo parte do seu desenvolvimento. O fogo no cerrado é responsável pelo seu ciclo evolutivo em diferentes regimes de queima, que tem função de desbaste natural de gramíneas e a quebra de dormência de sementes (CAMELO, 2020).

Portanto, é importante salientar a técnica de detecção de queimadas e incêndios florestais através de ferramentas geotecnologias, as imagens geradas pelos sensores termais e infravermelho via satélite, são os mais utilizados. Após tratamento, é possível identificar quais os focos de calor que representam fogo em vegetação, tornando-se possível a utilização destes dados para fins diversos, como combate ao fogo, delineamento de atividades preventivas, trabalhos científicos, dentre outros (WHITE, 2017).

O zoneamento do risco de incêndios florestais permite facilitar a compreensão e prevenção dos incêndios florestais. É um instrumento que apresenta baixo custo e uma boa eficiência e com auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG) é capaz identificar os locais onde haverá maior probabilidade de ocorrer focos de calor, possibilitando priorizar as regiões de maior risco e estruturar os serviços de combate a incêndios dentro de limites economicamente viáveis (CAMELO, 2020).

Tendo em vista estas considerações, diversos trabalhos contidos na literatura têm utilizado técnicas de geoprocessamento para a detecção de áreas susceptíveis a incêndios florestais, permitindo um melhor gerenciamento do território. Utilizando variáveis meteorológicas, morfológicas, disponibilidade de combustível e ação antrópica, para desenvolver uma alternativa de monitoramento de ambiental (OLIVEIRA, 2020).

A carência de conhecimento de áreas com risco de incêndios florestais dificulta o estabelecimento de estratégias adequadas de prevenção e combate aos incêndios. A utilização de técnicas de prevenção, assim como a realização de um planejamento estratégico de combate, é alternativa viável para redução das ocorrências (FERRAZ E VETORAZZI, 2003).

Deste modo, medidas de prevenção e combates vêm sendo adotadas para auxiliar os efeitos negativos do fogo, dentre elas, os zoneamentos de áreas de risco que é um fator fundamental para o planejamento da proteção florestal. Esta técnica possibilita visualizar o arranjo espacial das áreas com maior probabilidade de ocorrência de incêndios e possibilitando uma melhor adequação destinados à prevenção e supressão do fogo (WHITE et al., 2016).

Esse conceito pode ser útil para as autoridades do Estado do Maranhão, em especial para gestores do município de Brejo. Nossa hipótese consiste na possibilidade de mapas temáticos do risco de incêndios gerados a partir de técnicas de geoprocessamento, considerando um modelo de suscetibilidade a partir de ponderação de fatores de afetam a probabilidade de ocorrência de incêndios.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Efetuar o zoneamento de risco de incêndios florestais para o município de Brejo – MA por meio de uma avaliação multicritério.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar os fatores físicos do local, associados ao risco de incêndios;
- Gerar informação cartográfica de uso e cobertura do solo, declividade, altimetria, orientação das vertentes, rede viária, uso e ocupação do solo e rede hidrográfica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.Ocupação e supressão da vegetação do município de Brejo – MA

O estado do Maranhão possui uma área superficial da ordem de 331.984 km², e cerca de 64,09% da extensão do território considera-se como bioma cerrado, a região possui um clima tropical chuvoso, com invernos secos e verões chuvosos, a precipitação média anual varia de 750 a 2000 mm e sua a cobertura vegetal natural é composta por formações florestais, savânicas e campestres. Esse percentual vem decrescendo devido ao desmatamento, que têm mudado significativamente o uso e a cobertura do solo na região (Silva Junior et al., 2018).

O município de Brejo está localizado na mesorregião leste maranhense, mais precisamente na microrregião de Chapadinha entre os municípios de Chapadinha, Buriti, Anapurus, Mata Roma e Milagres do Maranhão. Nesse sentido, a expansão da sojicultura tem ganhado força obtendo valores mais expressivos na produção do grão, o município de Brejo ganha destaque na produção do grão de soja em quantidade de toneladas produzidas (Almeida e Mattos Junior, 2016).

O desenvolvimento da sojicultura na região deve-se aos grandes empreendimentos de empresas rurais, ao avanço de novas tecnologias e cultivares de soja adaptados às condições fisiográficas. À medida em que a atividade se expande em quantidade de área plantada e produtividade, o município ganha notoriedade em larga escala se destacando na produção sojícola (Almeida e Mattos Junior, 2016).

Além disso, a atividade expande-se pelo cerrado por apresentar condições naturais para o cultivo da soja, como a temperatura, a distribuição das chuvas, da luminosidade e da topografia, apresentando imensas áreas planas e contínuas. Este fato possibilitou que o município conquistasse a liderança da produção em relação aos demais municípios que compõem a microrregião (Jardim, 2021).

No entanto, com a retirada de grande parte da cobertura vegetal natural, torna agravante o processo de desertificação da área, o que também contribuiu para a redução da área com vegetação nativa, ficando parcial ou totalmente impossibilitadas as atividades de subsistência da agricultura familiar e do extrativismo realizados nas áreas de chapada, local preferencialmente utilizado pelo agronegócio. Contudo, um fator limitante para expansão da soja é a predominância de babaquais, pois municípios apresentar uma extensão territorial maior que os demais, a sua vegetação é considerada como uma espécie barreira natural à mecanização agrícola, dificultada pela estrutura radicular em quantidade e profundidade comprometedoras (Jardim, 2021).

Além disso, outros problemas podem estar relacionados, incluindo à expansão das áreas agrícolas, como a erosão e a ocorrência de incêndios florestais. No Brasil o fogo ainda é muito utilizado como uma “ferramenta” de preparo das áreas agrícolas voltadas para o cultivo de lavouras, renovação de pastagens, controle/combate de pragas e doenças de plantas, de criações, além de plantas invasoras e, ainda, na limpeza e redução de fontes de material combustível presente na superfície do solo (Ladislau, 2021).

3.2.Fatores relacionados aos riscos de incêndios florestais

De acordo com Souza (2019), os incêndios florestais, originam-se por fenômenos naturais ou pela ação humana. Normalmente incêndios começam por relâmpagos, queima de entulhos, gases emitidos pelos escapamentos de máquinas e equipamentos, queimadas em áreas agrícolas, cigarros jogados negligentemente e incêndios criminosos. Portanto, tal problemática possui elementos que abrangem diferentes aspectos, os quais se encontram integrados em suas consequências e desdobramentos.

O meio ambiente vem sofrendo muitos impactos negativos causados pela ação antrópica, o uso de expansão ocupacional de novas áreas para o desenvolvimento de atividades rurais, vem-se representando uma parte importante nos danos ambientais. A utilização dessas atividades, acaba permitindo reação necessária de três elementos: calor, oxigênio e combustível, possibilitando a ação do fogo que está associada aos períodos de estiagem, ocasionando incêndios florestais (Sales, 2019).

Segundo Bernardes (2019), o fogo tipicamente apresenta cinco fases: pré-ignição, combustão em chama, combustão em fumaça, combustão em brasa e extinção. Embora todas as três fases de combustão resultem em impactos sobre a sustentabilidade das camadas do solo, a transferência de calor da parte orgânica e mineral dos horizontes do solo produz os mais profundos impactos sobre os processos físicos, químicos e biológicos envolvidos na sustentabilidade dos ecossistemas.

Diversos parâmetros do ambiente têm forte suscetibilidade sobre o início, a propagação e a intensidade de incêndios florestais. Os aspectos mais relacionados à determinação de risco de incêndios são: o material de combustível, as condições climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal (Silva, 2019).

Dessa forma, diversos fatores podem auxiliar na determinação de risco de incêndios florestais, entende-se que zonas de risco são áreas em que o fogo é iminente e que facilmente poderá se espalhar para outras áreas, onde podem ser classificados em dinâmicos ou constantes. Os aspectos dinâmicos estão relacionados às condições

meteorológicas, como exemplo das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica (White, 2016).

Já os aspectos constantes costumam variar em menor intensidade, tais como, o relevo, material combustível. Contudo, os incêndios florestais podem ser analisados pela utilização de índices de perigo, bem como pelo mapeamento das áreas de maior risco, levando em consideração apenas a sua análise, não são suficientes para predizer novos locais de incidência, mas fornecer uma ideia das áreas de maior risco. Tendo em vista que a avaliação de risco pode ser entendida como o processo de se estimar a probabilidade, buscando alternativas possíveis de danos causados pelos incêndios (White, 2016).

Algumas ferramentas podem ser utilizadas para detectar e distinguir as diferentes formas de utilização do espaço, assim como as mudanças nele ocorridas, e com isso obter informações importantes. Atualmente o geoprocessamento tem possibilitado análise do território observado, que por meio das imagens de satélite proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre (Torres, 2017).

3.3.Geoprocessamento (Sistema de Informações Geograficas e Sensoriamento Remoto)

Nesse sentido Xavier (2021), conceitua o geoprocessamento uma importante ferramenta com um conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados georreferenciados. Através disso, tem se mostrado um instrumento fundamental para o desenvolvimento das pesquisas em diversas áreas e realização dos mais variados trabalhos.

Sendo assim, Souza (2021), inclui que o geoprocessamento em diferentes tecnologias da informação geográfica, onde, é possível estudos nas demais áreas de aplicabilidade, tais como: saúde, agricultura, meio ambiente, gestão de território, fronteiras, planejamento e gestão das cidades e entre outros. De forma generalizada, os softwares são partes dos componentes dos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, podem ser aplicadas ou utilizadas nas atividades geotecnologias, sendo uma ferramenta de atuação do geoprocessamento.

É importante destacar a aplicação dos SIGs, tem se mostrado uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento, os mapas permitem obter uma visão geral do que vem ocorrendo dentro da área de estudo. Através de técnicas de sensoriamento remoto essas informações se tornam úteis principalmente em regiões remotas e de difícil acesso como em Unidades de Conservação e áreas rurais (Silva,

2021).

O sensoriamento remoto é uma das ferramentas importantes, porque, por meio dele é possível obter informações sem que haja contato físico, somente por meio de radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos. Na atualidade o sensoriamento remoto vem sendo largamente aplicado para o monitoramento de coberturas vegetais, volta-se, principalmente, para seu comportamento espacial ou fisiológico, sendo possível explorar as classes de uso do solo, pois essa técnica permite a identificação de classes temáticas na superfície terrestre e da área de ocorrência (Ribeiro, 2021).

3.4.Zoneamento de risco de incêndios florestais

O uso de geotecnologias é fundamental para a gestão de territórios, é possível obter rapidamente informações atualizadas. Em relação a prevenção e combate a incêndios, o sensoriamento remoto permite análises espaciais e temporais que facilitam estudos de impactos ambientais futuros, que permitem elaborar mecanismos que auxiliem na desaceleração do desmatamento e nas ações preventivas (Borges, 2021).

Diante disso, a preocupação com os incêndios florestais, tem tomado grandes proporções vem sendo tentado de muitas formas, minimizando os efeitos negativos que o fogo fora de controle deixa como consequência na paisagem e na fauna. A utilização do zoneamento de riscos de incêndios florestais é uma ferramenta de planejamento que realiza a delimitação de áreas categorizadas, referente ao mapeamento racional dos recursos destinados à prevenção (Leal et al., 2019).

A proposta de zoneamento de risco de incêndio florestais é apresentar quantitativos das zonas de risco com base em análise integrada das variáveis espaciais onde é possível determinar zonas de risco que se distribuem de acordo ao seu nível de risco, indicando diferentes situações de ocorrência de incêndio e queimadas e, conseqüentemente, permitem maior auxílio ao monitoramento ambiental do município e das atividades potenciais para desencadear a ocorrência de fogo em áreas urbanas e rurais (Nascimento, 2018).

Diante os parâmetros do ambiente com maior suscetibilidade sobre o início, a propagação e a intensidade de incêndios florestais destacam-se: uso e ocupação do solo, declividade, altitude, orientação das encostas, rede viária e rede hidrográfica.

- Uso e Ocupação do solo é um fator de influência, no que se refere a disponibilidade de matérias combustíveis e, por outro, as vegetações de maior resistência frente a incêndios, como as formações florestais. Dessa forma, a expansão da agricultura e da pecuária interferem com o mais alto grau de risco a

incêndios, sobretudo se estiverem secas e apresentarem manejo incorreto (Torres, 2018).

- Declividade está diretamente relacionada com a direção, velocidade e a intensidade de propagação do fogo, uma vez que o ar quente proveniente da área incendiada pré-aquece os combustíveis à frente do fogo, proporcionando maior velocidade de avanço nos aclives. Assim, dependendo do ângulo, a inclinação pode ser mais importante que o vento na determinação da taxa de propagação do fogo (Camelo et al., 2020).
- Altitude influencia na estrutura da vegetação, na umidade do ar, temperatura e nos combustíveis. As regiões mais elevadas geralmente se caracterizam por serem mais úmidas e frias e que o fogo sofre maior influência da umidade e da temperatura. Por outro lado, a altitude influencia no gradiente vegetacional e no aumento da fragilidade do ecossistema em caso de incêndio (Junior et al., 2018).
- Orientação das encostas é uma variável importante por estar associada à redução da umidade de materiais combustíveis que estão sobre incidência direta da energia solar, entendendo que quanto maior for o tempo de exposição solar, maior é o risco ao incêndio, representando assim, um importante elemento de propagação do fogo (Torres, 2017).
- Rede viária é a principal base de todas as atividades, sobretudo no transporte de matéria-prima. Além disso, o acesso de pessoas e veículos causa risco de incêndio por vários fatores, como incêndios criminosos, prática de cultos religiosos, incêndios causados por cigarros e práticas de pequenas fogueiras, entre outras ocorrências (Moreira et al., 2020).
- Rede hidrográfica pode ser positiva ou negativa em relação aos riscos de incêndios, a proximidade com corpos de água são consideradas positivas por servirem como barreira à propagação do fogo, e negativas quando sofrem influência direta, pois os proprietários da região podem limpar as margens dos rios para coleta de água destinada ao consumo humano e animal, tornando assim essas áreas mais suscetível a entrada de fogo, e em alguns pontos de sua extensão possuem áreas de recreação e pesca, onde por meio de fogueira pode ocasionar um incêndio (White et al., 2021).

Os índices de vegetação têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global. Esses índices melhora a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, visto que nesse modelo é inserida a banda azul para a correção da banda vermelha quanto ao espalhamento

atmosférico, a fim de reduzir as influências atmosféricas por aerossóis (Lima, 2017).

Diante disso, destaca-se a importância de estudos voltados para identificação de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de incêndios. Através do zoneamento podem ser criadas estratégias de combate à preservação do ecossistema local, com a adoção de medidas que procuram eliminar a origem ou a causa dos incêndios bem como reduzir os riscos de propagação do fogo (Aximoff et al., 2020).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área estudo

O município de Brejo, localizado na região nordeste do estado do Maranhão (Figura 04). É caracterizada pelo grande avanço da agricultura nos últimos anos. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com temperatura média anual superior a 27 °C e precipitação pluvial média anual de 1835 mm, com períodos de chuva entre os meses de janeiro e junho e de seca de julho a dezembro; a umidade relativa do ar anual fica entre 73 e 79 %. O perfil altimétrico é variado, possui relevo ondulado a suave ondulado (Maranhão, 2002).

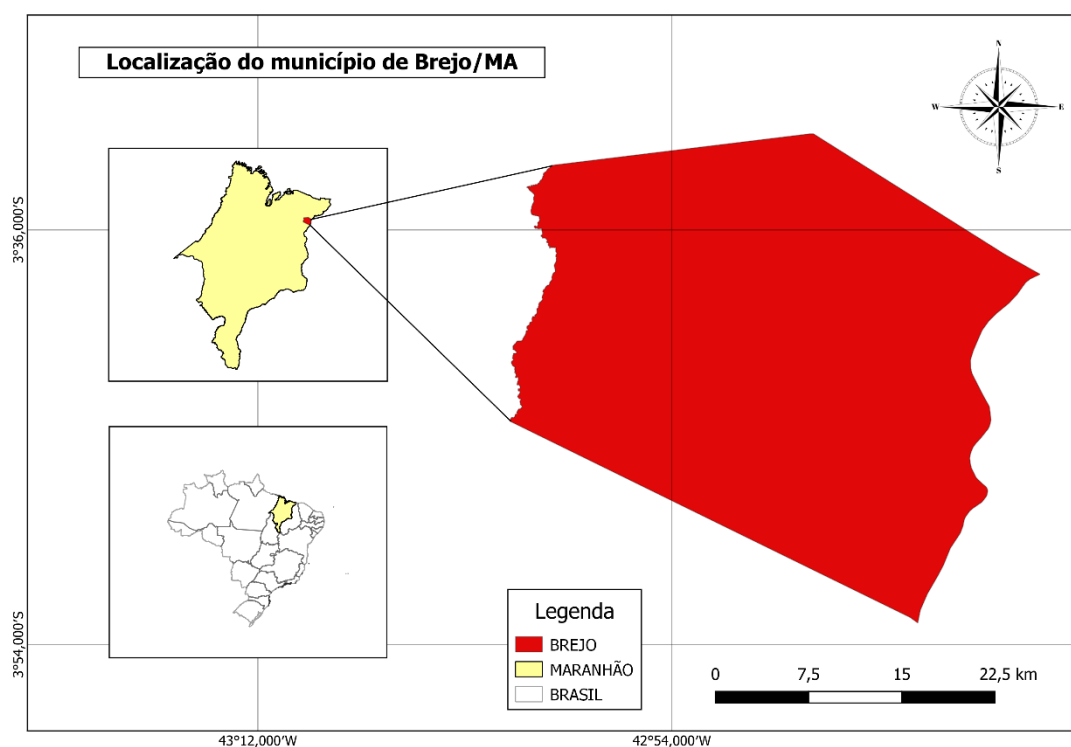


Figura 1. Localização do município de Brejo - MA.

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira destinada a obtenção dos planos de informação necessários e a segunda consistiu na construção de um modelo de risco de incêndios.

4.2. Obtenção de informação

Esta etapa envolveu a elaboração do banco de dados e confecção de planos de informação, com os parâmetros necessários à análise de risco de incêndios florestais. foram

considerados o uso e ocupação do solo, a declividade do terreno, orientação das encostas, hidrografia, sistema viário e altitude (White et al. 2016) a caracterização da cobertura vegetal da área foi realizada por meio do cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Oliveira e Aquino, 2020).

4.2.1. Uso e ocupação do solo

Foram utilizadas imagens originadas do satélite *LandSat 8 Operational Land Imager* (OLI) e Sensor Termal Infravermelho (TIRS), adquiridas pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Foram utilizadas as bandas 2, 3, 4 e 5 que compreendem as bandas RGB e IV (*Red, Green, Blue* e infravermelho). Utilizado o *software* QGIS, para realização das mesclagem das bandas e a partir da imagem gerada o fator referente ao uso e cobertura do solo foi obtido por meio da interpretação visual das imagens, onde foram vetorizados polígonos sobre cada classe de uso representante. Em seguida, o mapa foi reclassificado de acordo com o risco que cada classe possui (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação de risco segundo o uso do solo		
PESO	CLASSES	RISCO
1	Corpo hídrico	Muito Baixo
2	Área Nativa	Baixo
3	Área urbanizada	Alto
4	Agropecuária	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2007)

4.2.2. Índice de Vegetação

Utilizando as bandas obtidas do satélite *LandSat 8* e com auxílio da ferramenta calculadora raster do *software* QGIS, determinando o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), que é calculado pela diferença entre as bandas do Infravermelho Próximo e do Vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas, de acordo com a Eq. 1 (Oliveira e Aquino, 2020):

Equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Sendo:

NDVI - valor do índice de vegetação da diferença normalizada

IVP - valor da reflectância na faixa do infravermelho próximo

V - valor da reflectância na faixa do vermelho

O fator referente ao índice de vegetação foi determinado com base no vigor vegetativos pela interpretação da escala de valores variando de -1 a 1. Em seguida o mapa

foi reclassificado de acordo com o risco de cada classe (Tabela 02).

Tabela 02. Classificação de risco segundo o Índice de Vegetação (NDVI)

PESO	CLASSES	RISCO
1	-0,15 a 0	Muito Baixo
2	0 a 0,12	Baixo
5	0,12 a 0,24	Muito Alto
4	0,24 a 0,36	Alto
3	0,36 a 0,47	Médio

4.2.3. Declividade do terreno, altitude e orientação das encostas

Os dados referentes às variáveis declividade do terreno, orientação das encostas e altitude foram obtidos a partir do modelo digital de elevações - MDE, disponibilizado no site do Projeto TOPODATA (<http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>), os mapas foram desenvolvidos utilizando o software QGIS (Leal et al., 2019). Em seguida foram reclassificados de acordo com o risco referente a cada classe (Tabela 3, 4 e 5).

Tabela 3. Classificação de risco segundo a declividade

PESO	CLASSES	RISCO
1	0 a 13%	Baixo
2	13 a 26%	Médio
3	26 a 39%	Alto
4	39 a 52%	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Tagliarini et al. (2020) e Ribeiro et al. (2007).

Tabela 4. Classificação de risco segundo a altimetria

PESO	CLASSES	RISCO
1	85 a 122 m	Baixo
2	48 a 85 m	Médio
3	11 a 48 m	Alto

Fonte: Adaptado de Tagliarini et al. (2020) e Ribeiro et al. (2007).

Tabela 5. Classificação risco segundo a orientação das encostas

PESO	CLASSES	RISCO
1	N	Muito Baixo
2	NW/W	Baixo
3	SE/S/SW	Médio
4	E	Alto
5	NE	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Tagliarini et al. (2020) e Ribeiro et al. (2007).

4.2.4. Malha hidrográfica e Sistema viário

Para a elaboração dos mapas com os corpos hídricos e da rede viária foram utilizados os mapas vetoriais disponibilizados pelo Portal de Mapas do Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE) disponível no endereço: <https://portaldemapas.ibge.gov.br>. Também foram analisadas as imagens originadas do satélite LandSat 8, adquiridas pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) para identificação e complementação de informações não disponíveis nos mapas vetoriais do IBGE.

Tabela 06. Classificação de risco segundo influência dos corpos hídricos

PESO	CLASSES	RISCO
1	Ausente	Sem influência
2	Presente	Sob influência

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2007).

Para o mapa temático da rede viária considerou uma área de influência de 100 m, sendo 50 m de raio para cada lado do eixo de logradouro. Para o mapa de influência da hidrografia foi considerado o raio de influência de 50 m para todos os corpos de água presentes na área (Oliveira et al. 2017).

Tabela 07. Classificação de risco segundo influência do sistema viário

PESO	CLASSES	RISCO
1	Ausente	Baixo
2	Estradas vicinais (50 m)	Alto
3	Estradas principais (100 m)	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Tagliarini et al. (2020) e Ribeiro et al. (2007).

4.3. Mapa de risco

O mapa de risco de incêndio foi obtido a partir dos planos elaborados anteriormente. O modelo foi desenvolvido utilizando o software QGIS onde os mapas vetoriais serão rasterizados aplicando-se uma escala de valores comum às diferentes variáveis de forma a criar uma análise integrada. A partir da sobreposição de mapas, utilizando a calculadora raster será gerado o mapa de suscetibilidade.

Os dados raster de entrada foram ponderados pela importância e somados para produzir um raster de saída. Para cada raster de entrada ponderou-se uma percentagem tendo como base a sua importância para o modelo. A soma dos valores ponderados para todos os mapas raster somam obrigatoriamente 100%. Os valores das células de cada pixel dos rasters de entrada foram multiplicados pelo valor ponderado que lhe foi atribuído. Os valores das células resultantes são somados para produzir o resultado, ou seja, o modelo neste caso de suscetibilidade à risco de incêndio (Sousa Pedrosa et al., 2012).

4.3.1. Definição de pesos dos fatores

Para a atribuição de pesos aos fatores utilizou-se o Processo Hierárquico Analítico (PHA), proposto por Saaty (1980). O PHA faz uma comparação pareada entre cada um dos fatores, para determinar a importância que cada um possui, por meio de uma matriz quadrada em que os fatores são analisados em pares. Dessa forma, cada uma das células da matriz é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de fatores (Nicolete; Zimback, 2013). Os valores então são derivados de uma escala contínua de nove pontos (Figura 2).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente

FIGURA 02. Escala de pontos para a comparação pareada entre os fatores.

Fonte: Adaptado de Nicolete e Zimback (2013).

Em razão da inconsistência, que é um fator inerente ao ser humano e por isso deve haver uma tolerância dentro de certos parâmetros para a sua aceitação, Saaty & Vargas (2001) propõem o cálculo do Índice de Consistência (IC):

$$IC = \frac{|\lambda_{máx} - n|}{(n - 1)}$$

onde n representa a ordem da matriz e $\lambda_{máx}$ o estimador de autovalor máximo de julgamentos paritários.

A fórmula para o cálculo do estimador de autovalor máximo é dada por:

$$\lambda_{máx} = T \cdot w$$

onde T é o somatório das colunas das matrizes e (w) é o autovetor normalizado para $\sum vI = 1$.

A fim de permitir a avaliação da inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, Saaty & Vargas (2001) utilizam a Razão de Consistência (RC). Onde o RC é obtido através da fórmula:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

onde IR é um índice randômico de consistência obtido para uma matriz recíproca, com elementos não negativos gerados de forma randômica sendo adotado $IR = 1,32$.

De acordo com Ales e Alves (2015), os julgamentos da matriz de decisão são

considerados consistentes se: $RC = 0$ para $n = 2$, $RC < 0,05$ para $n = 3$, $RC < 0,09$ para $n = 4$ e $RC \leq 0,10$ para $n > 4$. Caso contrário, existe alguma inconsistência nos julgamentos devendo-se haver uma reavaliação.

A partir da utilização do PHA proposto foi possível elaborar a matriz de comparação pareada e determinar os pesos de cada fator, bem como a taxa de consistência para a matriz (Tabela 08).

Tabela 08. Matriz de comparação pareada entre os fatores de risco de incêndios florestais.

FATORES	US	IV	DV	HD	SV	AL	OE	PESOS
US	1,0	3,0	9,0	7,0	7,0	9,0	9,0	0,381
IV	1/3	1,0	7,0	5,0	5,0	7,0	7,0	0,274
DV	1/9	1/7	1,0	1/3	1/3	3,0	3,0	0,067
HD	1/7	1/5	3,0	1,0	1,0	3,0	3,0	0,096
SV	1/7	1/5	3,0	1,0	1,0	5,0	5,0	0,130
AL	1/9	1/7	1/3	1/3	1/5	1,0	1,0	0,026
OE	1/9	1/7	1/3	1/3	1/5	1,0	1,0	0,026

RC = 0,09

Onde: TC = Taxa de Consistência; US = Uso do solo; IV = Índice de vegetação; DV = Declividade; HD - Hidrografia; SV = Influência do sistema viário; AL = Altitude e OE = Orientação das encostas.

A partir destes resultados gerou-se o modelo com a intergração dos atributos avaliados e respectivos índices calculados com base no método AHP, conforme equação 2.

$$RISCO = 0,381 US + 0,274 IV + 0,067 DV + 0,096 HD + 0,130 SV + 0,026AL + 0,026 OE$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Fator de influência em função da declividade

A declividade do terreno está associada à velocidade e direção de propagação dos incêndios florestais. Segundo Lacerda (2022), a topografia afeta a característica do vento e a localização dos tipos de combustíveis. Para a análise do risco em função da declividade foram utilizadas as classes apresentadas na Tabela 03, relacionando o grau de inclinação do terreno com o risco de propagação do fogo. Neste caso, quanto maior o percentual de inclinação do terreno, maior será o risco da ocorrência e propagação do fogo na vegetação (Figura 03).

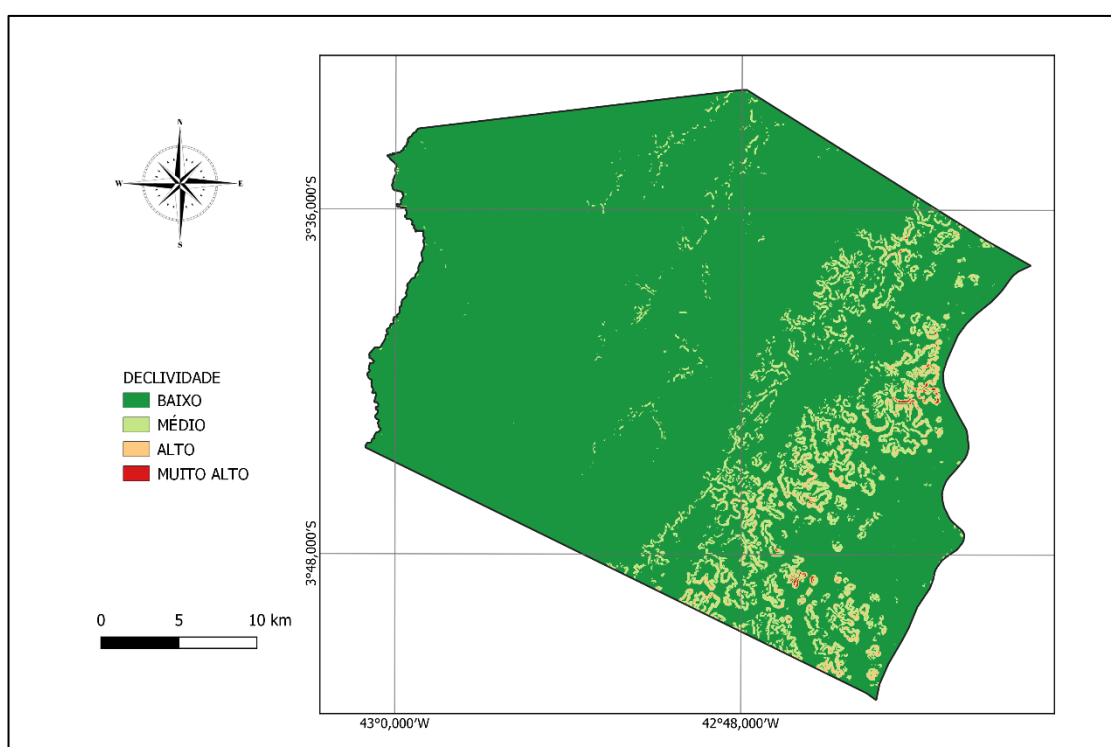


Figura 03. Influência da declividade sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

O município de Brejo se caracteriza-se pela maior porção territorial relativamente plana, como mostra a Figura 03. Neste estudo, pode-se observar que as áreas identificadas como risco baixo, segundo a classificação da Tabela 03, correspondem a 91,26% da região, com angulação que variam até 13% e com risco médio de 7,69% da área que variam de 13 a 26% declividade.

5.2. Fator de influência em função das orientação da encosta

O grau de insolação e a quantidade de sol, em horas, que determinados locais recebem está relacionado à orientação das encostas. Isso influencia os ciclos de umedecimento e secagem do material combustível que fica mais ou menos suscetível a ignição (Torres, 2017). A velocidade e avanço da combustão também estão relacionados à umidade do combustível. Outro fator importante, relacionado à face de exposição é a temperatura que o ambiente se encontra, que juntamente com a presença de ventos pode impulsionar rapidamente a propagação dos incêndios (Aguiar, 2015).

Em relação aos efeitos a orientação das encostas, o município de Brejo possui 49,77% de seu território classificado como riscos muito alto e alto de ocorrência de incêndios florestais, com faces orientadas o Nordeste (NE) e Leste (E), e 37,91% de faces orientadas para o Norte (N), Noroeste (NW) e Oeste (W) classificada como riscos muito baixo e baixo, respectivamente 12,29% das faces Sudeste (SE), Sul (S) e Sudoeste (SW) é a que menos recebe radiação solar (Figura 04).

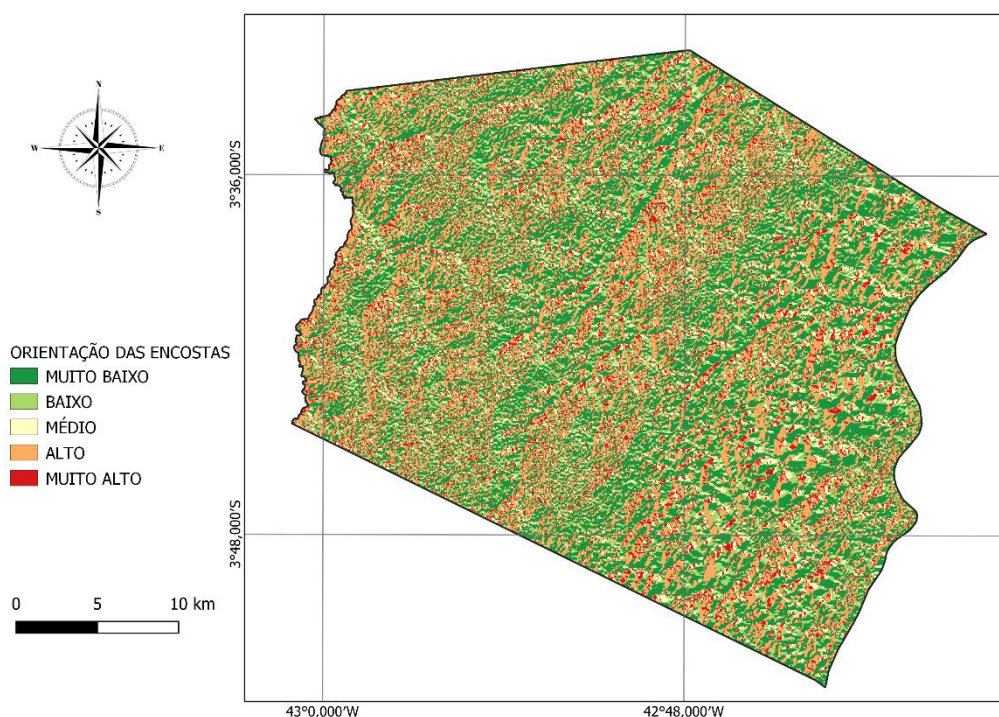


Figura 04. Influência da orientação das encostas sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

5.3. Fator de influência em função da altimetria

De acordo com Fernandes et al. (2019), a variação da altitude influencia o risco de incêndio devido à relação com a umidade do ar, ou seja, a altitude representa indiretamente

a umidade do material combustível e a consequente redução do risco a ocorrência de fogo.

Conforme a Figura 05, a altimetria de 11 a 48 m representa um risco alto de 13,86% e estão localizados no setor leste e sul. As demais classes obtiveram percentual de 25,37% com risco médio que varia entre 48 a 85 m e 60,75% com baixo risco em se refere a altitude de 85 a 122 m.

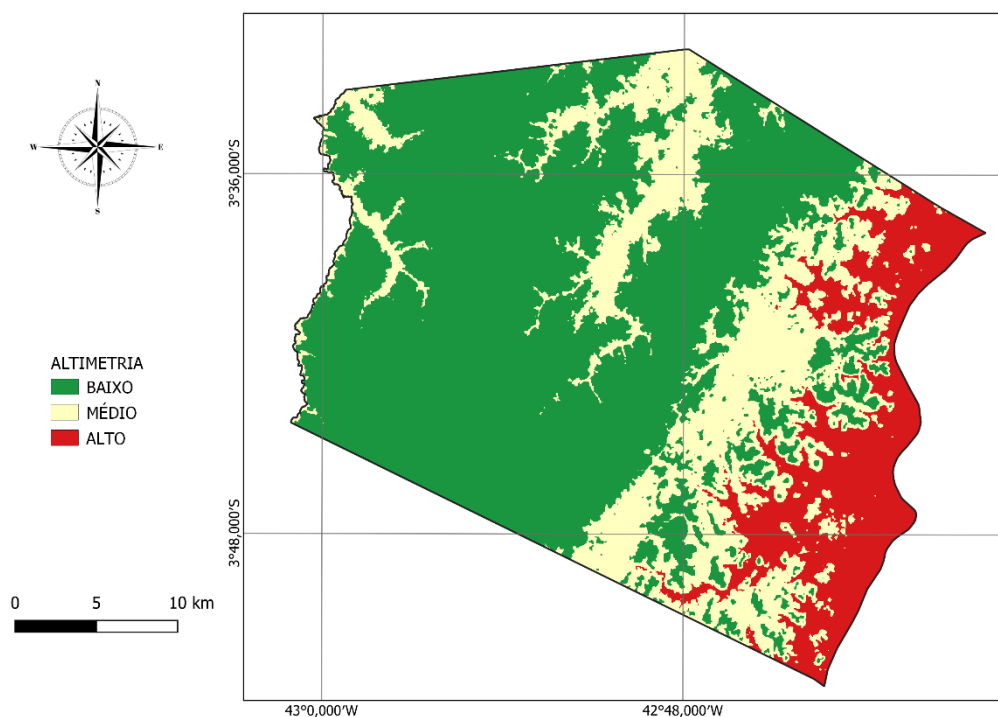


Figura 05. Influência da altimetria sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

5.4. Fator de influência em função do sistema viário

A relação entre distância de estradas e ocorrência do fogo é normalmente negativa. As estradas permitem o acesso de pessoas e veículos, causando maiores riscos de incêndios por vários fatores: incêndios criminosos, cultos religiosos, incêndios iniciados por cigarros, pequenas fogueiras, entre outros (Koproski, 2021).

Para avaliar o risco em função da presença humana pelo acesso a rede viária (Tabela 07), considerando a área de influência de 100 m, sendo 50 m de raio para cada lado do eixo de estrada, representando 87,03% da área com risco baixo, as estradas vicinas com 10,18% foram classificadas como risco alto, já as estradas principais como risco muito alta que obteve o percentual 2,77% de influência, Figura (06).

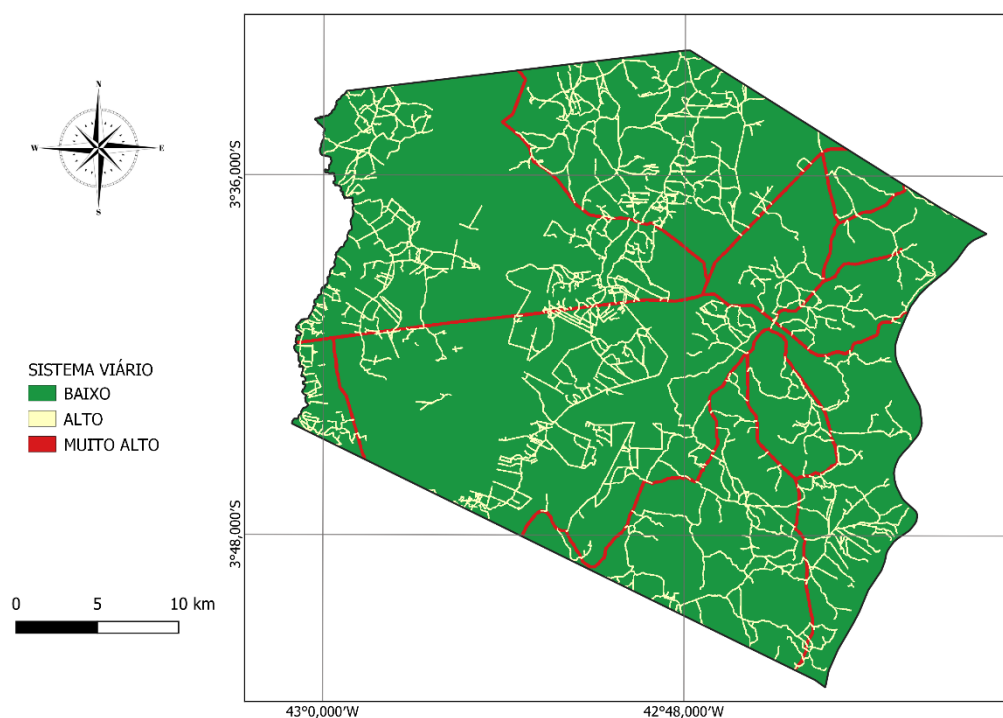


Figura 06. Influência do sistema viário sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

5.5. Fator de influência em função do uso e ocupação do solo

O estudo do uso do solo representa a vulnerabilidade ao fogo de acordo com a atividade ocorrida em cada região. O tipo de vegetação influencia no modo que o fogo irá se comportar, pois ele se propaga com mais facilidade em uma floresta aberta que em uma floresta densa (Assis, 2014).

Pode-se observar na Figura 07, que 27% representa risco muito alto, referente a exploração das atividades agropecuárias. Estas áreas, são mais suscetíveis a ignição e o risco em períodos de longa estiagem é proeminente podendo sair do controle e atingir regiões de floresta nativa (Anderson, 2017). Com base na Tabela 01, o território apresentou 68% de área nativa definido como risco baixo, as classes corpos hídricos e área carbonizada representaram 3% de uso do solo.

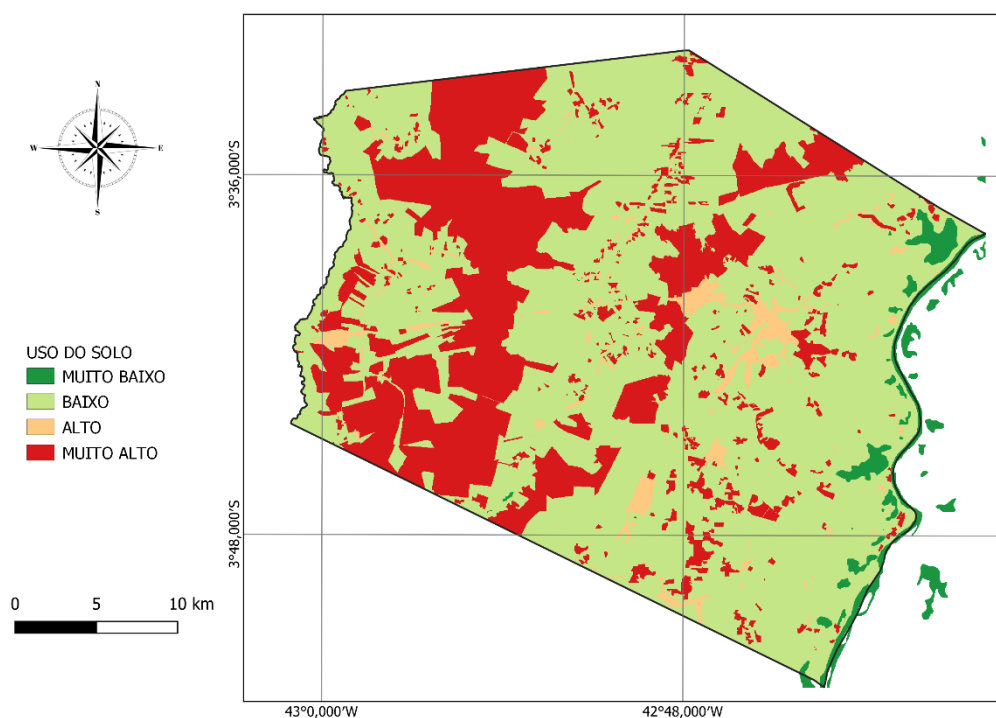


Figura 07. Influência do uso do solo sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

5.6. Fator de influência em função da rede hidrográfica

A presença de rios facilita a captação de água para o combate ao fogo, entretanto, a proximidade da malha hidrográfica influencia positivamente a probabilidade de ocorrência de incêndios devido às comunidades normalmente se desenvolverem relativamente próximas a cursos d'água (Santos et al., 2018).

A classe sob influência da malha hidrográfica, e consequentemente sob risco “alto” de ocorrência de incêndio florestal, ocupou 5,09% da área do município. Os outros 94,90%, por não estarem sob a área de influência da malha hidrográfica, ficaram classificados como de risco “baixo” (Figura 06).

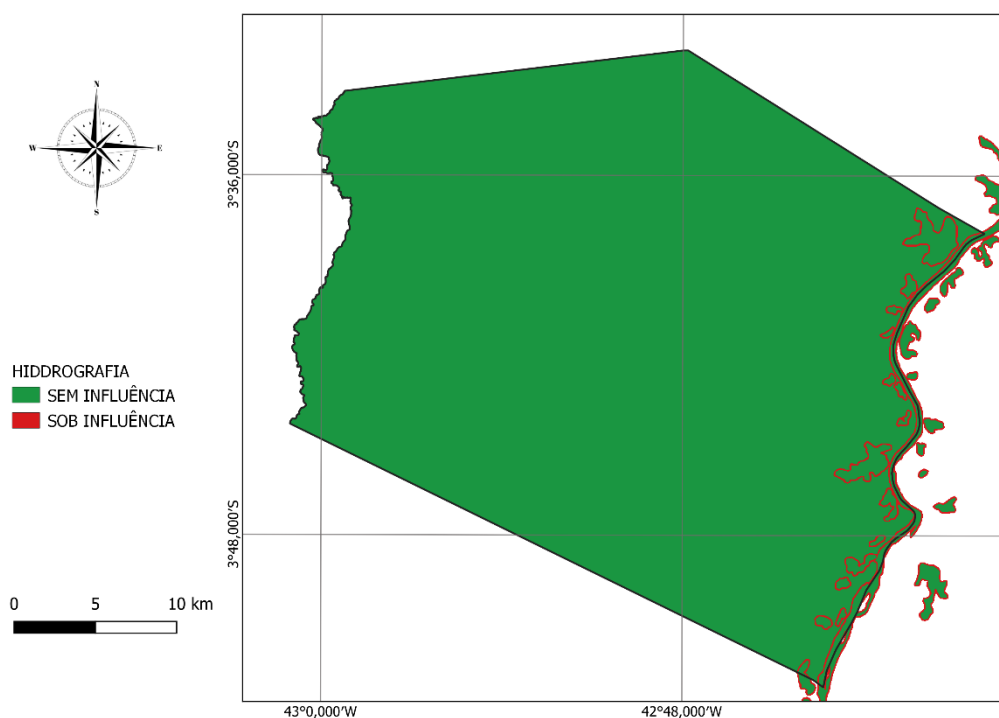


Figura 08. Influência da hidrografia sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

5.7.Fator de influência em função do índice de vegetação

A variação na cobertura vegetal implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente combustível e condições climáticas. As propriedades dos combustíveis variam de acordo com o tipo de floresta e estas diferenças podem causar alterações no desenvolvimento de incêndios (Almeida et al., 2016).

O estudo realizado através do cálculo do NDVI foi de extrema relevância na identificação de áreas com e sem cobertura vegetal. Ao utilizar a técnica foi possível verificar a resposta de reflectância da energia solar, o que ocorre devido à produção fotossintética das formações vegetais (Lima, 2017).

Os valores obtidos a partir deste mapa foram classificados da seguinte forma: de acordo com a Tabela 02, valores de risco muito baixo, entre -0,15 e 0, indicam a presença de água que correspondem a 1,1% do território; valores entre 0 e 0,12 indicam teor de vegetação inexistente ou solo exposto que correspondem a 2,43 %, classificado como risco baixo. Observa-se que 43,53% correspondem a área de risco alto indicando teor de vegetação campestre ou com menos vigor, variando entre 0,24 a 0,36 e por fim, as zonas com maior

risco de incêndio na classe entre 0,12 a 0,24 correspondendo a 27,07% do território é caracterizado pela presença de atividades agropecuárias (Figura 09). Em áreas agropecuárias, o fogo na vegetação, na maioria dos casos, é iniciado por atividades humanas, como limpeza de pastos e preparação para a agricultura, que podem por descuido ou falta de planejamento acaba se descontrolando e atingindo outras áreas (Carvalho et al. 2016).

Já valores, entre 0,35 e 0,47 compreende a 25,94% do território do município, correspondendo a vegetação de maior densidade sendo caracterizado como risco médio. Carvalho et al. (2016) destacam que a vegetação de maior densidade pode apresentar menor suscetibilidade a incêndios, em decorrência da maior umidade nestas áreas, porém a suscetibilidade pode variar ao longo do anos, principalmente em períodos mais secos.

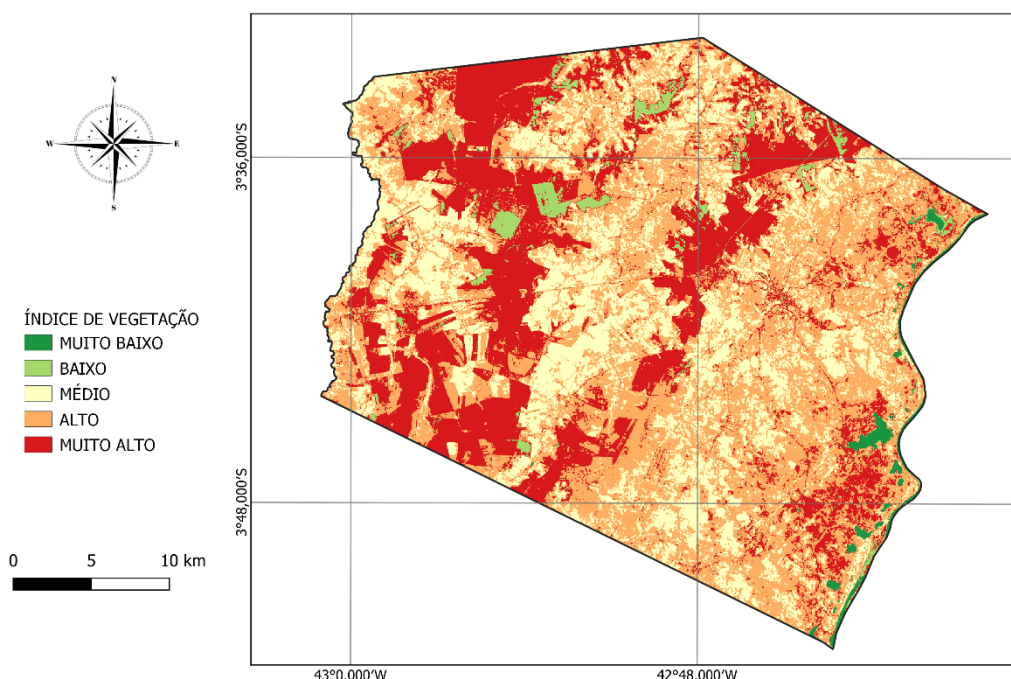


Figura 09. Influência do índice de vegetação (NDVI) sobre os riscos de incêndios florestais no município de Brejo - MA.

5.8. Mapa de riscos de incêndios florestais

No cenário geral do zoneamento (Figura 10), o risco de fogo com maior área é 'Baixo', com 50,05% que indica presença de vegetação nativa. Cerca 19,68% da área foi classificado espaço entre moderado e que representam pastagens ou fragmentos de vegetação. As classes 'Baixo' e 'Moderado' são áreas menos suscetível ao fogo, devido às

propriedades físicas e químicas das espécies presentes, havendo maior umidade na vegetação. Para o risco ‘Muito Baixo’, 1,16% que correspondem às áreas de corpos hídricos, são locais onde risco incêndio é quase inexistente, o que pode ser uma ameaça inicial é o uso antrópico constante. Quanto ao risco ‘Alto’, que representou a segunda maior porção da área 26,48%, devido a existência de campos agrícolas, sendo que a susceptibilidade ao fogo referentes ao campo sujo de restos orgânicos. De acordo com as variáveis consideradas neste estudo, o risco ‘Muito Alto’ obteve, 2,51% que corresponde a estradas que permitem acesso a áreas agrícolas, podendo ocorrer maior trânsito de pessoas e veículos que por um acidente qualquer (bitucas de cigarro, fósforos acesos, etc.), podem começar um incêndio. White et al., (2016) ao estabelecer um modelo espacial do risco de incêndio florestal para o Município de Inhambupe-BA, destaca que elevada atividade agropecuária na região, também responde positivamente pelo elevado grau de risco de ocorrência de incêndios florestais.

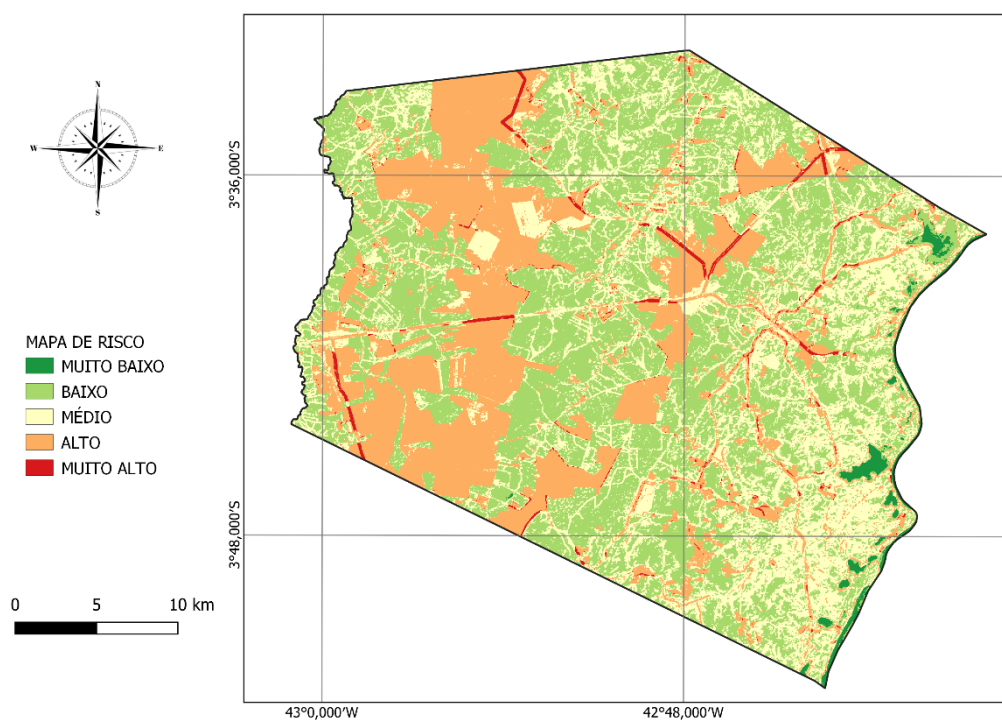


Figura 10. Mapa de riscos de incêndios florestais para o município de Brejo - MA.

6. CONCLUSÃO

A partir do zoneamento foi possível desenvolver um modelo com base em uma avaliação multicriterial e efetuar o zoneamento de risco de incêndios para o município de Brejo MA. foram identificados, classificados e quantificados os fatores de risco de ignição e perigo de propagação, possibilitando qualificar áreas prioritárias para ações preventivas.

A definição de zonas de risco de ocorrência e propagação de incêndios florestais contribui para o melhor entendimento espacial da ocorrência e propagação de eventos de fogo, com destaque às áreas de vegetação nativa. Com isso, será possível a melhor definição e otimização das estratégias de prevenção e combate ao fogo por parte das instituições responsáveis.

7. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R., SANTOS, L., MATRICARDI, E., & BATISTA, I. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros–GO. *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 21, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/zoneamento%20de%20risco.pdf>.
- ALVES, J. R. X., & ALVES, J. M. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). *Production*, v. 25, p. 13-26, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000023>.
- ALMEIDA, J. G.; MATTOS JÚNIOR, J. S. A dinâmica da produção de soja no município de Brejo (MA) e seus reflexos na produção agrícola camponesa. *Campo-Território: revista de geografia agrária, Uberlândia*, v. 11, n. 24, p. 374-399, 2016. Disponível em <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183318588>>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- ANDERSON, Liana Oighenstein et al. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. *Revista brasileira de cartografia*, v. 69, n. 1, p. 163-177, 2017. Disponível em <<https://www.researchgate.net/profile/Celso-Silva-Junior-2/publication/320273464>>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- AXIMOFF, Izar Araujo; BARRETO, Luciano Araujo Menna; KURTZ, Bruno Coutinho. Ações Cooperativas para Prevenção e Combate a Incêndios Florestais em Área Protegida Urbana na Cidade do Rio de Janeiro. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, n. 2, p. 96-109, 2020. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v10i2.1448>
- BERNARDES, Filipi Cardoso. **Estudo do impacto de queimadas sobre indicadores de qualidade do solo em áreas de Cerrado**. 2019. Disponível em <<https://clyde.dr.ufu.br/handle/123456789/28646>>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- BONAZOUNTAS, Marc et al. Forest fire risk analysis. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 11, n. 3, p. 617-626, 2005.
- BORGES, Kelly Maria Resende et al. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Subsídio ao Manejo do Fogo e ao Combate aos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação Federais. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, n. 2, p. 168-178, 2021. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i2.1685>.
- CARVALHO, M., CARDOSO, M. F., & ALMEIDA, B. Estimativa do risco de incêndios florestais com base em fitofisionomias e fatores climáticos. *Biodiversidade Brasileira*, v. 6, n. 2, p. 187-204, 2016. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.520>.

CAMELO, Ana Paula Silva; SANCHES, Keila; NAKAGOMI, Bruno. Zoneamento de incêndios florestais na estação ecológica Águas Emendadas, Distrito Federal (Brasil). **Territorium**, n. 27 (II), p. 67-79, 2020. <https://doi.org/10.14195/1647-772327-26>.

CARRÃO, Hugo et al. Carta de ocupação do solo e avaliação do estado da vegetação com imagens de satélite para prevenção de fogos florestais. **Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG)**, v. 7, p. 01-10, 2002. Disponível em <<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/7528254/p034-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1658409863>>. Acesso em: 18 jun. 2022.

DA SILVA JÚNIOR, Luiz Augusto Siciliano; DELGADO, Rafael Coll; WANDERLEY, Henderson Silva. Estimativa da temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira (Estimation of the surface temperature by remote sensing for the region of the western Brazilian Amazon). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 237-250, 2018. Disponível em <<https://www.researchgate.net/profile/Rafael-Coll-Delgado2/publication/327928107>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

DE ASSIS, Fellipe Ragner Vicente et al. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 133-142, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v44i1.32618>.

DE SOUZA, Adelson Rodrigues. Mapeamento de pontos de coletas de amostras de água na cidade de Almenara/MG utilizando geoprocessamento. **Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 3, n. 3, p. 26-34, 2021. <https://doi.org/10.46636/recital.v3i3.185>.

DE SOUZA, Leandro Camargo et al. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Incêndios Florestais do Município de Petrópolis–RJ. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 630-641, 2019. Disponível em <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/download/30831/17433>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FERRAZ, S. F. D. B., & VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. *Revista Árvore*, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/ssTp67gqKtB8FcFXH9QNLQF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2022.

FERNANDES, Thiago; DE SOUZA HACON, Sandra; NOVAIS, Jonathan Willian Zangeski. Dinâmica temporal de focos de calor e seus condutores de pressão no território do Sudeste Paraense. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 681-692, 2019.

<https://doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7909>.

IBGE -INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. MapadeBiomasedeVegetação. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 22 mai. 2021.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa Queimadas - Monitoramento por Satélites. Relatório Diário Automático 16 de Jul. 2019. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 05 Jun. 2022.

JARDIM, R. O. MUDANÇA NA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE BREJO (MA): uma análise a partir do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). **Ensaio de Geografia**, v. 7, n. 14, p. 147-162, 31 ago. 2021. <https://doi.org/10.22409/eg.v7i14.45855>.

KOPROSKI, Letícia et al. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque Estadual do Cerrado (PR). **Floresta**, v. 41, n. 3, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i3.24049>.

LACERDA, Heitor Carvalho et al. Suscetibilidade a incêndios florestais em uma unidade de conservação localizada na região de transição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 451-473, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509864171>.

LADISLAU, F. F., DA CONSOLAÇÃO SILVA, J., MOREIRA, A. P. M., NASCIMENTO, G. L., AZEVEDO, Ú. R. Análise Multicritério aplicada ao mapeamento de risco de incêndio na APA Sul RMBH. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 66, p. 667-667, 2021. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31n66p667>.

LEAL, J. M., AQUINO, C. M. S. D., & SILVA, F. J. L. T. D. Uso do mapa de Declividade e do Modelo Digital de Elevação na análise do relevo do município de São Miguel do Tapuio–Piauí. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, n. 2, p. 97-107, 2019. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2019v5n2ID18416>.

MARANHÃO - GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico - GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 39 p. 2002.

MARQUES, Susete et al. Assessing wildfire occurrence probability in Pinus pinaster Ait. stands in Portugal. **Forest Systems**, v. 21, n. 1, p. 111-120, 2012. Disponível em: <<https://sia.revistas.inia.es/index.php/fs/article/download/2927/1642>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MOREIRA, Pedro Augusto Gonzaga; MENDES, Thiago Augusto; SANTOS, Diego Fonseca dos. Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para

prevenção de risco de incêndios florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 1266-1282, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509839686>.

NICOLETE, Donizeti Aparecido Pastori; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia–Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v5n32013518>.

OMENA, Michel Tadeu RN et al. Zoneamento do risco de incêndio florestal para o Parque Nacional de São Joaquim–SC. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 173-186, 2016. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.442>.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Índice da Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na Sub-Bacia Hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí - Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. **Revista Geoaraguaia**, v. 10, n. 2, p. 126-143, 2020. Disponível em : <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/10839>.

OLIVEIRA, A. L. S. D., NERO, M. A., TAVARES, J. R., CANDEIAS, A. L. B., & NÓBREGA, R. A. D. A. Comparação e validação da modelagem espacial de riscos de incêndios considerando diferentes métodos de predição. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, p. 556-577, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000400037>.

OLIVEIRA, Danielle dos Santos de. Zoneamento de risco de incêndios em povoamentos florestais no norte de Santa Catarina. 2013. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/1884/25217> >. Acesso em: 15 jun. 2022.

OMENA, Michel Tadeu RN et al. Zoneamento do risco de incêndio florestal para o Parque Nacional de São Joaquim–SC. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 173-186, 2016. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.442>.

RIBEIRO, Luciene et al. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v. 38, n. 3, 2021.

SAATY, T. L., & VARGAS, L. G. (2001). Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process. Norwell: Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>.

SALES, Gil Mendes et al. Emprego dos focos de calor na avaliação das queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 14, n. 1, p. 55-77, 2019. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v14i1.140>.

SANTOS, Patrícia Tinoco; MARTINS, Alécio Perini. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 155-170, 2018. Disponível em: <

<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/download/143665/149591> >. Acesso em: 15 jun. 2022.

SOUSA, K. H. S., BARBOSA, S. C. C., PEREIRA, M. A. Zoneamento de Riscos de Incêndios Florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça–MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39536-39554, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-307>.

SOUSA PEDROSA, A.; ROCHA, E. A. V. Proposta de modelagem da suscetibilidade a erosão laminar. Um estudo de caso na Bacia do Ribeirão Vai–Vem (GO), Brasil. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 1707–1720-1707–1720, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2226>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. e C. de; RODRIGUES, B. D. Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 35, p. 1-14, 2018. DOI:10.11606/rdg.v35i0.142407. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/142407>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

SILVEIRA, Hilton Luis Ferraz da; VETTORAZZI, Carlos Alberto; VALENTE, Roberta de Oliveira Avena. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista árvore**, v. 32, p. 259-268, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200009>.

SOARES, Ronaldo Viana; BATISTA, Antonio Carlos; TETTO, Alexandre França. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/27650/20712>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

TAGLIARINI, F. D. S. N., DE BARROS, A. C., LIMA, A. A., RODRIGUES, B. T., RODRIGUES, M. T., PENACHIO, S. M., ... & CAMPOS, S. (2020). Zoneamento do risco de incêndios florestais em bacia hidrográfica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28779-28790, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-356>.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira et al. Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1008-1021, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509833384>

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira et al. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025615>

TORRES, F. T. P., RIBEIRO, G. A., MARTINS, S. V., & LIMA, G. S. Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG.

Revista *Árvore*, v. 38, p. 811-817, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000500005>.

TAGLIARINI, Felipe de Souza Nogueira; GONÇALVES, Aline Kuramoto. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a bacia hidrográfica do Córrego do Petiço-Botucatu (SP). **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, 2016. <https://doi.org/10.17271/1980082712120161319>.

WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 36, n. 85, p. 41–49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>

WHITE, L. A. S., WHITE, B. L. A., & RIBEIRO, G. T. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>.

WHITE, L. A. S., WHITE, B. L. A., & RIBEIRO, G. T. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>.

WHITE, Benjamin Leonardo Alves; WHITE, Larissa Alves Secundo. Queimadas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v46i4.47036>.

XAVIER, Creudeci José et al. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas aptas para implantação de pivôs centrais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e6110817038-e6110817038, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17038>.

