

NILTON FERNANDES DE OLIVEIRA

**TÉCNICAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS FLORESTAIS EM UNIDADES
DE CONSERVAÇÃO E SEUS ENTORNOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres

Coorientador: Gumercindo Souza Lima

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

O48t
2023

Oliveira, Nilton Fernandes de, 1979-

Técnicas de proteção contra incêndios florestais em
unidades de conservação e seus entornos / Nilton Fernandes de
Oliveira. – Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (80 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.735>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Incêndios florestais - Prevenção. 2. Fogo. 3. Reservas
particulares do patrimônio natural. 4. Sensoriamento remoto.
I. Torres, Fillipe Tamiozzo Pereira, 1979-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal.
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.94315

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

NILTON FERNANDES DE OLIVEIRA

**TÉCNICAS DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS FLORESTAIS EM UNIDADES
DE CONSERVAÇÃO E SEUS ENTORNOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 13 de novembro de 2023.

Assentimento:

Nilton Fernandes de Oliveira
Autor

Fillipe Tamiozzo Pereira Torres
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente em minha vida, me iluminando e me dando forças para caminhar.

Aos meus pais, Vilma Raymunda de Oliveira e Vicente Ferreira de Oliveira, pelos ensinamentos.

Ao meu companheiro, Vinícius Souza Dantas e minha sogra, Celina Maria de Souza Dantas, pela confiança e pelo encorajamento sempre que me sentia desanimado.

Ao meu orientador, Fillipe Tamiozzo Pereira Torres, por ter acreditado e me apoiado desde o início.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade em seu Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

À Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), por ter me disponibilizado e me apoiado.

Ao gerente de gestão ambiental da CEMIG, Rafael Augusto Fiorine, pela confiança e generosidade.

Ao Dilson Garcia e Alexandre Amorim, secretários do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV pelo apoio e disponibilidade de sempre.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Florestal (DEF) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

A todos que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

OLIVEIRA, Nilton Fernandes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2023. **Técnicas de proteção contra incêndios florestais em Unidades de Conservação e seus entornos**. Orientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres. Coorientador: Gumercindo Souza Lima.

O fogo produz mudanças na vegetação, solo, fauna e qualidade da água, podendo até mesmo modificar a atmosfera e sua composição química. Assim, compreender os fatores climáticos, bem como as alterações nas práticas de uso e cobertura da terra e as principais variáveis que possuem influência na propagação do fogo, auxiliarão os gestores de áreas protegidas na aplicação de técnicas que previnam os incêndios florestais. Diante disto, o objetivo deste estudo foi aplicar técnicas de proteção contra incêndios florestais em Unidades de Conservação e seus entornos. Para isto, aplicou-se o modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM) para estimar os valores médios das temperaturas máximas mensais na RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos; investigou-se a existência de relação entre os registros de focos de incêndios florestais e as práticas de alterações do uso e cobertura da terra na RPPN Fartura e seus entornos; e mapeou-se a susceptibilidade de ocorrência dos incêndios florestais na RPPN Galheiro e seus entornos. A tese foi estruturada em 3 capítulos no formato de artigos científicos sendo eles: “Modelo de estimativa das temperaturas máximas mensais na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos”; “Relação entre as práticas de uso e cobertura da terra com as ocorrências de incêndios florestais na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Fartura” e seus entornos e “Mapeamento da susceptibilidade a incêndios florestais na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Galheiro e seus entornos”. As técnicas aplicadas nesta pesquisa permitirão que os gestores das três RPPNs definam as melhores estratégias de manejo e proteção, tendo em vista a grande influência que os fatores climáticos, as práticas de uso e cobertura da terra e as variáveis do meio físico exercem na probabilidade e potencial dos incêndios florestais.

Palavras-Chave: Fogo. RPPNs. Susceptibilidade a incêndios florestais. Sensores remotos.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Nilton Fernandes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2023. **Forest fire protection techniques in Conservation Units and their surroundings.** Adviser: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres. Co-adviser: Gumercindo Souza Lima.

Fire produces changes in vegetation, soil, fauna and water quality, and can even modify the atmosphere and its chemical composition. Therefore, understanding climatic factors, as well as changes in land use and cover practices and the main variables that influence the spread of fire, will help managers of protected areas in applying techniques that prevent forest fires. Given this, the objective of this study was to apply forest fire protection techniques in Conservation Units and their surroundings. For this, the Multiple Linear Regression model (RLM) was applied to estimate the average values of monthly maximum temperatures at the RPPN Usina Coronel Domiciano and its surroundings; the existence of a relationship between records of forest fire outbreaks and practices of changing land use and cover in the RPPN Fartura and its surroundings was investigated; and the susceptibility of forest fires occurring in the RPPN Galheiro and its surroundings was mapped. The thesis was structured into 3 chapters in the format of scientific articles, namely: “Model for estimating maximum monthly temperatures in the Private Natural Heritage Reserve – RPPN Usina Coronel Domiciano and its surroundings”; “Relationship between land use and coverage practices and the occurrence of forest fires in the Private Natural Heritage Reserve – RPPN Fartura” and its surroundings and “Mapping of susceptibility to forest fires in the Private Natural Heritage Reserve – RPPN Galheiro and its surroundings”. The techniques applied in this research will allow managers of the three RPPNs to define the best management and protection strategies, taking into account the great influence that climatic factors, land use and cover practices and physical environment variables have on the probability and potential for forest fires.

Keywords: Fire. RPPNs. Susceptibility to forest fires. Remote sensors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização das RPPNs Galheiro, Fartura e Usina Coronel Domiciano	14
Figura 2 - Mapa de localização da RPPN Usina Coronel Domiciano e dos limites territoriais dos municípios de Muriaé e Rosário da Limeira	18
Figura 3 - Mapa de localização das estações meteorológicas convencionais em funcionamento no estado de Minas Gerais (1991 – 2020)	19
Figura 4 - Análise dos pressupostos dos modelos com a aplicação da função <code>check_model()</code> do pacote <code>performance</code> (LÜDECKE et al., 2021) no software R	22
Figura 5 - Comparação entre os valores médios das temperaturas máximas mensais medidos nas 34 estações meteorológicas convencionais em funcionamento no estado de Minas Gerais e os valores estimados pelos modelos	26
Figura 6 - Estimativas das temperaturas máximas mensais dentro da área de estudo.....	27
Figura 7 - Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fartura.....	35
Figura 8 - Registros de focos de incêndios florestais e cicatrizes deixadas pelo fogo dentro da área de estudo entre os anos de 1998 e 2021	36
Figura 9 - Mapas de uso e cobertura da terra entre os anos de 1998 e 2021 dentro da área de estudo.....	38
Figura 10 - Número de ocorrências de incêndios florestais na área de estudo entre os anos de 1998 e 2021	40
Figura 11 - Cicatrizes de fogo registradas na área de estudo entre os anos de 1998 e 2021	40
Figura 12 - Diagnóstico de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos utilizando a função <code>rldiagnostic</code> do pacote <code>RT4Bio</code> (REIS; OLIVEIRA; BORGES, 2015)	41
Figura 13 - Diagnóstico de sobredispersão (<i>overdispersion</i>) com a função <code>simulateResiduals()</code> do pacote <code>DHARMa</code> (HARTIG, 2022)	41
Figura 14 - Diagnóstico de sobredispersão (<i>overdispersion</i>) com a função <code>testDispersion()</code> do pacote <code>DHARMa</code> (HARTIG, 2022)	42
Figura 15 - Diagnóstico de inflação de zeros com a função <code>testZeroInflation()</code> do pacote <code>DHARMa</code> (HARTIG, 2022).....	42
Figura 16 - Transformação da formação florestal entre os anos de 1998 e 2021	44
Figura 17 - Transformação da área de formação florestal por causa desconhecida em áreas de práticas agrícolas, áreas sem vegetação arbórea, áreas urbanizadas e de infraestruturas, outras áreas não vegetadas e remanescentes florestais.....	45

Figura 18 - Áreas que se transformaram ao longo dos anos de 1998 e 2021 em áreas de práticas agrícolas.....	46
Figura 19 - Áreas que se transformaram ao longo dos anos de 1998 e 2021 em áreas sem vegetação arbórea	47
Figura 20 - Áreas das cicatrizes deixadas pelo fogo ao longo do período	49
Figura 21 - Transformações das áreas de formações florestais após os incêndios florestais em áreas sem vegetação arbórea e áreas de práticas agrícolas.....	50
Figura 22 - Área de formação florestal nativa atingida por um incêndio florestal em agosto de 2021	51
Figura 23 - Áreas sem vegetação arbórea atingidas por incêndios florestais nos meses de agosto e setembro de 2019	52
Figura 24 - Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Galheiro.....	62
Figura 25 - Susceptibilidade às ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo considerando as variáveis altitude, exposição das vertentes, inclinação e uso e cobertura da terra	66
Figura 26 - Peso de Importância mútua de cada variável quanto à susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo	69
Figura 27 - Mapa final de susceptibilidade às ocorrências dos incêndios florestais dentro da área de estudo (à esquerda) e sobreposição dos registros de focos de incêndios florestais no período (à direita).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrições dos modelos de Regressão Linear Múltipla aplicados na pesquisa	21
Tabela 2 - Valores do Fator de Inflação de Variância (VIF) entre as variáveis	23
Tabela 3 - Testes de Durbin-Watson dos modelos utilizando a função <code>durbinWatsonTest</code> do pacote <code>car</code> (FOX; WEISBERG, 2019) do Software R	23
Tabela 4 - Testes de Breusch-Pagan dos modelos utilizando a função <code>bptest</code> do pacote <code>lmtest</code> (ZEILEIS; HOTHORN, 2002) do Software R	24
Tabela 5 - Resultados dos modelos com as definições do intercepto (β_0), coeficientes de correlação (β_1 , β_2 e β_3), p-value e coeficiente de determinação (R^2)	26
Tabela 6 - Funções aplicadas no software R para definição do tipo de distribuição do GLM, aplicação, diagnóstico dos pressupostos e definição do coeficiente de determinação	37
Tabela 7 - Sumário do Modelo Linear Generalizado de distribuição binomial Negativa, com determinação dos parâmetros e Coeficiente de Determinação	43
Tabela 8 - Classificação e definição dos pesos das variáveis utilizadas na pesquisa	63
Tabela 9 - Escala de importância mútua entre as variáveis	64
Tabela 10 - Matriz de comparação pareada	64
Tabela 11 - Resultados dos parâmetros necessários para aplicação do método AHP	69
Tabela 12 - Zoneamento da susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CIFFG	Canadian Wildland Fire Management Glossary
DW	Durbin-Watson
GLM	Generalized Linear Model
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Consistência
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Índice Randômico
KM	Quilômetro
KM ²	Quilômetro quadrado
MDE	Modelo Digital de Elevação
RC	Razão de Consistência
RLM	Regressão Linear Múltipla
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
UC	Unidade de Conservação
VIF	Variance Inflation Factor

LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
%	Porcentagem
<	Menor que
>	Maior que
≥	Maior igual que
β	Beta
ε	Resíduos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. CAPÍTULO 1 - MODELO DE ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS MENS AIS NA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL – RPPN USINA CORONEL DOMICIANO E SEUS ENTORNOS.....	15
2.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
2.3.1. Pré-testes para construções e aplicações dos modelos	21
2.3.2. Aplicações dos Modelos	25
2.4. CONCLUSÕES	28
2.5. REFERÊNCIAS	29
3. CAPÍTULO 2 - RELAÇÃO ENTRE AS PRÁTICAS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM AS OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL – RPPN FARTURA E SEUS ENTORNOS.....	33
3.1. INTRODUÇÃO.....	34
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.3.1. Validação do modelo	40
3.3.2. Aplicação do modelo	43
3.4. CONCLUSÕES	52
3.5. REFERÊNCIAS	54
4. CAPÍTULO 3 - MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL – RPPN GALHEIRO E SEUS ENTORNOS.....	59
4.1. INTRODUÇÃO.....	60
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.3.1. Análise das variáveis de influência.....	65
4.3.2. Aplicação do método AHP	68
4.3.3. Mapa final de susceptibilidade	70
4.4. CONCLUSÕES	71
4.5. REFERÊNCIAS	73
5. CONCLUSÕES GERAIS	78
6. REFERÊNCIAS	79

1. INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com Ren et al. (2022), à medida que as alterações climáticas e o desenvolvimento socioeconômico provocam incêndios, os tornam mais frequentes, mais longos e mais intensos em muitas regiões do planeta. Assim, conhecer as variáveis meteorológicas, bem como as principais práticas de uso e cobertura da terra no entorno de uma determinada área protegida, auxiliarão os seus gestores nas definições de técnicas de proteção contra esses incêndios florestais. Vale ressaltar que quando se conhece a origem do fogo, as técnicas de proteção se tornam mais efetivas, haja vista a possibilidade de atuar diretamente para se evitar o ponto de ignição.

Para Carvalho et al. (2023), estudar o regime dos incêndios implica em avaliar dados sobre onde e quando os mesmos ocorrem, bem como a sua distribuição espaço-temporal ou o tamanho das cicatrizes que são deixadas por eles. Além disso, permite conhecer outros parâmetros como a frequência e estação do ano em que ocorrem, bem como a sua intensidade e severidade. Assim, esse conhecimento alinhado às técnicas de proteção, tais como, criação de mapas de susceptibilidade às ocorrências dos incêndios florestais no entorno de uma determinada área protegida, aplicação de metodologia capaz de prever os meses do ano com maiores temperaturas máximas e investigar qual classe de uso e cobertura da terra é mais propensa a essas ocorrências, permitirá a aplicação de ações mais efetivas para conservação dos recursos naturais da região de interesse.

Conforme Lucas et al. (2023), as Unidades de Conservação (UCs) são as principais ferramentas existentes para a conservação ambiental. Ainda segundo os autores, muitas UCs foram estabelecidas no país desde o final do século passado. No entanto, esta rede nacional tem sido implementada sem planejamento estratégico, resultando em inúmeros desafios à sua manutenção que estão principalmente relacionados com o desenvolvimento agrário, industrial e de infraestruturas (VIEIRA; PRESSEY; LOYOLA, 2019). Corroborando, Torres et al. (2016), afirmam que esses desafios fragilizam a gestão das UCs e as transformam em ambientes vulneráveis, lidando com diversos conflitos externos que ameaçam sua integridade, como a exploração de recursos naturais e o uso indevido do fogo, resultando em incêndios florestais.

Segundo Farinha et al. (2019), as UCs são porções territoriais escolhidas para a conservação da biodiversidade e da beleza cênica, podendo ser criadas por agentes públicos ou privados. Dentre estas UCs existe a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), que é

uma das categorias de UCs previstas na legislação brasileira (BRASIL, 2000). O diferencial desta reserva, em relação às demais categorias, está nos seus atributos de propriedade privada. Assim esta é a única categoria que depende da decisão do proprietário para ser criada (FARINHA et al., 2019).

A RPPN caracteriza-se como perpétua, ou seja, quando o proprietário destina uma fração ou a totalidade de sua área para a conservação dos aspectos naturais, mesmo que o imóvel seja vendido ou herdado, permanecerá como RPPN (FARINHA et al., 2019). Outro fato relevante é que o plano de manejo desta categoria de UC traz informações detalhadas sobre a sua área, bem como as atividades que devem ser desenvolvidas de acordo com a legislação nacional (BRASIL, 2000). Dentre estas atividades estão a prevenção e combate dos incêndios florestais previstos no programa de proteção e fiscalização (SOUZA; VIEIRA; SILVA, 2015).

Embora os incêndios florestais possam contribuir positivamente para mudanças na composição de determinados ambientes em escala evolutiva (OLIVEIRA et al., 2021), a interação entre incêndios, fatores climáticos e antrópicos proporciona grandes mudanças ambientais, como mortalidade de espécies, mudanças no nicho ecológico e na estrutura florestal (GARCIA et al., 2021). Além disso, o aumento dessas ocorrências degrada a qualidade do ar e da água, afetando saúde pública e causando a perda da cobertura florestal (BRITO et al., 2021; BUTT et al., 2021). Assim, a gestão dos incêndios florestais requer a compreensão do seu papel no funcionamento de cada ecossistema (CIFFG, 2017).

De acordo com Wade et al. (2020), é estimado que as áreas protegidas globais perderam 25,5 milhões de hectares de florestas entre os anos de 2001 e 2018, sendo os incêndios florestais um dos principais fatores. Para Oliveira et al. (2021), atualmente, um total de 36,8% do território definido como “Áreas Prioritárias” estão sob proteção no Brasil. Isso varia muito entre biomas, e apesar da clara necessidade de conservação, estudos que quantificam as lacunas dentro das Unidades de Conservação são escassos (OLIVEIRA et al., 2017; FONSECA; VENTICINQUE, 2018).

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo foi aplicar as técnicas de proteção contra os incêndios florestais nas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) Galheiro, Fartura e Usina Coronel Domiciano e seus entornos (Figura 1).

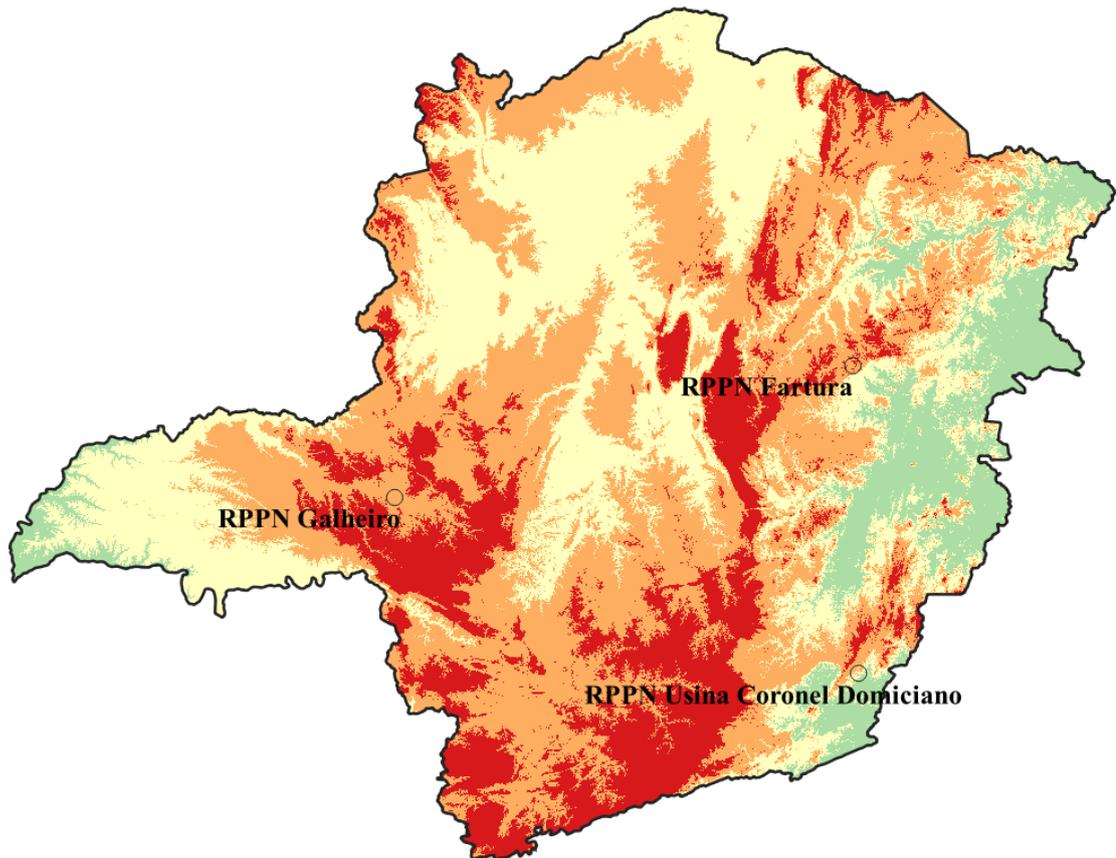


Figura 1 - Localização das RPPNs Galheiro, Fartura e Usina Coronel Domiciano

Os objetivos específicos deste estudo foram: aplicar o modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM) para estimar os valores médios das temperaturas máximas na RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos; investigar se existe relação entre os registros de focos de incêndios florestais e as práticas de alterações do uso e cobertura da terra na RPPN Fartura e seus entornos e mapear a susceptibilidade de ocorrência dos incêndios florestais na RPPN Galheiro e seus entornos. Assim, a tese foi organizada em 3 capítulos:

CAPÍTULO 1 - Modelo de estimativa das temperaturas máximas mensais na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos.

CAPÍTULO 2 - Relação entre as práticas de uso e cobertura da terra com as ocorrências de incêndios florestais na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Fartura e seus entornos.

CAPÍTULO 3 - Mapeamento da susceptibilidade de ocorrência de incêndios florestais na Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Galheiro e seus entornos.

2. CAPÍTULO 1

MODELO DE ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS MENSAIS NA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL – RPPN USINA CORONEL DOMICIANO E SEUS ENTORNOS

Resumo - As estimativas das temperaturas máximas mensais - $T_{\max m}$ a partir das coordenadas geográficas e de dados altimétricos foram alvos de vários trabalhos no Brasil, feitos para diferentes estados brasileiros. Estes estudos se justificam quando se tem uma rede de estações meteorológicas com disponibilidade de dados insuficientes para permitir uma adequada caracterização térmica do local. Esta pesquisa teve como objetivo aplicar o modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM) para estimar os valores médios das $T_{\max m}$ na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos, localizada entre os municípios mineiros de Muriaé e Rosário da Limeira. Para isso utilizou como variáveis preditivas as longitudes, latitudes e altitudes e como variável resposta os dados médios das $T_{\max m}$ registrados nas 34 estações meteorológicas convencionais que estão em funcionamento no estado de Minas Gerais, para o período de 1991 e 2020. Assim foram criados 12 modelos de RLM, sendo um para cada mês do ano. Antes da aplicação dos modelos foram analisados os pressupostos necessários para aplicação da RLM. Atendidos todos os pressupostos, os modelos foram aplicados e tiveram os seus parâmetros definidos (β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , p-value e R^2). Os valores médios das $T_{\max m}$ que foram estimados pelos modelos apresentaram uma forte correlação com as variáveis preditivas com R^2 variando entre 0,89 (fevereiro) e 0,94 (maio e junho). Os coeficientes de correlação (β_1 , β_2 e β_3) foram significativos para as três variáveis preditivas (p-value < 0,05). Com as estimativas observou que as maiores temperaturas estão entre os meses de setembro a abril, com máximas iguais ou superiores a 30°C. Em contrapartida as menores estimativas foram para os meses de maio a agosto (igual ou inferiores a 29°C). O modelo desenvolvido prevê adequadamente a variação das médias das temperaturas máximas mensais na RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos.

Palavras-chave: Dados altimétricos. Caracterização térmica. Longitudes. Latitudes. Altitudes.

ESTIMATION MODEL OF MAXIMUM MONTHLY TEMPERATURES IN THE PRIVATE NATURAL HERITAGE RESERVE – RPPN USINA CORONEL DOMICIANO AND ITS SURROUNDINGS

Abstract - Estimates of monthly maximum temperatures - $T_{\max m}$ based on geographic coordinates and altimetric data were the subject of several studies in Brazil, carried out for different Brazilian states. These studies are justified when there is a network of meteorological stations with insufficient data available to allow an adequate thermal characterization of the location. This research aimed to apply the Multiple Linear Regression model (RLM) to estimate the average values of $T_{\max m}$ in the Private Natural Heritage Reserve - RPPN Usina Coronel Domiciano and its surroundings, located between the municipalities of Muriaé and Rosário da Limeira in Minas Gerais. To do this, it used longitudes, latitudes and altitudes as predictive variables and as a response variable the average $T_{\max m}$ data recorded at the 34 conventional meteorological stations that are operating in the state of Minas Gerais, for the period 1991 and 2020. Thus, 12 models were created. of RLM, one for each month of the year. Before applying the models, the assumptions necessary for applying the RLM were analyzed. Once all assumptions were met, the models were applied and their parameters were defined (β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , p-value and R^2). The average $T_{\max m}$ values that were estimated by the models showed a strong correlation with the predictive variables with R^2 varying between 0.89 (February) and 0.94 (May and June). The correlation coefficients (β_1 , β_2 and β_3) were significant for the three predictive variables (p-value < 0.05). With the estimates, it was observed that the highest temperatures are between the months of September and April, with maximum temperatures equal to or greater than 30°C. On the other hand, the lowest estimates were for the months of May to August (equal to or lower than 29°C). The model developed adequately predicts the variation in average monthly maximum temperatures at the RPPN Usina Coronel Domiciano and its surroundings.

Keywords: Altimetry data. Thermal characterization. Longitudes. Latitudes. Altitudes.

2.1. INTRODUÇÃO

Para Pantano e Camparolo (2012), a temperatura do ar é uma das variáveis atmosféricas mais importantes e deve ser levada em consideração em qualquer estudo relacionado ao meio ambiente. Ainda segundo as autoras o interesse em conhecer esta variável está relacionado ao fato desse elemento exercer influência direta sobre todos os seres vivos. Sendo assim, entender as oscilações das temperaturas máximas mensais do ar em uma determinada região, permitirá além do mapeamento dessas áreas, definir o zoneamento do clima na região, com ações direcionadas e mais assertivas.

Além disso, diversos estudos como Song et al. (2022); Arikan e Yildiz (2023); Benyon et al. (2023), apontam que as alterações climáticas, sobretudo o aumento da temperatura máxima, facilitará maiores intensidades e frequências dos incêndios florestais em diversos locais do planeta. Para se ter uma ideia, com base nas projeções de mudanças climáticas regionais, aumentos nas frequências dos incêndios serão impulsionados mais por aumentos na temperatura máxima do que por reduções na precipitação (BENYON, et al., 2023).

Corroborando, Laurent et al. (2019), afirmam que incêndios maiores geralmente são resultado de condições extremas, como maior disponibilidade de combustível e temperaturas que maximizam a intensidade do fogo, definida como energia liberada por unidade de tempo e espaço. Em sua pesquisa Flannigan et al. (2016), concluíram que temperaturas mais elevadas, aumentarão as atividades dos incêndios florestais. De acordo com os autores, a menos que haja um aumento significativo na precipitação, o aumento repentino na temperatura máxima, diminuirá a umidade relativa do ar, fazendo com que a secagem do material combustível seja mais rápida.

Conforme Ribeiro et al. (2023), as taxas de desmatamento provocam efeitos diretos no aumento da temperatura do ar, onde os padrões de aquecimento são maiores no regime seco. Os autores avaliaram as variações na temperatura do ar, em associação com as taxas de desmatamento de alguns municípios do estado do Pará, durante as últimas décadas. Para este estudo concluíram que no regime chuvoso de um dos municípios estudados apresentou relações diretas e significantes entre desmatamento e aumento da temperatura máxima.

Diversos estudos estimam as temperaturas máximas mensais a partir das coordenadas geográficas e dos dados altimétricos para diferentes regiões do país. Porém, mesmo com tantas pesquisas ainda existem muitas regiões que carecem de dados de temperatura local, para serem utilizados em diversos estudos. Para Lorençone et al. (2022), a estimativa dessas temperaturas

é necessária, quando se tem uma rede de estações meteorológicas limitada e com falhas de medições ou que não fornecem variáveis importantes para permitir uma adequada caracterização térmica do local.

De acordo com Santos et al. (2021), a temperatura máxima do ar pode ser monitorada diariamente em estações meteorológicas. No entanto, na região de Minas Gerais, a cobertura da rede oficial de estações meteorológicas de superfície é limitada. Além disso, interrupções e erros no banco de dados gerados por essas estações são bastante comuns. Os erros podem ser atribuídos a erros de leitura, dispositivos danificados e outros problemas observacionais não intencionais.

Assim, a aplicação de um modelo matemático capaz de estimar os valores das temperaturas máximas mensais em uma determinada região se torna necessária, quando se tem outras variáveis de influência previamente conhecidas, como longitude, latitude e altitude. Atestando, Panagoulia e Vlahogianni (2018), afirmam que a análise e modelagem de séries temporais climáticas vêm ganhando interesse com aplicações em muitos campos, como agricultura, silvicultura, ecossistemas, energia, projeto de engenharia e construção, transporte, recursos hídricos e gestão de desastres, desenvolvimento costeiro, etc.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi estimar os valores médios das temperaturas máximas mensais na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Usina Coronel Domiciano e seus entornos. Tais estimativas auxiliarão os gestores desta Unidade de Conservação (UC) na definição das melhores estratégias de manejo e prevenção, haja vista a influência que este parâmetro exerce na probabilidade de ocorrência e no potencial dos incêndios florestais na região.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Usina Coronel Domiciano, é uma Unidade de Conservação (UC) de propriedade da Cemig Geração e Transmissão SA, e possui uma área de 263,56 hectares. Esta UC está localizada entre os municípios de Muriaé e Rosário da Limeira, ambos localizados no estado de Minas Gerais, a aproximadamente 300 km da capital mineira (Figura 2). Esta reserva foi reconhecida pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF, por meio da Portaria IEF nº 18, de 19 de abril de 2000.

De acordo com inventário florestal do estado de Minas Gerais (SCOLFORO; MELO; SILVA, 2008), a RPPN Usina Coronel Domiciano está situada no bioma Mata Atlântica e a

fitofisionomia dominante observada nesta UC caracteriza-se pela Floresta Estacional Semidecidual, em diferentes estágios sucessionais.

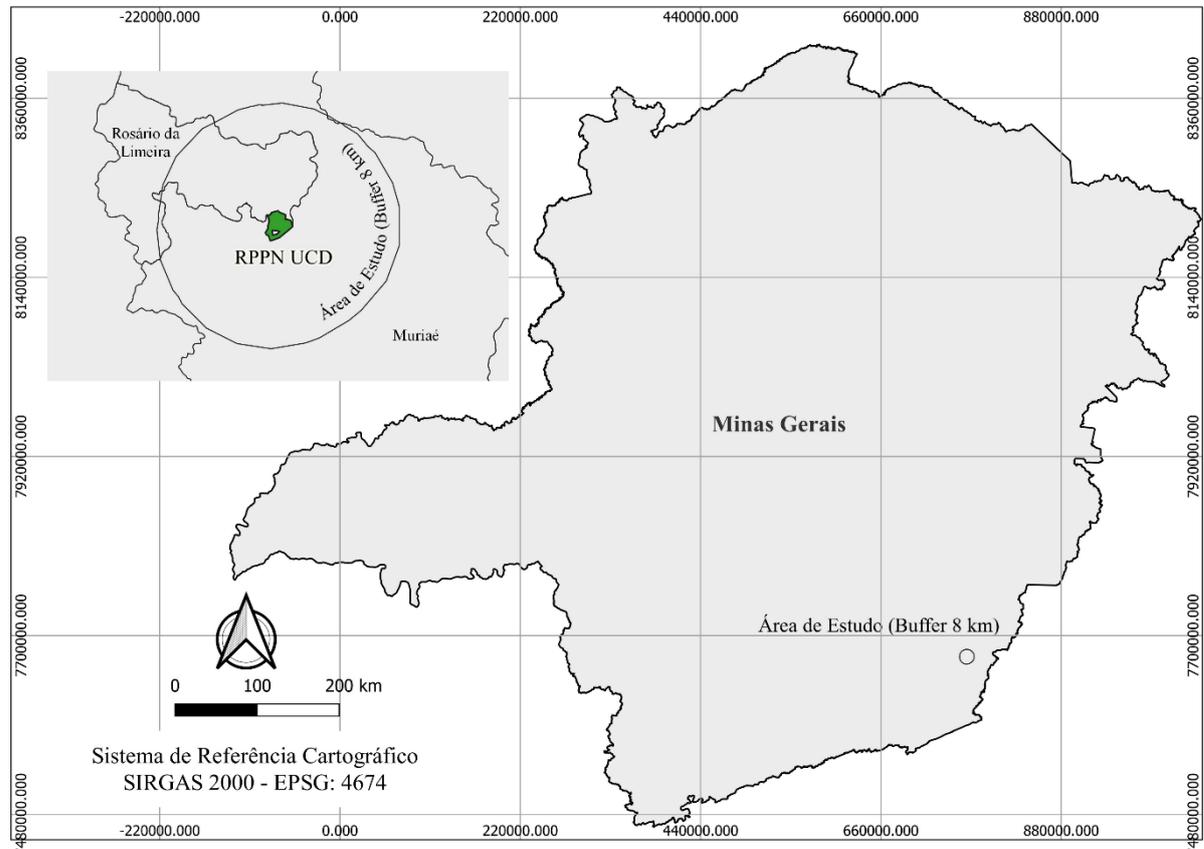


Figura 2 - Mapa de localização da RPPN Usina Coronel Domiciano e dos limites territoriais dos municípios de Muriaé e Rosário da Limeira

O total pluviométrico anual para a região é de aproximadamente 1.559 mm, marcado pela variação intra-anual (um período seco e outro chuvoso) com uma média mensal de 130 mm. Os meses mais chuvosos correspondem ao período de outubro-março. A distribuição de chuva no trimestre novembro-dezembro-janeiro apresenta os meses de maior precipitação no período, totalizando 775 mm. Por outro lado, no trimestre junho-julho-agosto, devido à baixa atividade convectiva, os valores não ultrapassam a 57 mm no total (INMET, 2022).

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se como área de estudo um *buffer* de 8 km com área aproximada de 25.294 ha, no entorno da RPPN Usina Coronel Domiciano. Os valores médios das temperaturas máximas mensais, entre o período de 1991 a 2020, foram extraídos da base de dados históricos das Normais Climatológicas do Brasil do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Na mesma base de dados, extraiu-se as coordenadas geográficas (longitude e latitude) e altitude de cada estação, conforme distribuição observada na Figura 3.

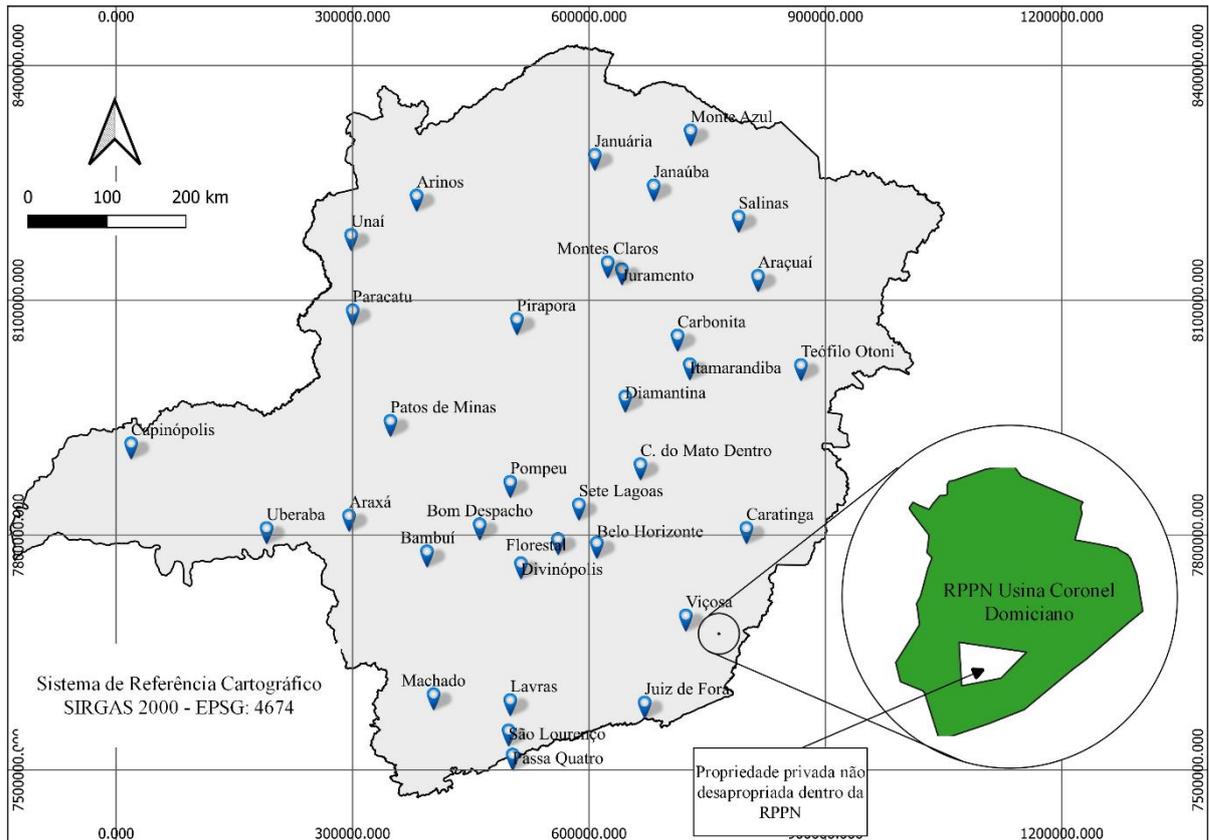


Figura 3 - Mapa de localização das estações meteorológicas convencionais em funcionamento no estado de Minas Gerais (1991 – 2020)

Para relacionar os dados das temperaturas máximas mensais com a altimetria dentro da área de estudo, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da plataforma ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros. A partir deste MDE, e com o auxílio de um *software* de estatística, extraiu-se os valores das longitudes, latitudes e altitudes de toda a extensão da área de estudo.

Para estimar os valores médios das temperaturas máximas mensais dentro da área de estudo, aplicou-se o modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM), de distribuição Gaussiana (Eq.1). Segundo Diniz e Thiele (2021), dentre os principais métodos de análises estatísticas, os modelos de regressão (lineares e não lineares) desempenham papel crucial nas mais diversas ciências, auxiliando na busca por respostas sobre a influência ou efeito causal entre variáveis. Ainda segundo os autores, os modelos lineares abrangem modelos de regressão simples e múltipla, sendo este último o mais amplamente utilizado, visto que comumente se deseja saber a influência de mais de uma variável preditiva (independente, X) na variável alvo (dependente, Y).

Para isso utilizou-se como variáveis explicativas as longitudes, latitudes e altitudes da região, conforme definido na fórmula abaixo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \dots + \dots \varepsilon \quad \text{Eq. 1}$$

Onde,

y = Variável dependente ou resposta;

X_1, X_2 e X_3 = Variáveis independentes ou preditoras;

β_0 = Intercepto;

β_1, β_2 e β_3 = Coeficientes ou parâmetros; e

ε = Resíduos

Para aplicações dos modelos, análises dos pressupostos e geração dos mapas finais contendo as estimativas das temperaturas máximas mensais utilizou-se o *software* de estatística R Studio (versão 4.2.11). Utilizou-se a função *lm()* do pacote base do R (R CORE TEAM, 2022), e ajustou-se o modelo de RLM de distribuição Gaussiana. Desenvolveu-se 12 (doze) modelos considerando os dados médios das temperaturas máximas mensais, longitudes, latitudes e altitudes das 34 estações meteorológicas convencionais em funcionamento no estado de Minas Gerais (Tabela 1).

Para análises dos pressupostos de linearidade, normalidade, independência, homoscedasticidade, correlação e Fator de Inflação de Variância (VIF), utilizou-se as funções *check_model()* do pacote *performance* (LÜDECKE et al., 2021), *vif* do pacote *HH* (HEIBERGER, 2022), *durbinWatsonTest()* do pacote *car* (FOX; WEISBERG, 2019) e *bptest* do pacote *lmtest* (ZEILEIS; HOTHORN, 2002).

Aplicou-se a função *as.data.frame()* do pacote base do R (R CORE TEAM, 2022) e extraiu-se os valores das longitudes, latitudes e altitudes do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo. Considerando os parâmetros que foram definidos com as aplicações dos modelos (β_1, β_2 e β_3), e os valores das longitudes, latitudes e altitudes que foram extraídos, utilizou-se a função *predict()* do pacote *car* (FOX, WEISBERG, 2019), para estimar os valores das temperaturas máximas mensais. Utilizando a função *ggplot2()* do pacote base do R (R CORE TEAM, 2022) gerou-se os mapas finais com as estimativas das temperaturas máximas mensais dentro da área de estudo para cada mês do ano.

Tabela 1 - Descrições dos modelos de Regressão Linear Múltipla aplicados na pesquisa

Parâmetro (Variável Resposta)	Modelo	Mês de Referência	Período	Fórmula do modelo
Temperatura Máxima Mensal	M01	Janeiro	1991- 2020	Modelo <- lm(formula = temperatura.x ~ longitude + latitude + altitude, data=dados) (Obs: x é o número do modelo que equivale a média da temperatura máxima no mês de referência)
	M02	Fevereiro		
	M03	Março		
	M04	Abril		
	M05	Maio		
	M06	Junho		
	M07	Julho		
	M08	Agosto		
	M09	Setembro		
	M10	Outubro		
	M11	Novembro		
	M12	Dezembro		

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Pré-testes para construções e aplicações dos modelos

Os pré-testes da Regressão Linear Múltipla (RLM) foram aplicados nos 12 (doze) modelos desenvolvidos nesta pesquisa. Para Pereira, Marca e Filho (2021), antes da aplicação do modelo é necessário avaliar os pressupostos de linearidade, normalidade, independência, homoscedasticidade, correlação e Fator de Inflação de Variância (VIF). Além disso, a construção de modelos lineares coerentes e confiáveis necessita de um pré-processamento dos dados para que aspectos importantes das variáveis sejam avaliados (DINIS; THIELE, 2021),

Observa nos gráficos *Linearity* e *Homogeneity of Variance*, da Figura 4, que a linha de referência seguiu uma distribuição plana e horizontal, atestando que o pressuposto de linearidade e homogeneidade da variância foram atendidos. Diniz e Thiele (2021), afirmam que quanto mais próxima a linha tracejada – que representa o melhor ajuste à linearidade – é da linha sólida – isto é, o ajuste estimado pelos resíduos – mais linear é a relação entre as variáveis dependente e as preditoras.

Outro pressuposto que foi atendido para aplicação da Regressão Linear Múltipla foi a normalidade dos resíduos conforme pode ser observado no gráfico *Normality of Residuals* (Figura 4). Neste gráfico os dados seguiram uma distribuição normal, à medida que os mesmos se aproximam da linha reta que corta o gráfico.

No gráfico *Influential Observations* (Figura 4) observa-se a inexistência *outliers* na amostra, o que poderia influenciar no modelo. No gráfico é possível perceber que todos os pontos estão entre as linhas tracejadas, que representa a distância de Cook (Cook's distance).

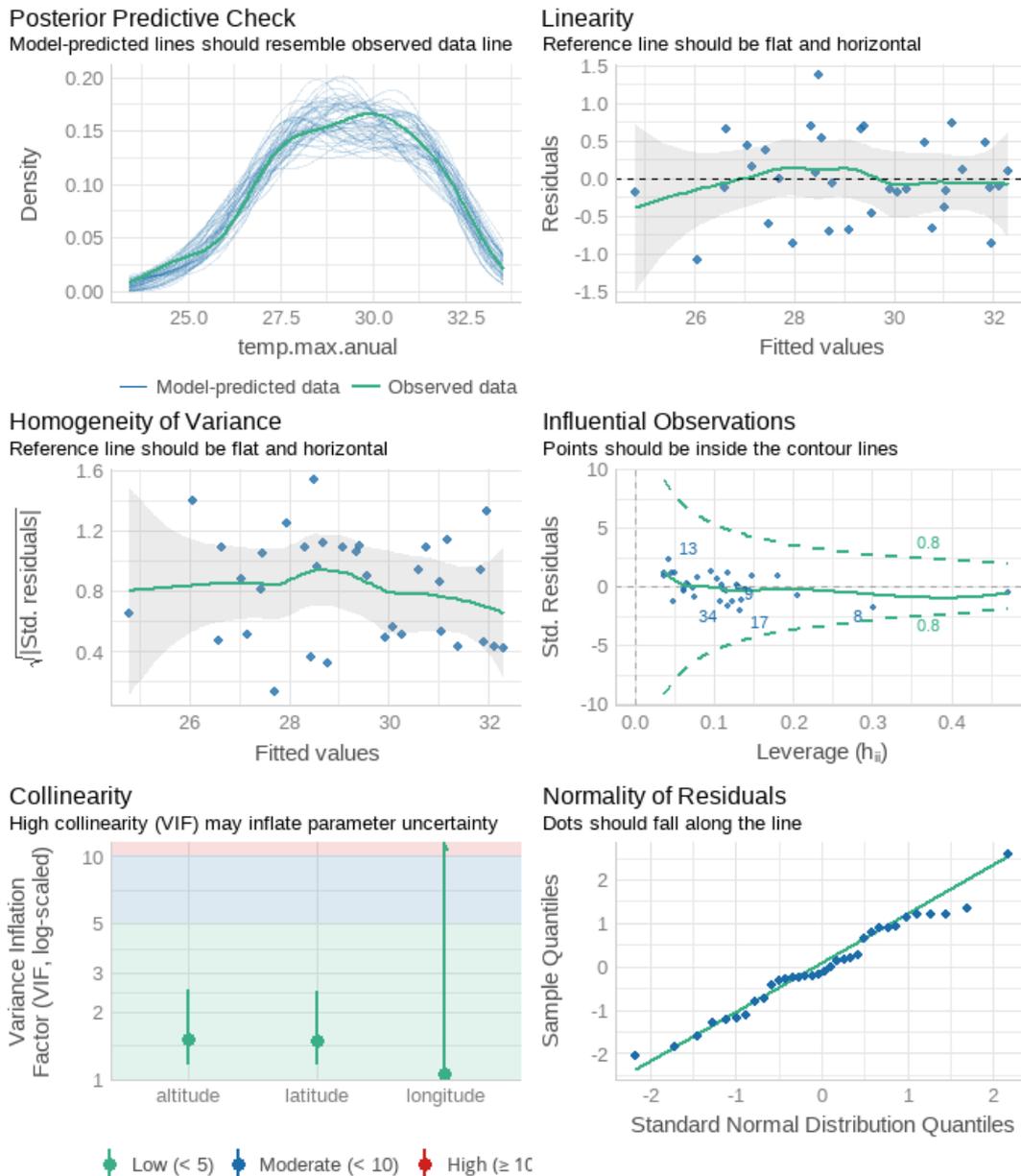


Figura 4 - Análise dos pressupostos dos modelos com a aplicação da função `check_model()` do pacote `performance` (LÜDECKE et al., 2021) no software R

O grau de multicolinearidade entre as variáveis preditivas aplicadas no modelo foi verificado analisando o gráfico *Collinearity* (Figura 4), e confirmado pelo cálculo do Fator de Inflação de Variância (*VIF* – *Variance Inflation Factor*), conforme pode ser observado na Tabela 2. Para Pereira, Marca e Filho (2021), o limite aceitável de VIF para um conjunto de variáveis preditivas em um modelo de regressão é proporcionalmente específico da sua natureza e da área de estudo em foco. Ainda segundo os autores, para dados ecológicos, há também uma relativa amplitude dos limites de VIF considerados suficientes para remover efeitos de multicolinearidade no modelo. Além disso, Borcard, Gillet e Legendre (2011), afirmam que

variáveis com limite acima de 10 devem ser evitadas num mesmo modelo. Considerando o limite para valores de VIF menores que 3 ou 5 (ZUUR; IENO; ELPHICK, 2010), podemos aceitar a multicolinearidade entre as preditivas dos modelos aplicados, não sendo necessária a remoção de nenhuma variável preditiva.

Tabela 2 - Valores do Fator de Inflação de Variância (VIF) entre as variáveis

Parâmetro (Variável Resposta)	Mês de Referência	VIF		
		Longitude	Latitude	Altitude
Temperatura Máxima Mensal	Janeiro	1,054	1,439	1,460
	Fevereiro	1,056	1,486	1,507
	Março	1,056	1,486	1,507
	Abril	1,032	1,528	1,512
	Maio	1,034	1,531	1,513
	Junho	1,057	1,488	1,508
	Julho	1,173	2,106	2,352
	Agosto	1,056	1,486	1,507
	Setembro	1,056	1,486	1,507
	Outubro	1,056	1,486	1,507
	Novembro	1,057	1,486	1,507
	Dezembro	1,056	1,486	1,507

Os resultados dos pressupostos de independência e homoscedasticidade dos resíduos podem ser observados na Tabela 3, onde foram testadas as seguintes hipóteses:

H_0 : Não existe autocorrelação entre os resíduos ($p > 0,05$)

H_1 : Existe autocorrelação entre os resíduos ($p < 0,05$)

Tabela 3 - Testes de Durbin-Watson dos modelos utilizando a função `durbinWatsonTest` do pacote `car` (FOX; WEISBERG, 2019) do Software R

Mês de Referência	D-W Statistic	p-value
Janeiro	1,7783	0,562
Fevereiro	1,6459	0,298
Março	1,6687	0,310
Abril	1,7439	0,488
Maio	1,9022	0,834
Junho	2,1394	0,684
Julho	1,9619	0,998
Agosto	1,9331	0,906
Setembro	1,7874	0,598
Outubro	1,6063	0,258
Novembro	1,7361	0,490
Dezembro	1,6606	0,366

Com base na estatística de Durbin-Watson (DURBIN;WATSON, 1950), o valor do teste deve estar próximo de 2. Para Montgomery e Ezech (2005), o teste de Durbin-Watson é utilizado para detectar a presença de autocorrelação nos resíduos de um modelo de regressão. Considerando que a estatística do teste de DW foi em média 1,797 com p-values superiores a 0,05, o pressuposto de linearidade foi atendido, ou seja, não existe autocorrelação entre os resíduos.

Os resultados da homocedasticidade dos resíduos são apresentados na Tabela 4 onde foram testadas as seguintes hipóteses:

H_0 : Há homocedasticidade dos resíduos do modelo ($p > 0,05$)

H_1 : Não há homocedasticidade dos resíduos do modelo ($p < 0,05$)

Considerando os resultados do p-value ($> 0,05$), rejeitamos a hipótese alternativa (H_1) e afirmamos que há homoscedasticidade entre os resíduos das variáveis. Para Figueiredo Filho et al. (2011), a homoscedasticidade entre os resíduos refere-se a diferença entre os resultados observados e os resultados preditos pelo modelo que devem variar uniformemente, ou seja, refere-se ao pressuposto de que a variável dependente exibe níveis iguais de variância em toda a gama de variáveis preditoras.

Tabela 4 - Testes de Breusch-Pagan dos modelos utilizando a função `bptest` do pacote `lmtest` (ZEILEIS; HOTHORN, 2002) do Software R

Mês de Referência	Breusch-Pagan	p-value
Janeiro	9,7789	0,062
Fevereiro	6,3032	0,098
Março	7,1165	0,068
Abril	5,6484	0,130
Mai	2,2288	0,526
Junho	1,0749	0,783
Julho	2,7224	0,436
Agosto	3,5336	0,316
Setembro	5,9065	0,116
Outubro	8,1588	0,063
Novembro	8,0081	0,071
Dezembro	8,433	0,061

Atendidos os pressupostos que são exigidos para aplicação da Regressão Linear Múltipla (RLM), prosseguiu com as aplicações dos modelos para determinação dos coeficientes de correlação (β_1 , β_2 e β_3), intercepto (β_0), coeficientes de determinação (R^2) e p-value.

2.3.2. Aplicações dos Modelos

Os valores médios das temperaturas máximas mensais que foram estimados pelos modelos apresentaram uma forte correlação com as variáveis preditivas longitude, latitude e altitude, conforme pode ser observado na Tabela 5. Autores como Córdova et al. (2016), Kattel, Ullah e Rana (2019), Villagómez et al. (2021), Baratto et al. (2022) e Lorençone et al. (2022) também estimaram os valores médios das temperaturas máximas mensais para diversas regiões e chegaram a valores de correlações semelhantes. Nota-se que os resultados dos coeficientes de determinação (R^2) obtidos nessas estimativas variaram entre 0,89 (fevereiro) e 0,94 (maio e junho). Desse modo, para Kattel, Ullah e Rana (2019) e Chein (2019), o coeficiente de determinação indica o quanto as respostas são explicadas pelo modelo, sendo que quanto mais alto o valor de R^2 melhor o modelo se ajusta aos dados. Os valores destes coeficientes indicam a força das relações entre as variáveis preditivas com a variável resposta (temperaturas máximas mensais).

Os coeficientes de correlação linear de Pearson (β_1 , β_2 e β_3) foram significativos para as três variáveis preditivas (p-value < 0,05). Os valores calculados para os coeficientes β_1 e β_3 apresentaram valores negativos. O coeficiente β_1 (Longitude) oscilou entre -0,08330 e -0,74192 para os meses de fevereiro e setembro, respectivamente. Quanto ao coeficiente β_3 (Altitude), teve a sua variação respectivamente entre os meses de julho e outubro com valores de -0,00609 e -0,00756. Os coeficientes negativos estão correlacionados com a diminuição da temperatura do ar com o aumento da altitude (FILHO, MALUF, MATZENAUER, 2008; WANDERLEY, FERNANDES, CARVALHO, 2014; BARATTO et al. 2022).

Já o coeficiente β_2 (Latitude), apresentou valores positivos oscilando entre 0,08213 (fevereiro) e 0,62672 (setembro), o que indica uma redução da temperatura máxima de 0,08213 a 0,62672°C a cada grau de variação da latitude. Este fato pode ser justificado considerando que a menor e a maior amplitude de variação da temperatura ocorrem nas estações de outono e inverno e primavera e verão, respectivamente (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006). Wanderley, Fernandes e Carvalho (2014), desenvolveram um estudo similar e alcançaram resultados parecidos.

Tabela 5 - Resultados dos modelos com as definições do intercepto (β_0), coeficientes de correlação (β_1 , β_2 e β_3), p-value e coeficiente de determinação (R^2)

Parâmetro (Variável Resposta)	Modelo	Mês de Referência	β_0 (Intercepto)		β_1 (Longitude)		β_2 (Latitude)		β_3 (Altitude)		R^2
			Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value	
Temp. Máxima Mensal	M01	Janeiro	32,09939	< 0,05	-0,12092	< 0,05	0,12227	< 0,05	-0,00703	< 0,05	0,90
	M02	Fevereiro	33,93515	< 0,05	-0,08330	< 0,05	0,08213	< 0,05	-0,00749	< 0,05	0,89
	M03	Março	30,79026	< 0,05	-0,17081	< 0,05	0,16126	< 0,05	-0,00738	< 0,05	0,91
	M04	Abril	25,62859	< 0,05	-0,33457	< 0,05	0,31429	< 0,05	-0,00731	< 0,05	0,91
	M05	Mai	27,17165	< 0,05	-0,37951	< 0,05	0,60314	< 0,05	-0,00726	< 0,05	0,94
	M06	Junho	22,18836	< 0,05	-0,45365	< 0,05	0,55454	< 0,05	-0,00726	< 0,05	0,94
	M07	Julho	19,61637	< 0,05	-0,50819	< 0,05	0,58071	< 0,05	-0,00609	< 0,05	0,92
	M08	Agosto	10,65843	< 0,05	-0,71522	< 0,05	0,45734	< 0,05	-0,00754	< 0,05	0,91
	M09	Setembro	14,10289	< 0,05	-0,74192	< 0,05	0,62672	< 0,05	-0,00734	< 0,05	0,91
	M10	Outubro	20,61399	< 0,05	-0,60374	< 0,05	0,60029	< 0,05	-0,00756	< 0,05	0,92
	M11	Novembro	20,90368	< 0,05	-0,43655	< 0,05	0,30513	< 0,05	-0,00718	< 0,05	0,92
	M12	Dezembro	26,07534	< 0,05	-0,24041	< 0,05	0,10782	< 0,05	-0,00699	< 0,05	0,90

A partir das equações resultantes dos modelos foi possível comparar os valores médios estimados das temperaturas máximas mensais com os valores observados nas 34 estações meteorológicas convencionais em funcionamento no estado de Minas Gerais para o período entre os anos de 1991 a 2020 (Figura 5). De maneira geral, os modelos apresentaram boas estimativas para as médias das temperaturas máximas mensais em todos os meses do ano.

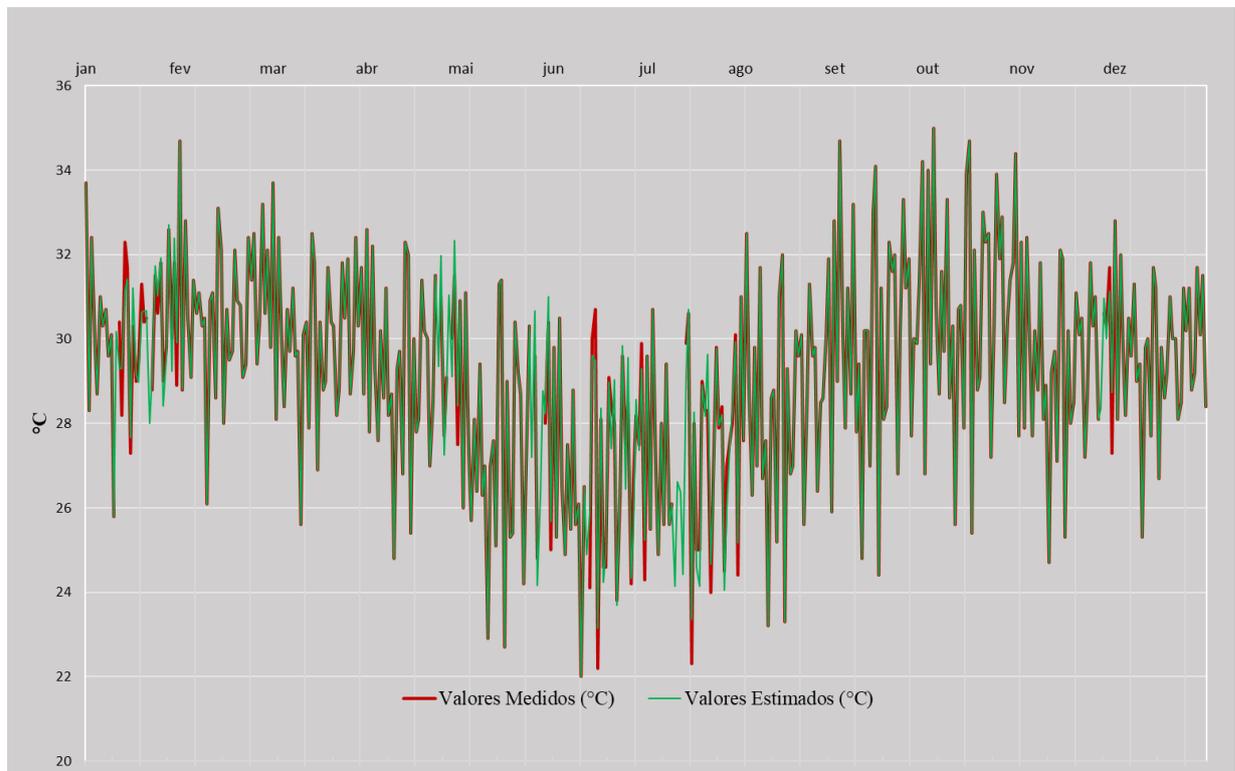


Figura 5 - Comparação entre os valores médios das temperaturas máximas mensais medidos nas 34 estações meteorológicas convencionais em funcionamento no estado de Minas Gerais e os valores estimados pelos modelos

Além disso, os resultados possibilitaram estimar as médias das temperaturas máximas mensais na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Usina Coronel Domiciano

(Figura 6) e seus entornos. Observa nos mapas que as maiores temperaturas estimadas estão entre os meses de setembro a abril, com máximas iguais ou superiores a 30°C. Em contrapartida as menores estimativas foram para os meses de maio a agosto (igual ou inferiores a 29°C).

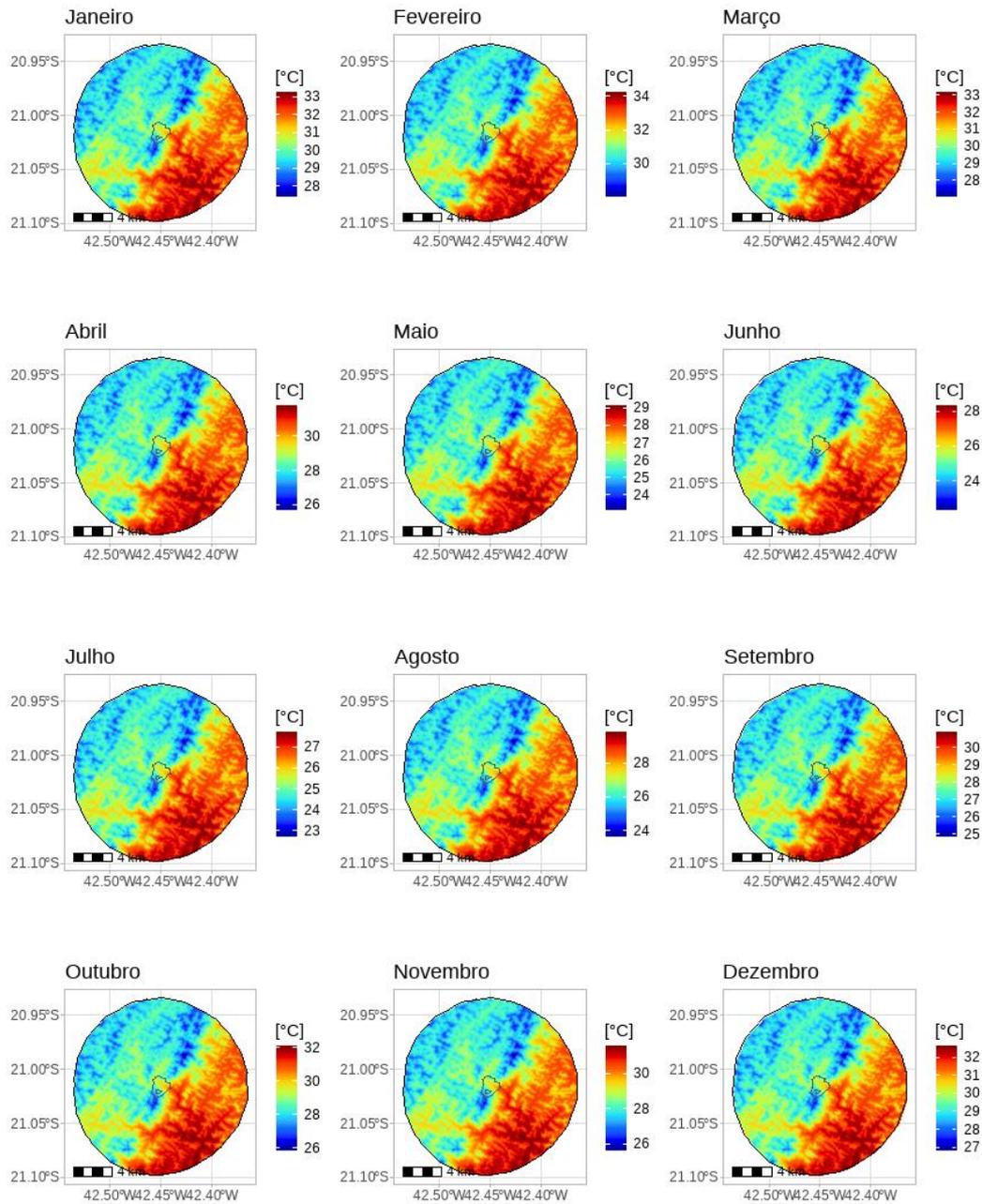


Figura 6 - Estimativas das temperaturas máximas mensais dentro da área de estudo

2.4. CONCLUSÕES

A utilização de dados geográficos e altimétricos para estimar os valores médios das temperaturas máximas mensais, apresentou resultados satisfatórios nesta pesquisa, possibilitando a sua aplicabilidade na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Usina Coronel Domiciano e seus entornos. Os valores estimados destas temperaturas obtiveram eficácia confirmada por meio da forte relação com as variáveis preditivas ($0,89 \leq R^2 \leq 0,94$), da significância dos coeficientes de correlação (β_1 , β_2 e β_3) para as três preditivas aplicadas ($p\text{-value} < 0,05$) e da sobreposição gráfica entre os valores médios observados e os estimados.

Os resultados estimados das temperaturas máximas mensais na região demonstraram que os meses mais quentes variam entre setembro e abril, com máximas iguais ou superiores a 30°C e os meses com temperaturas mais amenas variando entre maio e agosto, com temperaturas máximas iguais ou inferiores a 29°C .

Os dados médios estimados das temperaturas máximas mensais possibilitarão que o gestor desta Unidade de Conservação defina as melhores estratégias de manejo e proteção, tendo em vista a grande influência que este parâmetro exerce na probabilidade de ocorrência e no potencial dos incêndios florestais que ocorrem na região. Por exemplo, as estimativas demonstraram que o mês de setembro, apresenta temperatura máxima variando entre 24°C a 31°C . Esses valores combinados com a baixa umidade relativa do ar, poderá potencializar os incêndios florestais na região. De posse destas informações, poderão ser previstas ações de conscientização dentro dos programas de proteção e educação ambiental previstos no plano de manejo desta reserva, envolvendo usuários e comunidades do entorno da RPPN.

2.5. REFERÊNCIAS

ARIKAN, D.; YILDIZ, F. Investigation of Antalya forest fire's impact on air quality by satellite images using Google earth engine. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s.l.], v. 29, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100922>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938523000046>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

BARATTO, J. et al. Metodologia para a estimação da temperatura do ar em função da altitude a partir de dados de perfil topoclimático. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 30, n. 18, p.112-132, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14789>. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14789>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

BENYON, R. G. et al. Critical climate thresholds for fire in wet, temperate forests. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 537, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120911>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723001445>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York, Dordrecht London Heidelberg, 2011.

CARGNELUTTI, F. et al. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Climatologia**, [s.l.], v. 41, n. 6, p.893-901, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600001>. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/pab/a/grfCBwzQQhZnn9Y9hMysnWg/#>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear**: Um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas. 1 ed. Brasília: Enap, 2019. 76 p.

CÓRDOVA, M. et al. Near-Surface Air Temperature Lapse Rate Over Complex Terrain in the Southern Ecuadorian Andes: Implications for Temperature Mapping. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, [s.l.], v.48, n.4, p.673-684, 2016. DOI: 10.1657/AAAR0015-077. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1657/AAAR0015-077> > Acesso em: 02 fev. 2021.

DATASET: ALOS PALSAR L1.0 2011. **Accessed through ASF Data Search Vertex**. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 02 jan. 2021.

DINIZ, E.S.; THIELE, J. **Modelos de regressão em R**. 2. ed. Viçosa: [s.n], 2021.152 p. ISBN 9786500196115.

DURBIN, J.; WATSON, G. S. **Testing for serial correlation in least squares regression I**. *Biometrika*, London, v.37, n.3/4, p.409-428, 1950. Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/2332391>>. Acesso em: 02 jan. 2021.

FIGUEIREDO FILHO, D. et al. **O que Fazer e o que Não Fazer com a Regressão:** pressupostos e aplicações do modelo linear de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). **Revista Política Hoje**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.44-99, 2011. ISSN: 01047094. Disponível em: < <https://www.doccity.com/pt/o-que-fazer-e-o-que-nao-fazer-com-a-regressao-linear/5096511/>>. Acesso em: 21 jan. 2021.

FILHO, A. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.9, p. 2448-2456, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000005>. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/cr/a/qJzxkQmr9WB9nNYM5W5S5vP/>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

FLANNIGAN, M. D. et al. Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. **Climatic Change**, [s.l.], v. 134, p. 59-71, 2022. DOI: 10.1007/s10584-015-1521-0. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-015-1521-0>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An R companion to applied regression, Third Edition**. Thousand Oaks CA: Sage. 2019. Disponível em:< URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>. Acesso em 10 jan. 2022.

HEIBERGER, R. M. HH: **Statistical Analysis and Data Display:** Heiberger and Holland. R package version 3.1-49. 2022. URL <https://CRAN.R-project.org/package=HH>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Históricos de dados meteorológicos**. Disponível em:< <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 01 de jun. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em:< <https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 01 de jun. 2022.

KATTEL, D. B.; ULLAH, T. Y. K.; RANA, A. S. Seasonal near-surface air temperature dependence on elevation and geographical coordinates for Pakistan. **Theoretical and Applied Climatology**, [s.l.], v.138, n. 3-4, p.1591-1613, 2019. DOI: 10.1007/s00704-019-02899-5. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-019-02899-5>> Acesso em: 01 de ago. 2021.

LAURENT, P. et al Varying relationships between fire radiative power and fire size at a global scale. **Biogeosciences**, [S. l.], v. 16, p. 275-288, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-16-275-2019>. Disponível em: < <https://bg.copernicus.org/articles/16/275/2019/> >. Acesso em: 21 dez. 2022.

LORENÇONE, P. A. et al. Estimation of Air Temperature Using Climate Factors in Brazilian Sugarcane Regions. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 37, n.1, p. 121-140, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863710008>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/b3qdPkYHkvkppfTZSFgJcmz/?lang=en>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

LÜDECKE et al. performance: An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. **Journal of Open Source Software**, [s.l.], v.3, n. 3139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03139>. Disponível em: <<https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03139>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

MINAS GERAIS. Portaria IEF nº 18, de 19 de abril de 2000. **Diário do Executivo de Minas Gerais**, Minas Gerais, MG, 19 abr. 2000.

MONTGOMERY, M.R.; EZEH, A.C. **Urban Health in Developing Countries: Insights From Demographic Theory and Practice**. Springer: New York, 2005. 317 p.

PANAGOULIA, D.; VLAHOGIANNI, E. I. Recurrence quantification analysis of extremes of maximum and minimum temperature patterns for different climate scenarios in the Mesochora catchment in Central-Western Greece. **Atmospheric Research**, [S. l.], v. 205, p. 33-47, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.02.004>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809517308141?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 dez. 2022.

PANTANO, A. P.; CAMPAROLO, L. B. Modelo de estimativa de temperaturas máximas e mínimas mensais para a região do médio Paranapanema, SP. **Revista Engenharia na Agricultura**, [S. l.], v. 20, n.3, p. 250-257, 2012. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v20i3.345>. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/312>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PEREIRA, A. S.; MARCA, L.; FILHO, E. J. P. S. **Regressão Linear Simples e Múltipla no R-Studio**. Universidade de Passo Fundo, RS. 2021. Disponível em: <[file:///C:/Users/nilto/Downloads/texto-05-2021%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/nilto/Downloads/texto-05-2021%20(1).pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2021.

QGIS Development TEAM, 2022. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

R CORE TEAM (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, P. S. et al. Influência do desmatamento na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.165-176, 2023. ISSN: 1984-295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254555>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SANTOS, P. A. B. et al. Air temperature estimation techniques in Minas Gerais state, Brazil, Cwa and Cwb climate regions according to the Köppen-Geiger climate classification system. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145023920>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cagro/a/wXKVcTZkSPsBDMxssB3qm4J/?lang=en>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

SCOLFORO, J. R.; MELO, J. M.; SILVA, C. P. C. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2008. 620 p. ISBN 9788587692603.

SONG, R. et al. Spatial and temporal variation of air pollutant emissions from forest fires in China. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 281, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119156>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231022002217>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

VILLAGÓMEZ, L. I. Q. et al. A simple and accurate mathematical model for estimating maximum and minimum daily environmental temperatures in a year. **Building and Environment**, [s.l.], v. 197, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107822>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321002298?via%3Dihub>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

WANDERLEY, H. S.; FERNANDES, R. C.; CARVALHO, A. L. Estimativa da temperatura máxima do ar utilizando o modelo digital de elevação para o município Piranhas-AL. **Revista Ambientale – UNEAL**, [s.l.], v. 4, n. 1, 2014. e-ISSN: 2318-454X. Disponível em: <<https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/108>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

ZEILEIS, A.; HOTHORN, T. Diagnostic Checking in Regression Relationships. **R News**, [s.l.], v.2/3, p. 7-10, 2002. ISSN: 16093631. Disponível em: <<https://journal.r-project.org/articles/RN-2002-018/RN-2002-018.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; ELPHICK, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. **Methods in Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 3-14, 2010. Disponível em: <[Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. Methods Ecol Evol 1: 3-14 | Request PDF \(researchgate.net\)](#)>. Acesso em: 21 out. 2021.

3. CAPÍTULO 2

RELAÇÃO ENTRE AS PRÁTICAS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM AS OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL – RPPN FARTURA E SEUS ENTORNOS

Resumo - O fogo é um agente modificador que atua principalmente na renovação da paisagem, estando a sua ocorrência relacionada principalmente a ambientes antropizados. Diante do exposto, esta pesquisa objetivou investigar se existe relação entre os registros de focos de incêndios florestais e as práticas de uso e cobertura da terra na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fartura e seus entornos, localizada no município mineiro de Capelinha, a fim de fornecer subsídios para seu melhor entendimento, no intuito de amenizar a atual tendência de aumento das ocorrências e danos causados na região. Para isso, definiu-se uma área de estudo no entorno da RPPN Fartura e aplicou-se nos dados secundários coletados o Modelo Linear Generalizado de distribuição Binomial Negativa. De acordo com os resultados, existe uma forte relação entre as práticas de uso e cobertura da terra com as ocorrências de incêndios florestais na região ($p\text{-value} < 0,05$ e $R^2 = 86,9\%$). Algumas análises possibilitaram definir que tanto o fogo tem alterado a cobertura da terra, como o uso da terra tem causado e intensificado as ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo. Outro ponto observado nesta pesquisa foi a redução de 30,15 % na floresta nativa da região, sendo motivada principalmente pela expansão das áreas sem vegetação arbórea (23,71%), áreas de práticas agrícolas (6,02%), áreas urbanizadas e infraestruturas (0,16%) e de outras áreas não vegetadas (0,25%). Dos 7.782,4 ha de cicatrizes de fogo deixadas pelos incêndios florestais no período, 49,46% atingiram áreas consideradas sem vegetação arbórea, 48,69 % áreas de formações florestais nativas, 0,89% áreas de práticas agrícolas e 0,96% outras áreas não vegetadas. Com estes resultados políticas públicas e planejamento do uso da terra são essenciais, visando o gerenciamento e a definição de estratégias integradas de proteção.

Palavras-chave: Vegetação arbórea. Práticas agrícolas. Áreas Urbanizadas. Cicatrizes de fogo.

RELATIONSHIP BETWEEN LAND USE AND COVERAGE PRACTICES WITH THE OCCURRENCE OF FOREST FIRES IN THE PRIVATE NATURAL HERITAGE RESERVE – RPPN FARTURA AND ITS SURROUNDINGS

Abstract - Fire is a modifying agent that acts mainly on landscape renewal, with its occurrence mainly related to anthropic environments. In view of the above, this research aimed to investigate whether there is a relationship between records of forest fire outbreaks and land use and cover practices in the Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Fartura and its surroundings, located in the Minas Gerais municipality of Capelinha, the in order to provide support for its better understanding, with the aim of alleviating the current trend of increasing occurrences and damages caused in the region. To this end, a study area was defined around the RPPN Fartura and the Generalized Linear Model of Negative Binomial distribution was applied to the secondary data collected. According to the results, there is a strong relationship between land use and cover practices and the occurrence of forest fires in the region ($p\text{-value} < 0.05$ and $R^2 = 86.9\%$). Some analyzes made it possible to define that both fire has changed land cover and land use has caused and intensified the occurrence of forest fires within the study area. Another point observed in this research was the 30.15% reduction in the region's native forest, which was mainly motivated by the expansion of areas without tree vegetation (23.71%), areas of agricultural practices (6.02%), urbanized areas and infrastructure (0.16%) and other non-vegetated areas (0.25%). Of the 7,782.4 ha of fire scars left by forest fires in the period, 49.46% reached areas considered without tree vegetation, 48.69% areas of native forest formations, 0.89% areas of agricultural practices and 0.96% other non-vegetated areas. With these results, public policies and land use planning are essential, aiming at managing and defining integrated protection strategies.

Keywords: Tree vegetation. Agricultural practices. Urbanized Areas. Fire scars.

3.1. INTRODUÇÃO

Uma das principais alternativas existentes para a conservação da biodiversidade são as Unidades de Conservação (UCs). No entanto, muitas destas áreas protegidas foram implementadas no país sem nenhum planejamento, resultando em inúmeros desafios para sua manutenção (VIEIRA; PRESSEY; LOYOLA, 2019), que fragilizam sua gestão e as transformam em ambientes vulneráveis, principalmente relacionados ao uso indevido do fogo dentro e em seu entorno (LUCAS et al., 2023).

Corroborando, Almeida, Serafim e Araújo (2021), afirmam que um dos principais problemas enfrentados pelos gestores de Unidades de Conservação são os incêndios florestais. Ainda segundo os autores há uma grande incidência desses incêndios registrados nestas áreas protegidas nos últimos anos, causando grande ameaça para a conservação da biodiversidade e da manutenção dos processos ecológicos, sendo o fator antrópico apontado como a principal causa (DÍAZ HORMAZÁBAL; GONZÁLEZ, 2016).

Vale ressaltar que uma das principais consequências das ações antrópicas alterando o uso da terra em áreas de vegetação nativa é o processo de fragmentação florestal, o qual é caracterizado pela ruptura da unidade da paisagem, formando pequenos fragmentos florestais isolados onde anteriormente existia área de floresta contínua (ANDRADE et al., 2020). O desmatamento e os incêndios florestais estão entre os problemas ambientais mais significativos que o Brasil enfrenta atualmente, que juntos ou isolados intensificam esse processo de fragmentação (TRIGUEIRO; NABOUT; TESSAROLO, 2020). A perda de florestas tropicais pelo desmatamento e/ou incêndios é influenciada por diversos fatores ambientais e antrópicos distribuídos de forma desigual em uma determinada área (SILVA; LOPES; SANTOS, 2023). Dentre esses fatores, destacam-se as mudanças climáticas e as práticas de uso e cobertura da terra.

Nesse contexto, investigar se as alterações nas práticas de uso e cobertura da terra no entorno de uma determinada área protegida tem influência com os registros de focos de incêndios florestais, servirá como indicador da propensão a essas ocorrências. Além disso, é sabido que em diversas áreas científicas como, por exemplo, nas áreas agrônômicas, ambientais, biológicas e florestais, é comum o interesse em conhecer o grau de influência de uma variável sobre a outra, ou seja, como uma ou mais variáveis podem fazer uma determinada variável aumentar ou diminuir em sua distribuição de valores (DINIZ; THIELE, 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi investigar se existe relação entre os registros de focos de incêndios florestais e as práticas de alterações do uso e cobertura da terra

na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fartura e seus entornos. Para isso, buscou responder as seguintes questões: Existe relação entre as práticas de uso e cobertura da terra com os registros de focos de incêndios florestais na região? Quais são as principais alterações no uso e cobertura da terra na região no período de 24 anos? Qual classe de uso e cobertura da terra mais foi impactada pelos incêndios florestais ao longo deste período?

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa definiu-se como área de estudo um *buffer* de 8 km no entorno da Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Fartura, com área aproximada de 39.737 ha (Figura 7). Esta reserva é uma Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável de propriedade da Cemig Geração e Transmissão SA, localizada no município de Capelinha, na região do Vale do Jequitinhonha no estado Minas Gerais, a aproximadamente 440 km de Belo Horizonte.

A RPPN Fartura possui uma área de 1.458,71 ha e foi reconhecida pela Portaria do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais – IEF nº 189, de 02 de outubro de 2009, sendo mais adiante revogada pela Portaria IEF nº 25, de 28 de fevereiro de 2011, e alterada pela Portaria IEF nº 208, de 22 de dezembro de 2011.

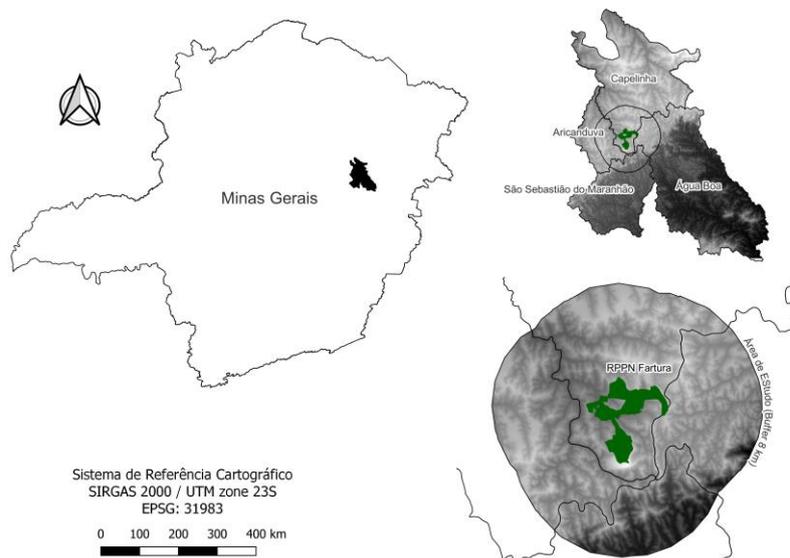


Figura 7 - Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fartura e da delimitação da área de estudo

De acordo com o inventário florestal do estado de Minas Gerais (SCOLFORO; MELO; SILVA, 2008), a RPPN Fartura está situada no bioma Mata Atlântica, em região de ecótono,

por ser zona de transição com o bioma Cerrado. A fitofisionomia dominante observada nesta UC caracteriza-se pela Floresta Estacional Semidecidual, em diferentes estágios sucessionais.

O total pluviométrico na região é de 903,6 mm, que por sua vez é marcado por uma grande variação interanual (períodos seco e chuvoso), com uma média mensal de 75,3 mm. Nesta região são raros os casos de precipitação intensa, como ocorre na faixa centro sul do estado de Minas Gerais. Os meses mais chuvosos na região estendem-se de novembro a março, sendo os meses de abril e setembro considerados de transição entre um regime e outro e são marcados pela estação seca na região (INMET, 2022).

Os registros de focos de incêndios florestais, bem como as cicatrizes de fogo na região, foram obtidos pelo banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, entre os anos de 1998 e 2021, conforme podem ser observados na Figura 8.

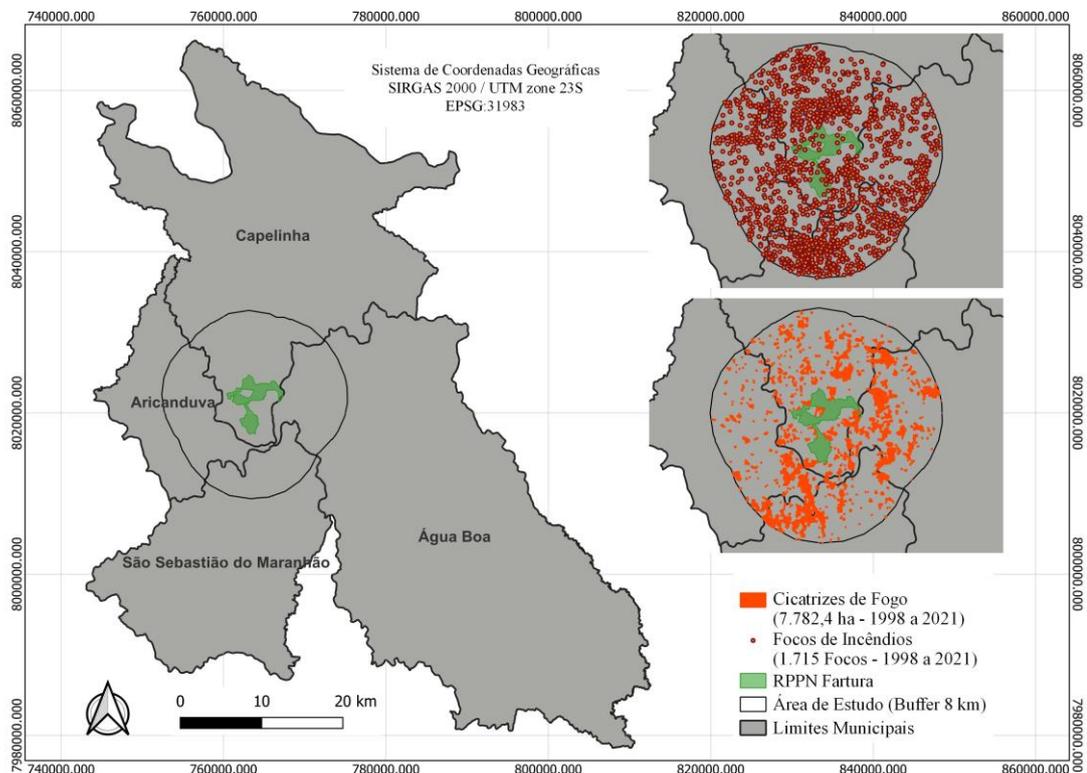


Figura 8 - Registros de focos de incêndios florestais e cicatrizes deixadas pelo fogo dentro da área de estudo entre os anos de 1998 e 2021

Aplicou-se o Modelo Linear Generalizado de distribuição Binomial Negativa, função de ligação logarítmica (Eq.1), para investigar se existe relação entre os registros dos focos de incêndios florestais na região com a redução das áreas de formação florestal, aumento das áreas sem vegetação arbórea, aumento das áreas de práticas agrícolas, aumento das áreas urbanizadas e de infraestruturas ou de outras áreas não vegetadas.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \dots + \varepsilon_i \quad \text{Eq. 1}$$

Para definição do tipo de distribuição do modelo, bem como a sua aplicação, as análises básicas e avançada dos resíduos e a definição do coeficiente de determinação, aplicou-se no *software* R as funções definidas na Tabela 6. Antes da aplicação do modelo é necessária a análise básica e avançada dos resíduos, pois através dela é possível verificar se os pressupostos para a sua construção e aplicação são satisfeitos (PAULA, 2013). Além disso, a análise gráfica dos resíduos possibilitará a demonstração visual de possíveis observações discrepantes e violações nas suposições do modelo.

Tabela 6 - Funções aplicadas no software R para definição do tipo de distribuição do GLM, aplicação, diagnóstico dos pressupostos e definição do coeficiente de determinação

Função	Pacote	Descrição	Fonte
ord_plot()	vcd	Definição do tipo de distribuição do GLM	Meyer, Zeileis e Hornik (2023)
glm.nb()	MASS	Aplicação do GLM de distribuição Binomial Negativa	Venables e Ripley (2002)
rldiagnostic()	RT4Bio	Diagnóstico de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos	Reis, Oliveira e Borges (2015)
simulateResiduals()	DHARMA	Diagnóstico de Sobredispersão (Overdispersion)	Hartig (2022)
testDispersion()	DHARMA	Diagnóstico de Sobredispersão (Overdispersion)	Hartig (2022)
testZeroInflation()	DHARMA	Diagnóstico de Inflação de Zeros (Zero-inflation)	Hartig (2022)
r2()	rsq	Definição do Coeficiente de Determinação (R ²)	Zhang (2022)
summary()	*	Sumário do modelo GLM _{BN}	R Core Team (2022)

Para classificação e delimitação das práticas de uso e cobertura da terra na região, utilizou-se 24 (vinte e quatro) imagens anuais do projeto de mapeamento do uso e cobertura da terra no Brasil – MapBiomias Brasil, referentes ao período entre os anos 1998 e 2021. De acordo com a metodologia deste projeto, todas as imagens anuais de cobertura e uso da terra são produzidas a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélites da série Landsat (5, 7 e 8), que são mapeadas e classificadas por equipes de programadores, especialistas de sensoriamento remoto e especialistas em conservação e uso da terra (MAPBIOMAS, 2023). Atualmente este produto está na coleção 7.0, que apresenta uma classificação com 27 classes de uso e cobertura da terra com dados anuais de 1985 a 2021. Vale ressaltar que os mapas do MapBiomias têm sua melhor aplicação em escalas de 1:100.000. As imagens foram recortadas sobrepondo a área de estudo utilizando um *software* de SIG conforme pode ser observado na Figura 9.



Figura 9 - Mapas de uso e cobertura da terra entre os anos de 1998 e 2021 dentro da área de estudo

Utilizando um software de SIG, mensurou o quantitativo das áreas de formações florestais nativas que se transformaram ao longo dos anos em áreas sem vegetação arbórea, áreas de práticas agrícolas, áreas urbanizadas e de infraestruturas e outras áreas não vegetadas.

Para isto foi sobreposto o mapa de uso e cobertura da terra do ano base sobre o mapa de formação florestal do ano anterior.

Para investigar as transformações das áreas de formações florestais nativas após os incêndios florestais, sobrepôs o mapa contendo as cicatrizes de fogo de um determinado ano sobre o mapa de uso e cobertura da terra do ano posterior aos incêndios.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 1998 e 2021 foram 1715 focos de incêndios florestais e 7.782,4 ha de cicatrizes de fogo, registrados dentro da área de estudo (Figuras 10 e 11). Observa nos gráficos que embora a maior quantidade de registros foi no ano de 2015 (285 focos), em 2003 os incêndios florestais foram mais intensos na região com 2.301,8 ha de cicatrizes deixadas pelo fogo. Este fato está relacionado com o maior excesso de biomassa disponível nas áreas, devido à maior taxa de desmatamento na região naquele ano.

Para Latuf, Rios e Pereira (2022), a distribuição espacial dos incêndios florestais se dá sob determinadas características, além de fatores condicionantes ligados à regionalidade, que dependem não somente de aspectos ambientais, mas também de ações antrópicas. Ainda segundo os autores, entre os anos de 2001 e 2020 as mesorregiões de Minas Gerais Jequitinhonha e Vale do Rio Doce, onde fica localizada a área de estudo, tiveram o equivalente a 15,3% e 9,8% do seu território queimado, respectivamente.

Vale destacar que o entorno imediato da RPPN Fartura é marcado por uma área de reassentados oriundos do processo de licenciamento ambiental da usina hidrelétrica de Irapé, onde é possível perceber diferentes tipos de ocupação e uso da terra. Existem propriedades que produzem um mosaico interessante para proteção da reserva e outras que se destinam da criação de gado, plantios e que utilizam o fogo e o desmatamento para exercer suas atividades (CEMIG, 2019). Além disso, no entorno desta RPPN, a cerca de 900 metros de seu limite oeste, está localizado o município de Aricanduva, que devido à baixa proximidade intensifica o efeito de borda sobre a Unidade de Conservação.

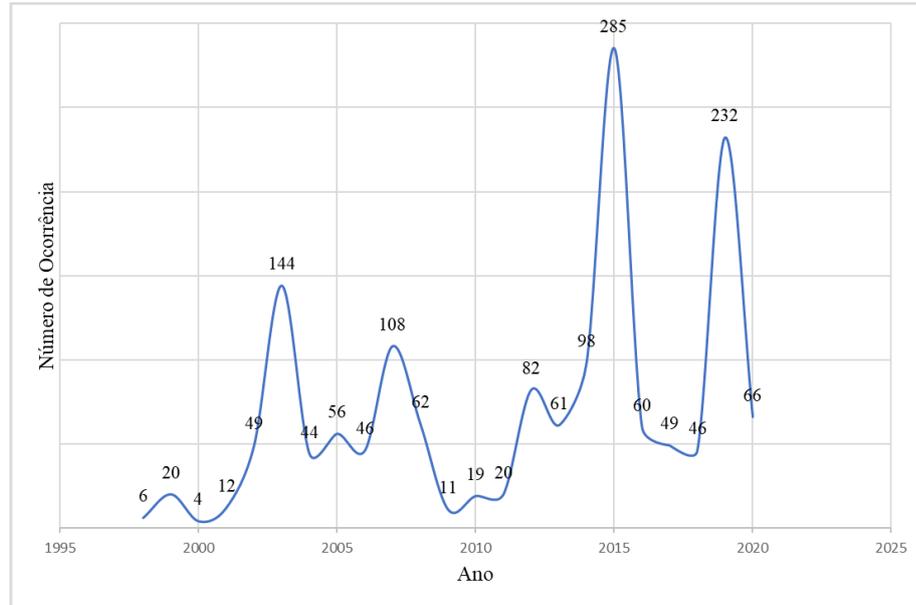


Figura 10 - Número de ocorrências de incêndios florestais na área de estudo entre os anos de 1998 e 2021

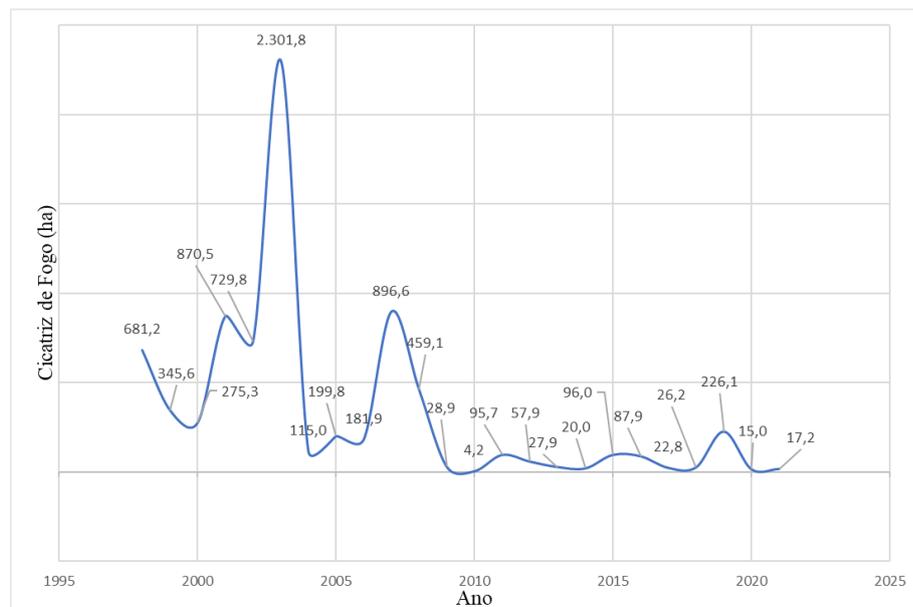


Figura 11 - Cicatrizes de fogo registradas na área de estudo entre os anos de 1998 e 2021

3.3.1. Validação do modelo

A Figura 12 ilustra o diagnóstico da homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos dentro do Modelo Linear Generalizado de distribuição binomial negativa. As linhas vermelhas nos gráficos indicam a tendência dos dados, sugerindo que os mesmos possuem homogeneidade de variância dos resíduos. O gráfico Normal Q-Q, embora apresente ligeiro desvio da normalidade, não é algo preocupante, sugerindo que o modelo com distribuição binomial negativa parece ser adequado para modelar estes dados.

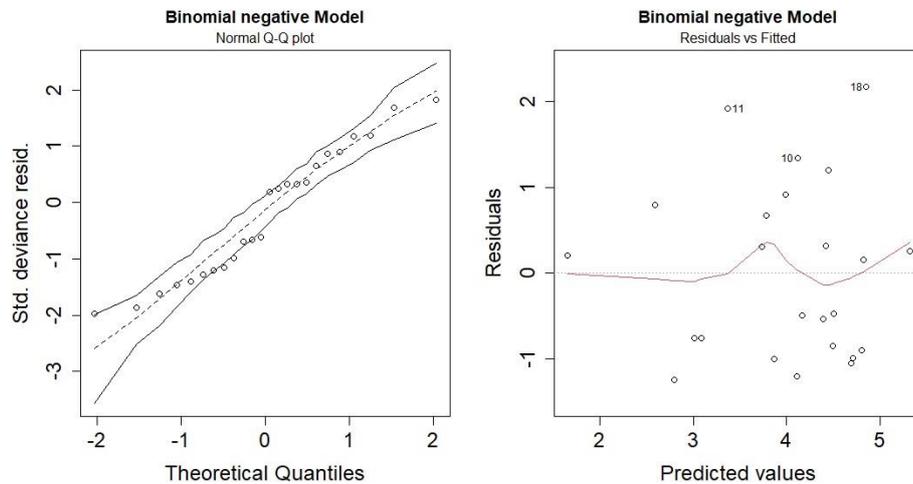


Figura 12 - Diagnóstico de homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos utilizando a função rdiagnostic do pacote RT4Bio (REIS; OLIVEIRA; BORGES, 2015)

A Figura 13 demonstra o diagnóstico do modelo pelo método de DHARMA (HARTIG, 2022), onde é possível perceber a ausência de sobredispersão (overdispersion). Para Silva et al. (2022), para estes tipos de modelos a sobredispersão (overdispersion) ocorre quando a variância observada é muito maior do que aquela predita pelo modelo. Ainda segundo os autores, considerando que neste tipo de distribuição existe apenas um único parâmetro para descrever tanto a média quanto a variância (λ), elas precisam ser iguais, ou seja, caso a variância nos dados observados seja muito maior do que a média, dizemos que há sobredispersão nos dados, e que o modelo aplicado deve ser substituído imediatamente por um mais robusto.

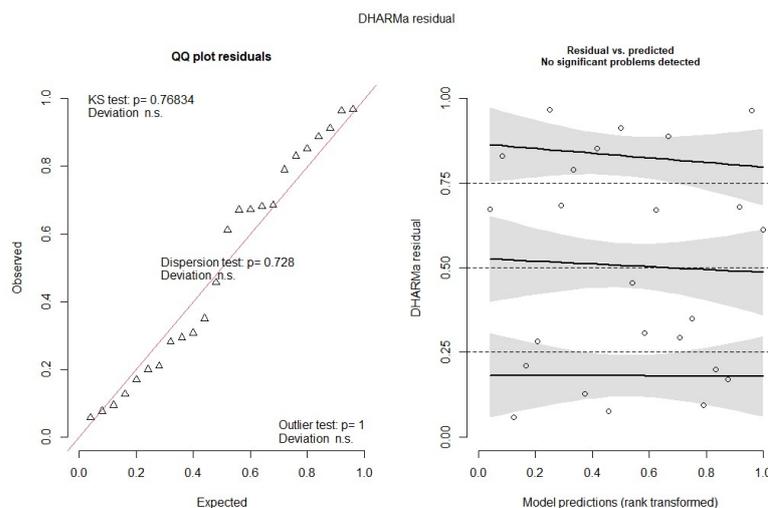


Figura 13 - Diagnóstico de sobredispersão (overdispersion) com a função simulateResiduals() do pacote DHARMA (HARTIG, 2022)

Os resultados do teste de overdispersion com a função *testDispersion()* do pacote DHARMa (HARTIG, 2022), podem ser observados na Figura 14. No gráfico as colunas cinzas são as distribuições aleatórias dos resíduos e a linha vermelha o valor da estatística que foi observada. Para Silva et al. (2022), quando a linha vermelha está bem à esquerda da distribuição e o p-value não é significativo ($p\text{-value} > 0,05$), não há sobredispersão (overdispersion) no modelo.

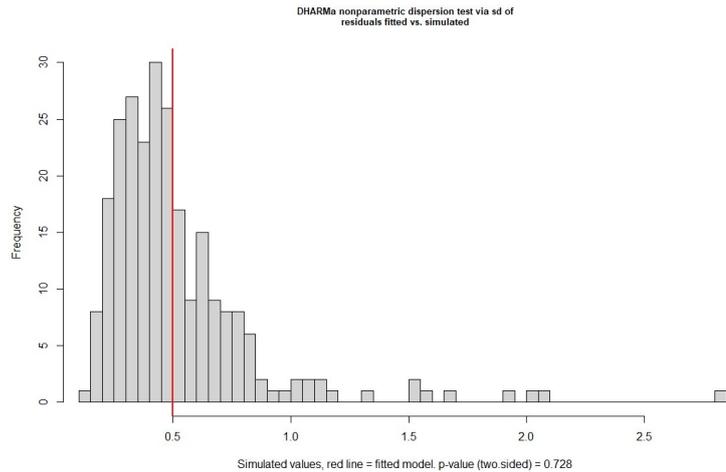


Figura 14 - Diagnóstico de sobredispersão (overdispersion) com a função *testDispersion()* do pacote DHARMa (HARTIG, 2022)

A linha vermelha do gráfico da Figura 15 indica que o modelo aplicado não sofre com inflação de zeros.

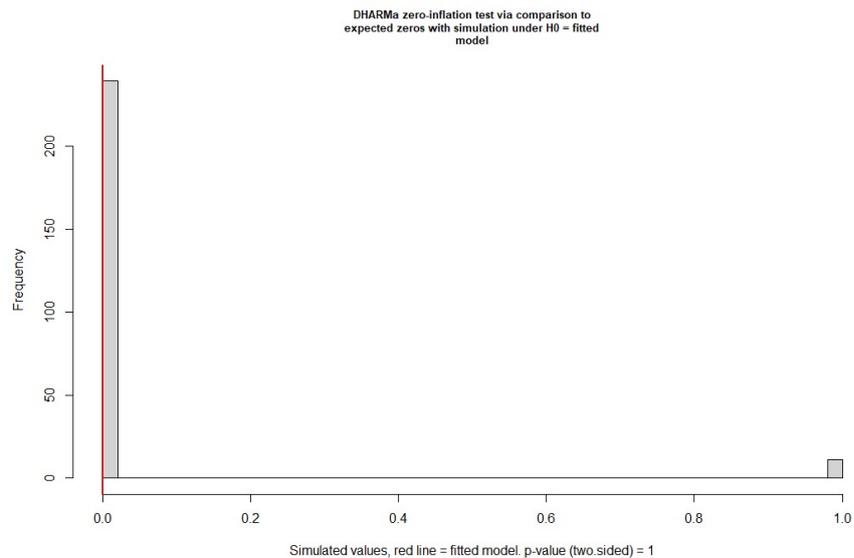


Figura 15 - Diagnóstico de inflação de zeros com a função *testZeroInflation()* do pacote DHARMa (HARTIG, 2022)

3.3.2. Aplicação do modelo

Atendidos todos os pressupostos necessários para a aplicação do Modelo Linear Generalizado de distribuição binomial negativa, definiu os parâmetros (β_1 , β_2 , β_3 , β_4 e β_5) e o Coeficiente de Determinação (R^2). Observa-se na Tabela 7, que a diminuição da formação florestal na área de estudo em detrimento da expansão das áreas sem vegetação arbórea, áreas de práticas agrícolas, áreas urbanizadas e de infraestrutura e outras áreas não vegetadas, tem uma forte relação com os registros de focos de incêndios florestais na região (p -value < 0,05). Além disso, observa-se que 86,9% das variáveis independentes explicam de forma satisfatória a variabilidade da variável dependente (registros de focos de incêndios) na região.

Tabela 7 - Sumário do Modelo Linear Generalizado de distribuição binomial Negativa, com determinação dos parâmetros e Coeficiente de Determinação

Variáveis	Coeficientes Estimados		p-value ($p < 0,05$)	Coeficiente de Determinação (R^2)
Focos de incêndios	β_0	36980,39	0,0153	0,869
Formação florestal	β_1	-93,11	0,0153	
Áreas sem vegetação arbórea	β_2	-93,02	0,0154	
Áreas de práticas agrícolas	β_3	-93,05	0,0153	
Áreas urbanizadas e de infraestruturas	β_4	-92,41	0,0178	
Outras áreas não vegetadas	β_5	-91,63	0,0167	

Comparando o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2021 com o mapa de formação florestal do ano de 1998 (Figura 16), observou uma redução de 30,15 % na floresta nativa. Esta redução é motivada pela expansão das áreas sem vegetação arbórea (23,71%), áreas de práticas agrícolas (6,02%), áreas urbanizadas e infraestruturas (0,16%) e de outras áreas não vegetadas (0,25%). Para Ramos, Nuvoloni e Lopes (2022), esse fato confirma uma conversão disfarçada de áreas de formação florestal natural para áreas sem vegetação arbórea, e, posteriormente, para silvicultura, indicando que estas áreas funcionarão como uma área de transição de formações florestais naturais para outros tipos de uso da terra.

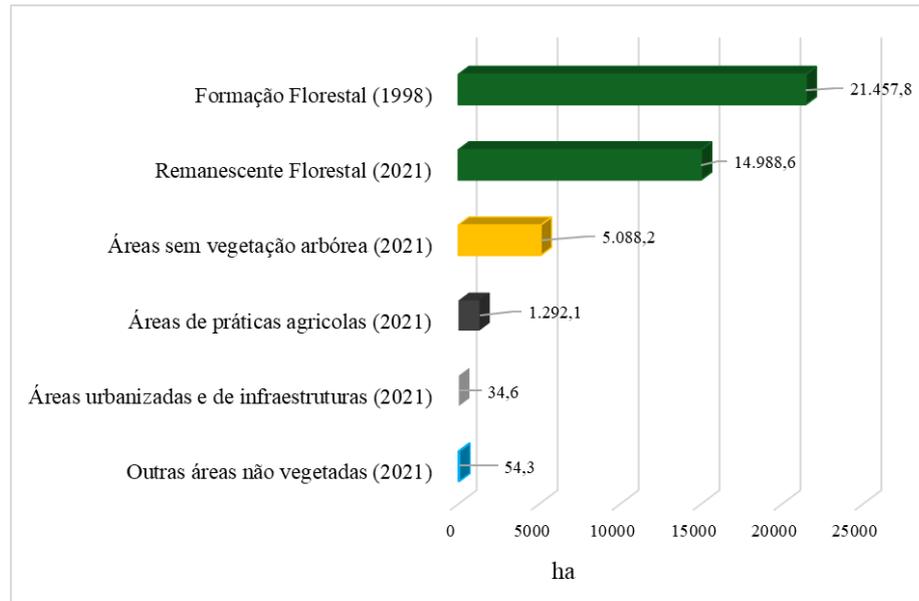


Figura 16 - Transformação da formação florestal entre os anos de 1998 e 2021

Além disso, vale ressaltar que, desde 1990, o desmatamento tem causado uma perda florestal global de 420 milhões de hectares (FAO, 2020). Ainda segundo a organização, embora a taxa de perda florestal tenha diminuído substancialmente nas últimas décadas, cerca de 10 milhões de hectares de floresta ainda são perdidos anualmente. Entre as atividades de uso da terra, a expansão das práticas agrícolas é responsável pela maior causa isolada de perda de vegetação nativa e declínio global da biodiversidade (GIBBS et al., 2010).

A Figura 17 demonstra que 15,64 % de formação florestal que existia em 1998 foram convertidas ao longo do período em áreas de práticas agrícolas, áreas sem vegetação arbórea, áreas urbanizadas e de infraestruturas e outras áreas não vegetadas.

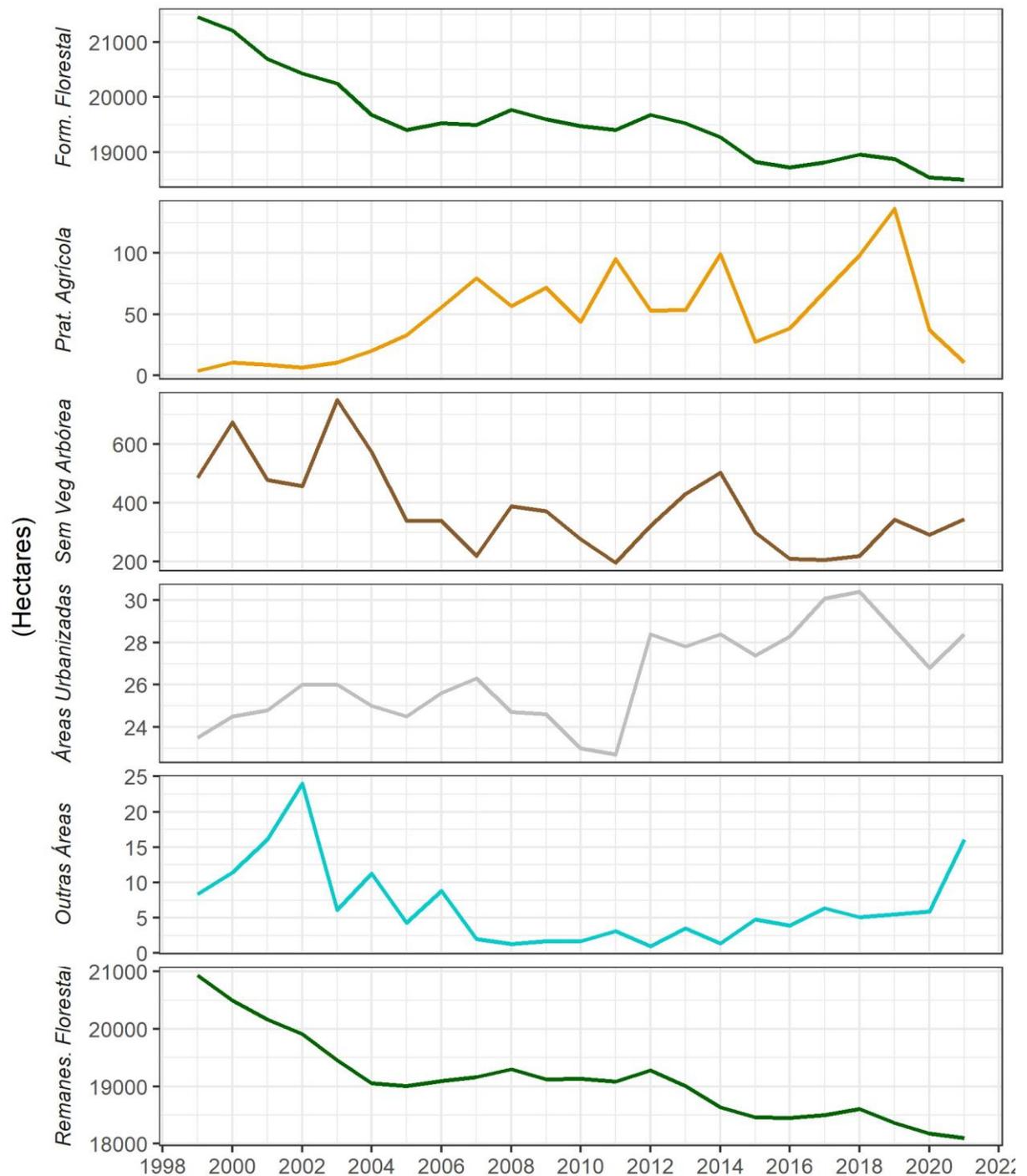


Figura 17 - Transformação da área de formação florestal por causa desconhecida em áreas de práticas agrícolas, áreas sem vegetação arbórea, áreas urbanizadas e de infraestruturas, outras áreas não vegetadas e remanescentes florestais

Ao sobrepor o mapa das áreas de práticas agrícolas do ano de 2021, com o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1998, observou que 1.292 ha de florestas nativas, 1.618,6 ha de áreas sem vegetação arbórea, 0,3 ha de áreas urbanizadas e de infraestruturas e 7,7 ha de outras áreas não vegetadas que existiam em 1998 se transformaram em áreas de cultivos agrícolas em 2021 (Figura 18). Do total de áreas de práticas agrícolas dentro da área de estudo

em 2021, 190,3 ha já existiam em 1998. Esta transformação é explicada pela expansão das áreas agrícolas na região, principalmente com o cultivo de eucalipto (IBGE, 2021). Ainda de acordo com o Instituto, no território mineiro, a implantação de reflorestamento com espécies de rápido crescimento, preferencialmente o eucalipto, apresentou resultados vantajosos graças a sua fácil adaptação proporcionada pelas condições edafoclimáticas do estado e sua rentabilidade econômica. O estado retém o maior percentual de cultivo de eucalipto do país, totalizando uma área de 2.021.562 ha, sendo bastante expressiva a região do Jequitinhonha, com 402.033 ha de eucalipto.

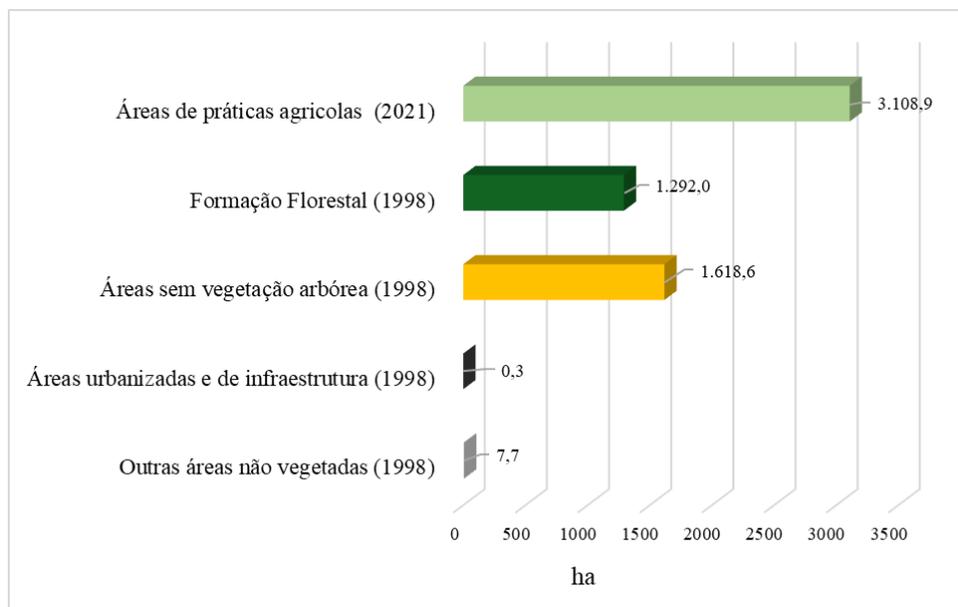


Figura 18 - Áreas que se transformaram ao longo dos anos de 1998 e 2021 em áreas de práticas agrícolas

Corroborando, um estudo realizado no sul da Bahia por Ramos, Nuvoloni e Lopes (2022), chegou a resultados semelhantes ao analisar a transformação florestal da paisagem e da perda da Mata Atlântica na região. Em sua pesquisa, os autores concluíram que a formação florestal natural da região teve sua área convertida com maior predominância de pastagem, mosaico de agricultura e plantação florestal. Além disso, eles concluíram que em 34 anos, 226 ha de floresta foram convertidas em áreas sem vegetação arbórea e 231 ha destas áreas foram convertidas em floresta plantada.

Na sobreposição do mapa das áreas sem vegetação arbórea de 2021, com o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1998, observou que 5.088,2 ha de formações florestais nativas que existiam em 1998 se transformaram em áreas sem vegetação arbórea no ano de 2021 (Figura 19). Importante destacar que mudanças no uso da terra tornaram-se muito comuns em

áreas de pastagens e vegetação herbácea, onde a vegetação nativa vem sendo ameaçada pelo crescente cultivo de espécies exóticas (VELDMAN et al., 2015), devido a uma crescente demanda por extração de madeira e produtos lenhosos com elevados retornos económicos (BUISSON et al., 2019).

Além disso, as atividades humanas têm causado transformações substanciais nas florestas tropicais ao redor do mundo no último século (ROQUE et al., 2018). Essas transformações levaram a perdas de biodiversidade, mudanças drásticas na estrutura da comunidade e no funcionamento do ecossistema e, conseqüentemente, afetaram importantes serviços ecossistêmicos fornecidos por florestas tropicais (SHIMAMOTO et al., 2018).

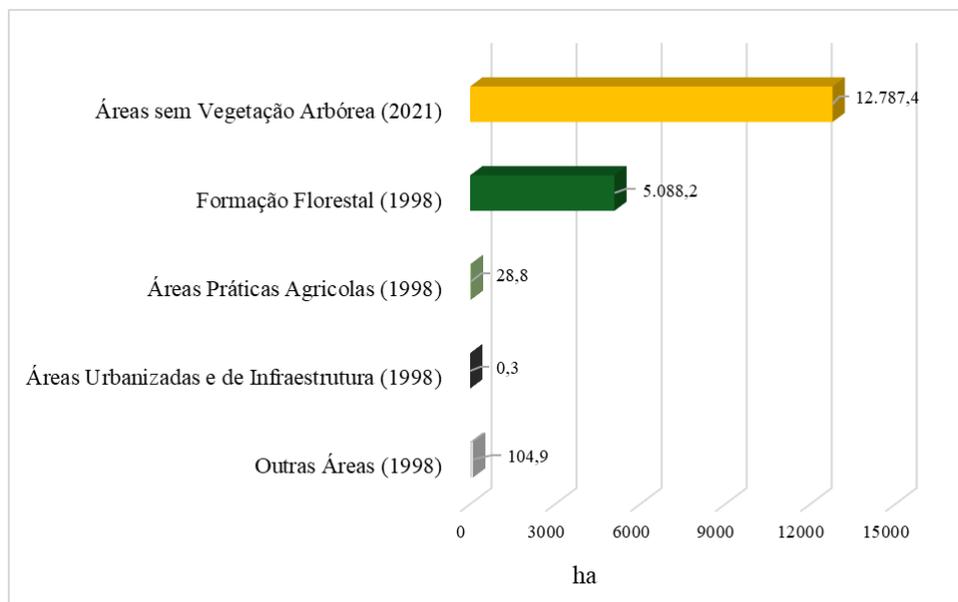


Figura 19 - Áreas que se transformaram ao longo dos anos de 1998 e 2021 em áreas sem vegetação arbórea

Para Santana, Delgado e Schiavetti (2020), o desmatamento a partir da expansão destas áreas dentro do bioma Mata Atlântica também aumenta a ocorrência de incêndios. Os autores avaliaram o corredor central da Mata Atlântica, que inclui a região sul do Bahia, e constatou a ocorrência de 42.212 incêndios entre 2001 e 2016.

Corroborando, estudos recentes realizados em Moçambique, afirmaram que a técnica do uso do fogo ainda é bastante aplicada por lá no manejo de áreas sem vegetação arbórea (pastagens e vegetação herbácea) e na limpeza dos terrenos para a agricultura tradicional, por ser considerada uma forma rápida e barata de reduzir a biomassa, estimular a rebrota de

forragem para a pecuária, diminuir as pragas e remover os remanescentes agrícolas (FUNAB, 2016; BEZERRA et al., 2018 e MITADER, 2018).

Para se ter uma ideia, na Amazônia brasileira, a grande maioria das fontes de ignição decorre do uso do fogo para renovar a vegetação de pastagens degradadas e limpar o excesso de biomassa após o desmatamento (ALENCAR; RODRIGUES; CASTRO, 2020). Com as crescentes e alarmantes taxas de desmatamento na região (INPE, 2022) e com o destino das áreas desmatadas sendo principalmente pastagens (TYUKAVINA et al., 2017), há um risco crescente de incêndios agrícolas e de desmatamento escapando para as florestas adjacentes.

Além disso, é sabido que o fogo pode gerar discontinuidades na distribuição florestal e levam as comunidades a estados alternativos (DANTAS et al., 2016). Estudos observacionais sobre os efeitos do uso da terra e incêndios repetidos no leste da Amazônia indicam a ocorrência de um processo denominado “secundarização” (BARLOW; PERES, 2008), que se refere a distúrbios induzidos pelo homem em florestas primárias que levam ao empobrecimento da biodiversidade e comunidades dominadas por um pequeno conjunto de espécies florestais sucessionais precoces.

Analisando a classe de uso e cobertura da terra que mais foi impactada pelos incêndios florestais ao longo do período, observa-se na Figura 20, que áreas sem vegetação arbórea e formações florestais figuram entre as mais impactadas com 49,46% e 48,69%, respectivamente do total de cicatrizes de fogo. Somadas as classes de áreas de práticas agrícolas e áreas não vegetadas, totalizam 1,85 %. Apenas no ano de 2003 os incêndios florestais consumiram um total de 2.301,8 ha, sendo 43,44 % (1.000 ha) das áreas de vegetação nativa, 55,26 % (1.272 ha) das áreas sem vegetação arbórea, 0,13 % (3 ha) das áreas de cultivos agrícolas e 1,17 % (27 ha) de outras áreas não vegetadas. Do total de vegetação nativa que foi impactada pelo fogo no ano de 2003, 66,6 ha se transformaram em área sem vegetação arbórea em 2004.

Para FAO (2015) e Bezerra et al. (2018), é comum que em todos os lugares do planeta, os incêndios florestais levem a mudanças vastas nas áreas dos ecossistemas, provocando vários impactos, o que leva a prejuízos de ordem econômica, social e ambiental.

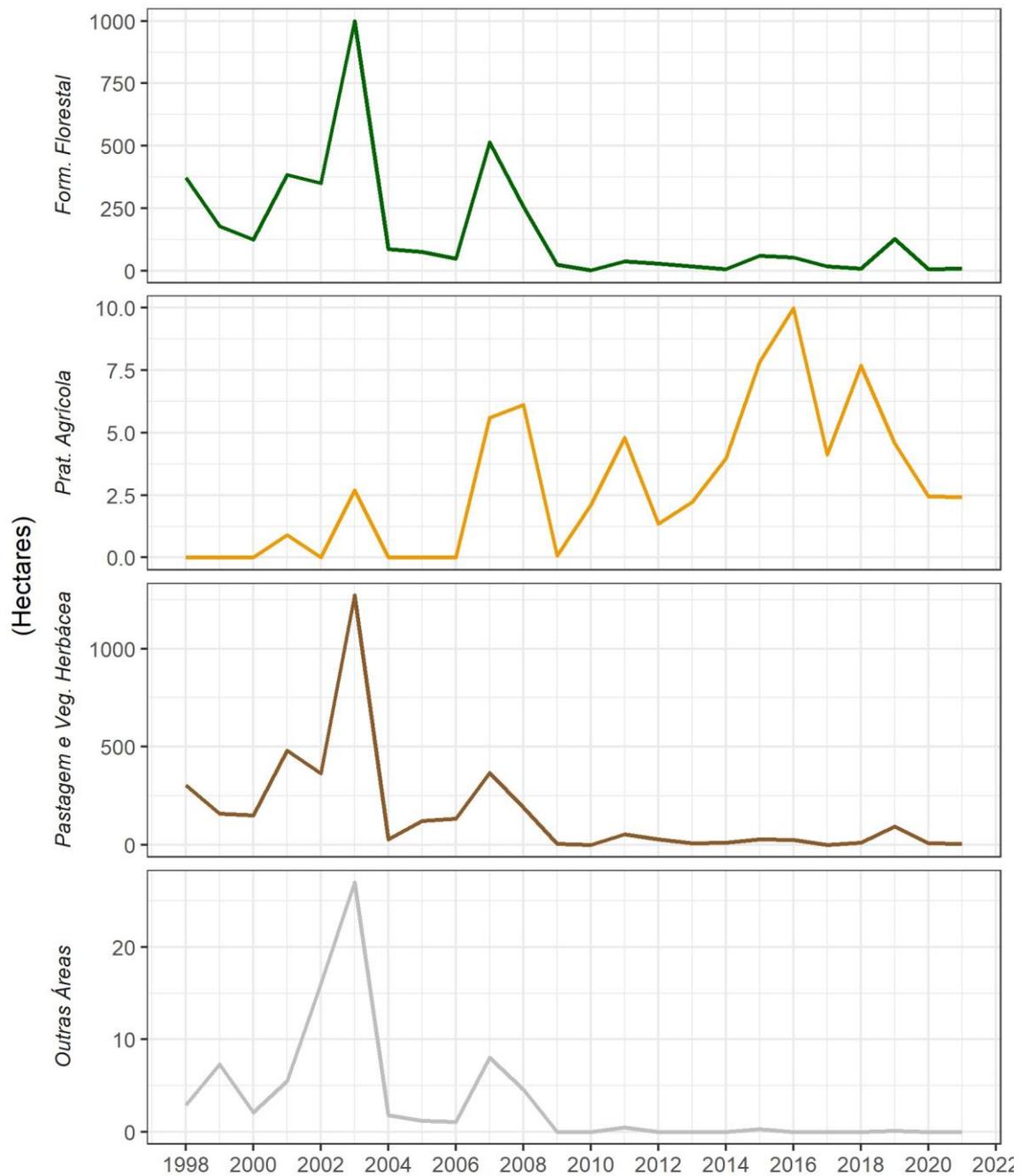


Figura 20 - Áreas das cicatrizes deixadas pelo fogo ao longo do período

Além disso, o fogo tradicionalmente faz parte do gerenciamento de fazendas com práticas como a queima de restolho para fertilizar a próxima colheita com as cinzas ou a queima de arbustos, a fim de criar espaços para outros usos como a silvicultura (TORRES, 2020). Um estudo realizado por Van Wilgen et al. (2000) na África do Sul entre os anos de 1941 e 1996, mostrou que a quantidade de biomassa herbácea no final da estação chuvosa tem influência significativa na ocorrência de incêndios em ecossistemas savânicos, uma vez que a biomassa

herbácea, ou seja, a vegetação gramínea do sub-bosque, torna-se inflamável durante a estação seca.

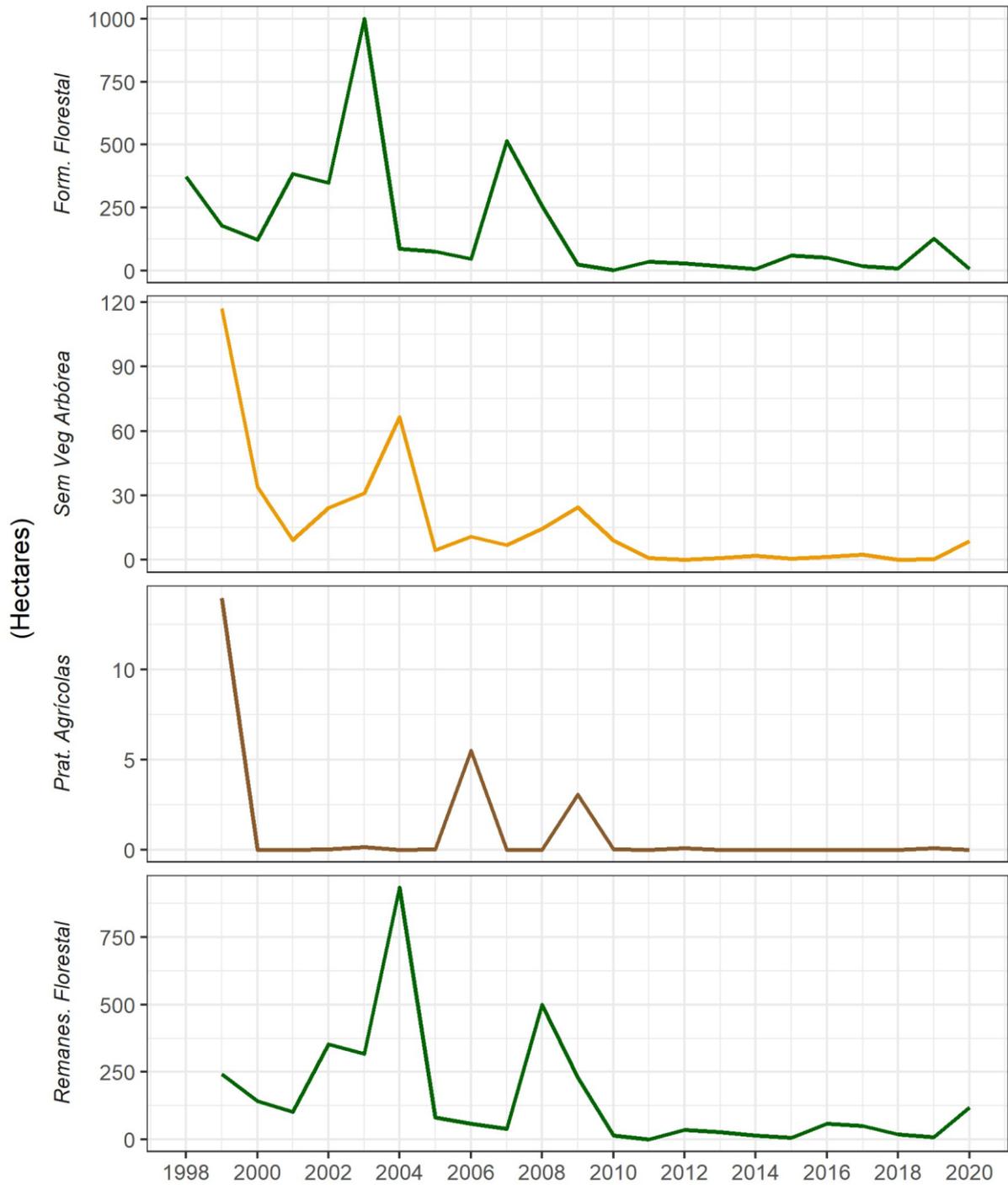


Figura 21 - Transformações das áreas de formações florestais após os incêndios florestais em áreas sem vegetação arbórea e áreas de práticas agrícolas

Observa-se na Figura 21 que das florestas nativas que foram atingidas por incêndios florestais em 1998, 31,39 % e 3,74% foram convertidas em áreas sem vegetação arbórea e de práticas agrícolas no ano de 1999, respectivamente. Além disso, entre os anos de 2001 a 2004,

pouco mais de 131,3 ha de vegetação nativa foram transformadas em áreas sem vegetação arbórea por causa dos incêndios florestais que atingiram a região.

Conforme pode ser observado na Figura 22, um incêndio florestal registrado no entorno da RPPN Fartura em agosto de 2021, consumiu 5,378 ha de formação florestal nativa existente nos anos de 2019 e 2020. Assim, observa-se que os incêndios florestais têm alterado o uso e ocupação da terra na região, transformando florestas nativas em áreas sem vegetação arbórea. No entanto, cicatrizes de fogo registradas em agosto e setembro de 2019 em áreas de pastagens, mostram que as alterações no uso e cobertura da terra, sobretudo as atividades antrópicas, tem influenciado as ocorrências dos incêndios florestais na região (Figura 23).

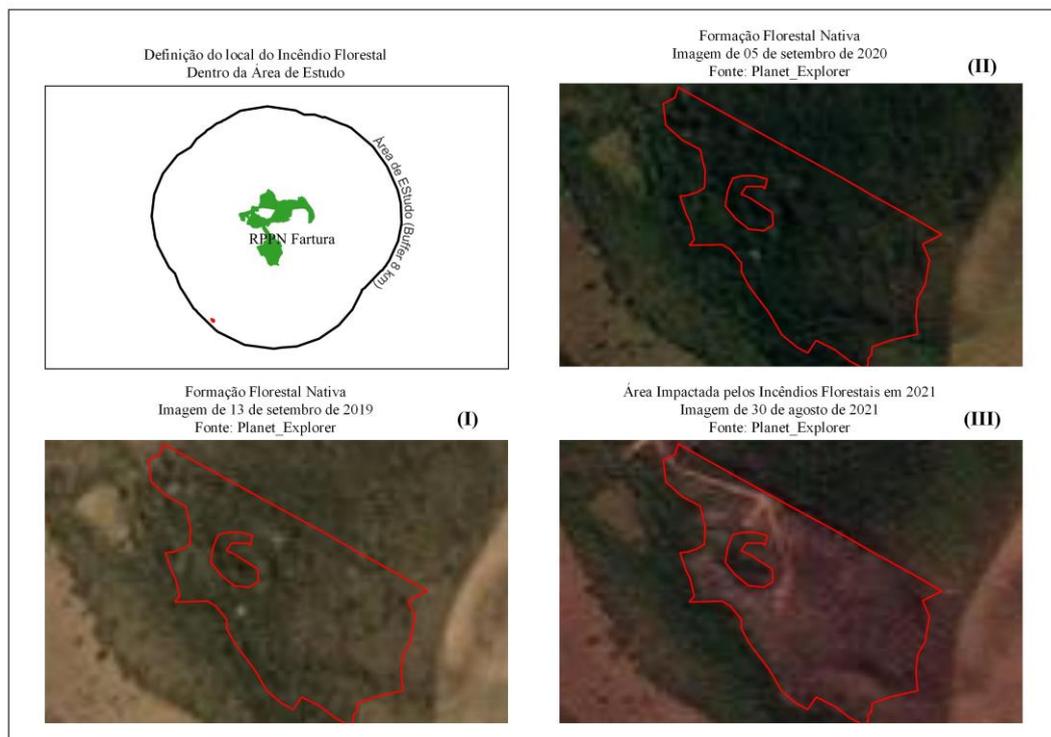


Figura 22 - Área de formação florestal nativa atingida por um incêndio florestal em agosto de 2021

Para Marinho et al (2021), 46% das mesorregiões Norte de Minas, Noroeste Mineiro e Triângulo Mineiro é caracterizado como área antropizada. Ainda segundo os autores, parte dessas mesorregiões chegaram a ser transformadas em áreas de pastagens para cultivo agrícola, para as quais esta característica influenciou no valor das cargas de combustíveis. Nestas regiões os padrões de temperatura máxima com valores entre 25 e 35 °C, associadas à vegetação rasteira ou degradada aumentam o estresse das plantas, o que favorece a ocorrência de focos de incêndios.

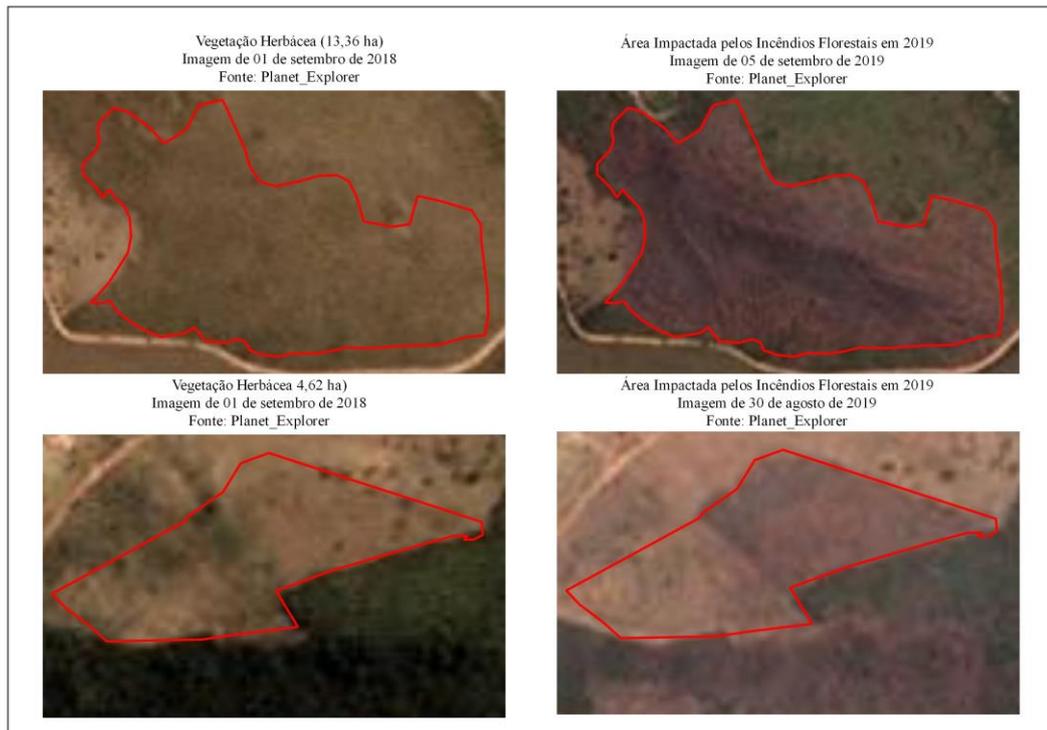


Figura 23 - Áreas sem vegetação arbórea atingidas por incêndios florestais nos meses de agosto e setembro de 2019

3.4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados nesta pesquisa, conclui-se que:

- Há uma forte relação entre as práticas de uso e cobertura da terra com as ocorrências de incêndios florestais na região ($p\text{-value} < 0,05$ e $R^2 = 86,9\%$). Tanto o fogo tem alterado a cobertura da terra, como o uso da terra tem causado e intensificado as ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo. Porém são recomendadas análises mais detalhadas para definir qual tem ocorrido primeiro;
- As principais alterações no uso e cobertura da terra na região foram as transformações das áreas de formações florestais nativas em áreas sem vegetação arbórea, e posteriormente em áreas de práticas agrícolas. No período houve uma redução de 30,15 % das florestas nativas, que são explicadas pela expansão das áreas sem vegetação arbórea (23,71%), áreas de práticas agrícolas (6,02%), áreas urbanizadas e infraestruturas (0,16%) e de outras áreas não vegetadas (0,25%);

- Do total de 7.782,4 ha de cicatrizes do fogo que foram deixadas pelos incêndios florestais, 49,46% atingiram áreas sem vegetação arbórea, 48,69 % áreas de formações florestais nativas, 0,89% as áreas de práticas agrícolas e 0,96% atingiram outras áreas não vegetadas;
- Com estes resultados são essenciais políticas públicas e planejamento do uso da terra na região, visando o gerenciamento e a definição de estratégias integradas de proteção. Além disso, esses resultados permitirão ao gestor desta Unidade de Conservação as definições de ações mais efetivas dentro dos programas de proteção e educação ambiental, previstos no plano de manejo desta UC.
- Conhecendo as principais alterações no uso e cobertura da terra na região, e sabendo que estas alterações estão relacionadas com os registros de focos de incêndios florestais, poderão ser definidas ações dentro do programa de educação ambiental previsto no plano de manejo desta RPPN, envolvendo as comunidades e produtores rurais do entorno, em assuntos relacionados à importância de conservação dos recursos naturais, sobretudo a vegetação natural e os impactos provocados pelos incêndios florestais à fauna, flora e à saúde pública.

3.5. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A.; RODRIGUES, L.; CASTRO, I. Amazônia em Chamas: o que queima - e Onde. **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**, [S. l.], n.5, 2020. Disponível em: <<https://ipam.org.br/bibliotecas/amazonia-em-chamas-5-o-que-queima-e-onde/>>. Acesso em: 19 dez. 2021.
- ALMEIDA, V. L.; SERAFIM, E.C.S.; ARAUJO, J.A. Incêndios Florestais em áreas protegidas: desafios para a prevenção e combate. **Desafios**, [S. l.], v. 8, n.1, p. 39-46, 2021. DOI: 10.20873/uftv8-9341. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/9341>>. Acesso em: 21 dez. 2022.
- ANDRADE, A. S. et al. Fragmentação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, nordeste do Pará. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 30, n.2, p. 406-420, 2020. DOI: 10.5902/1980509835074. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/35074>>. Acesso em: 20 out. 2022.
- BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **The Royal Society**, [s.l.], v. 363, p. 1787-1794, 2008. DOI: 10.1098/rstb.2007.0013. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2007.0013>>. Acesso em: 9 set. 2022.
- BEZERRA, D. S. et al. Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1988 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/57337>>. Acesso em: 20 de set. 2021.
- BUISSON, E. et al. Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 94, 2019. DOI: 10.1111/brv.12470. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/brv.12470>>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Plano de Manejo da Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN - Fartura**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2019. Acesso em: 01 de jun. 2022.
- DANTAS, V. L. et al. Disturbance maintains alternative biome states. **Ecology Letters**, [s.l.], v. 19, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12537>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.12537>>. Acesso em: 11 set. 2022.
- DIAS-HORMAZÁBAL, I.; GONZÁLES, M.E. Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. **Bosque**, [s.l.], v. 37, n.1, p. 147-158, 2016. DOI: 10.4067/S0717-92002016000100014. Disponível em: <https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002016000100014>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- DINIZ, E.S.; THIELE, J. **Modelos de regressão em R**. 2. ed. Viçosa: [s.n.], 2021.152 p. ISBN 9786500196115.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Global Forest Resources Assessment 2020**. ISBN: 978-92-5-132974-0. Disponível em: <<https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en>>. Acesso em: 19 jul. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Shifting cultivation, livelihood and food security 2015**. ISBN: 978-92-5-108761-9. Disponível em: <<https://www.fao.org/documents/card/es/c/8a0ee1bf-0285-45fb-bf66-fd9f1f518f60/>>. Acesso em: 19 jul. 2022.

FUNDO DO AMBIENTE (FUNAB). **Estudo das causas de desmatamento e da degradação florestal nos distritos abrangidos pelo programa de gestão integrada de paisagens de Cabo Delgado (PROGIP-CD)**. Maputo, 2016.

GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **PNAs**, [S. l.], v. 107, n.38, p. 16732-16737 2010. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107>. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0910275107>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

HARTIG, F. **DHARMA**: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.6, 2022. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisas: extração vegetal e silvicultura**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg>>. Acesso em: 01 de jun. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Históricos de dados meteorológicos**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 01 de jun. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Banco de dados de queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 01 de jun. 2022.

LATUF, M.O.; RIOS, G.S.; PEREIRA, R.C. Análise multitemporal de incêndios florestais ocorridos no estado de Minas Gerais entre 2001 e 2020. **Revista Cerrados**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 120-148, 2022. DOI: 10.46551/rc24482692202206. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358305238_Analise_multitemporal_de_incendios_florestais_ocorridos_no_Estado_de_Minas_Gerais_entre_2001_e_2020>. Acesso em: 21 set. 2022.

LUCAS, F. M. F. et al. Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 529, n.120739, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120739>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722007332?via%3Dihub>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

- MARINHO, A. A. R. et al. Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 280, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111707>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720316327>>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MEYER, D.; ZEILEIS, A.; HORNIK, K.(2023). **_vcd: Visualizing Categorical Data_**. R package version 1.4-11, <<https://CRAN.R-project.org/package=vcd>>.
- MINAS GERAIS. Portaria IEF nº 25, de 28 de fevereiro de 2011. **Diário do Executivo de Minas Gerais, Minas Gerais**, MG, 01 mar. 2011. Disponível em:<www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=16286> Acesso em: 16 de jan. 2021.
- MINAS GERAIS. Portaria IEF nº 208, de 24 de dezembro de 2011. **Diário do Executivo de Minas Gerais, Minas Gerais**, MG, 24 dez. 2011. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=20117>> Acesso em: 16 de jan. 2021.
- MINISTÉRIO DA TERRA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL (MITADER). **Nível de emissão de referência florestal de Moçambique para redução de emissões por desmatamento em florestas naturais**. MITADER: Maputo. 2018.
- PAULA, G. A. **Modelos de regressão: com apoio computacional**. São Paulo: IME/USP, 2013. Disponível em:<https://www.ime.usp.br/~giapaula/texto_2013.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- PLANET INC. **Planet Explorer Services Plugin**. Versão 2.3.1. 2023. Disponível em: <<https://developers.planet.com/docs/integrations/qgis/>>. Acesso em: 15 de ago. 2023.
- Projeto MapBiomas – **Coleção 7.0 da Série Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em:<<https://brasil.mapbiomas.org>>. Acesso em: 01 out. 2022
- QGIS Development TEAM, 2022. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project**. <http://qgis.osgeo.org>.
- RAMOS, E. A.; NUVOLONI, F. M.; LOPES, E. R. N. Landscape Transformations and loss of Atlantic Forests: challenges for conservation. **Journal for Nature Conservation**, [S. l.], v. 66, n.126152, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126152>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1617138122000255>>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- R CORE TEAM (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- REIS, JR. R.; OLIVEIRA, M. L.; BORGES, G. R. A. (2015). **_RT4Bio: R Tools for Biologists (RT4Bio)_**. R package version 1.0.
- ROQUE, F. et al. Warning signals of biodiversity collapse across gradients of tropical forest loss. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 8, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-19985-9. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-018-19985-9>>. Acesso em: 15 set. 2022.

SANTANA, R. O.; DELGADO, R. C.; SCHIAVETTI, A. **The past, present and future of vegetation in the Central Atlantic Forest Corridor, Brazil**. Remote Sensing Applications: Society and Environment, [s.l.], v. 20, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100357>. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938520302056>>. Acesso em: 9 set. 2022.

SCOLFORO, J. R.; MELO, J. M.; SILVA, C. P. C. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2008. 620 p. ISBN 9788587692603.

SHIMAMOTO, C. Y. et al. Restoration of ecosystem services in tropical forests: A global meta-analysis. **Plos Journal**, [s.l.], 2018. DOI:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0208523>. Disponível em: <
<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0208523&type=printable>>. Acesso em: 15 set. 2022.

SILVA, F.R. et al. **Análises ecológicas no R**. 1. ed. Recife, PE: Nupeea, 2022. 640 p. ISBN 9788579175640.

SILVA, R. M.; LOPES, A. G.; SANTOS, C. A. G. Deforestation and fires in the Brazilian Amazon from 2001 to 2020: Impacts on rainfall variability and land surface temperature.

Journal of Environmental Management, [S. l.], v. 326, n. 116664, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116664>. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972202237X>>. Acesso em: 21 out. 2022.

TORRES, F. T. P. **Alteração no uso e cobertura do solo e ocorrência de incêndios florestais**. Pós-Graduação em Ciência Florestal. 2020. 31 f. Relatório de Pós-Doutorado, Universidade de Coimbra.

TRIGUEIRO, W. R.; NABOUT, J. C.; TESSAROLO, G. Uncovering the spatial variability of recent deforestation drivers in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 275, n. 111243, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111243>. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720311671?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 set. 2022.

TYUKAVINA, A. et al. Types and rates of forest disturbance in Brazilian legal Amazon, 2000–2013. **Science Advances**, [s.l.], v. 3, n.4, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1601047.

Disponível em:< <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1601047>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

VAN WILGEN, B. W. et al. A fire history of the savanna ecosystems in the Kruger National Park, South Africa, between 1941 and 1996. **South African Journal of Science**, [S. l.], v. 96, n.4, p. 167-178, 2000. ISSN: 00382353. Disponível em: <

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0034079406&origin=resultlist>>.

Acesso em: 11 out. 2022.

VELDMAN, J. W. et al. Where Tree Planting and Forest Expansion are Bad for Biodiversity and Ecosystem Services. **BioScience**, [S. l.], v. 65, n.10, p. 1011-1018, 2015. DOI: 10.1093/biosci/biv118. Disponível em: <<https://academic.oup.com/bioscience/article/65/10/1011/245863>>. Acesso em: 3 nov. 2022.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. Modern Applied Statistics with S. 4. ed. New York: Springer. 2002. 496 p. ISBN 0-387-95457-0.

VIEIRA, R. R. S.; PRESSEY, R. L.; LOYOLA, R. The residual nature of protected areas in Brazil. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 233, p. 152-161, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.010>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320718304531?via%3Dihub>>. Acesso em: 6 jan. 2023.

ZHANG, D. (2022). **_rsq: R-Squared and Related Measures_**. R package version 2.5, <<https://CRAN.R-project.org/package=rsq>>.

4. CAPÍTULO 3

MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL – RPPN GALHEIRO E SEUS ENTORNOS

Resumo - Para reduzir o risco e ter uma gestão eficaz quanto aos incêndios florestais são necessários métodos que garantam a sustentabilidade das florestas. Desta forma, o objetivo deste estudo foi mapear a susceptibilidade às ocorrências de incêndios florestais na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Galheiro e seus entornos, localizada no município de Perdizes, Minas Gerais, utilizando análise multicritério, com o modelo de ponderação AHP e técnicas de SIG. Para isso definiu-se como área de estudo um buffer de 8 km no entorno desta Unidade de Conservação (UC) e selecionou-se algumas variáveis que possuem influência nas ocorrências dos incêndios florestais na região, como altitude, inclinação, exposição das vertentes e uso e cobertura da terra. Para realizar a ponderação de cada variável definiu-se através de pesos, o quanto cada uma delas influencia nas ocorrências de incêndios florestais. A Razão de Consistência (RC) da matriz pareada foi de 0,044 (inferior a 0,10), atestando que os pesos calculados para cada variável são confiáveis e aceitáveis e sugerindo a continuidade na aplicação do método. Os resultados demonstraram que 19,47 % da área de estudo está classificada como altíssima susceptibilidade, o equivalente a 2,26 focos / km². As classes alta e média, equivalem 36,83% e 36,40% da área de estudo, com relação de focos / km² de 1,67 e 1,23, respectivamente. Somadas as classes sem susceptibilidade, baixa e baixíssima, totalizaram 7,30% da área de estudo, com relação de focos / km² variando entre 0 e 0,66. A aplicação do método AHP, demonstrou ser eficiente, com ponderações consistentes das variáveis regionais que possuem impactos significativos na propagação dos incêndios florestais. O método combinado com as técnicas SIG, deu origem ao mapa de susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais, possibilitando a identificação das áreas mais propensas a essas ocorrências, servindo de importante ferramenta para auxiliar na gestão territorial da região.

Palavras-chave: Inclinação. Exposição das Vertentes. Uso e cobertura da terra. Gestão territorial.

MAPPING OF THE SUSCEPTIBILITY OF FOREST FIRE OCCURRENCE IN THE PRIVATE NATURAL HERITAGE RESERVE – RPPN GALHEIRO AND ITS SURROUNDINGS

Abstract - To reduce the risk and have effective management of forest fires, methods are needed to guarantee the sustainability of forests. Thus, the objective of this study was to map the susceptibility to the occurrence of forest fires in the Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Galheiro and its surroundings, located in the municipality of Perdizes, Minas Gerais, using multicriteria analysis, with the AHP weighting model and GIS techniques. For this purpose, an 8 km buffer around this Conservation Unit (CU) was defined as the study area and some variables were selected that influence the occurrence of forest fires in the region, such as altitude, slope, exposure of slopes and use. and land cover. To weight each variable, the extent to which each variable influences the occurrence of forest fires was defined using weights. The Consistency Ratio (RC) of the paired matrix was 0.044 (less than 0.10), attesting that the weights calculated for each variable are reliable and acceptable and suggesting continued application of the method. The results demonstrated that 19.47% of the study area is classified as very highly susceptible, equivalent to 2.26 outbreaks / km². The upper and middle classes account for 36.83% and 36.40% of the study area, with a ratio of outbreaks / km² of 1.67 and 1.23, respectively. Combined, the classes without susceptibility, low and very low susceptibility, totaled 7.30% of the study area, with a ratio of outbreaks / km² varying between 0 and 0.66. The application of the AHP method proved to be efficient, with consistent weighting of regional variables that have significant impacts on the spread of forest fires. The method combined with GIS techniques gave rise to the map of susceptibility to the occurrence of forest fires, enabling the identification of the areas most prone to these occurrences, serving as an important tool to assist in the territorial management of the region.

Keywords: Inclination. Exhibition of Strands. Land use and cover. Territorial management.

4.1. INTRODUÇÃO

De acordo com Aragão et al. (2023), os incêndios florestais são uma parte natural e necessária de muitos ecossistemas globais, porém com as mudanças na sua frequência e intensidade, causadas principalmente pelas atividades antrópicas, eles se tornaram extremamente prejudiciais aos recursos naturais, causando perda na biodiversidade, declínio da produtividade dos ecossistemas terrestres, aumento da poluição do ar, redução da fertilidade do solo e diminuição da qualidade e quantidade da água (BAE et al., 2019; VENKATESH; PREENTHI; RAMESH, 2020; BERA et al., 2022).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2020), aproximadamente 350 milhões de hectares de floresta são destruídos anualmente pelos incêndios florestais antrópicos. Além de seu poder destrutivo, eles também contribuem com aproximadamente 5% das emissões totais de gases de efeito estufa (UNFCCC, 2020).

Uma das principais alternativas existentes para a conservação da biodiversidade são as Unidades de Conservação (UCs). No entanto, muitas destas áreas protegidas foram implementadas no país sem nenhum planejamento, resultando em inúmeros desafios para sua manutenção (VIEIRA; PRESSEY; LOYOLA, 2019), que fragilizam sua gestão e as transformam em ambientes vulneráveis, principalmente relacionados ao uso indevido do fogo dentro e em seu entorno (LUCAS et al., 2023).

Para Ledislau et al. (2021), as expectativas em relação à gestão destas Unidades de Conservação aumentaram nos últimos anos e incluem uma série de preocupações relativas à importância dessas áreas para o fornecimento de serviços ecossistêmicos, como habitat para espécies ameaçadas, água potável, estoque de carbono e oportunidades cênicas e recreativas. Ainda segundo os autores, considerando que diferentes fatores podem contribuir para a maior susceptibilidade dos incêndios, é imprescindível a análise do ambiente de forma a contemplar os fatores mais significativos que possam iniciar e potencializar os incêndios florestais.

Assim sendo, a elaboração de mapas de susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais por meio de técnicas de geoprocessamento, que consideram os fatores regionais de influência como altitude, inclinação e exposição do relevo e práticas de uso e cobertura da terra, vêm se mostrando como uma apropriada e oportuna ferramenta de planejamento (KANER et al., 2022). Esses mapas auxiliam os gestores de uma determinada área protegida na tomada de decisão, para que ações preventivas mais assertivas possam ser definidas.

Sivrikaya e Küçük (2022), afirmam que para reduzir a susceptibilidade e ter uma gestão eficaz quanto aos incêndios florestais são necessários métodos que garantam a sustentabilidade das florestas. Vale ressaltar que nos últimos anos, os tomadores de decisão modelaram os parâmetros de uso da floresta e a susceptibilidade de incêndio usando técnicas de análise de múltiplos critérios e SIG. A combinação destas técnicas é um método eficaz para mapear a susceptibilidade de ocorrência dos incêndios florestais em uma determinada área de interesse (GHESHLAGHI; FEIZIZADEH; BLASCHKE, 2022).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi mapear a susceptibilidade de ocorrência dos incêndios florestais dentro e no entorno da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Galheiro, utilizando análise multicritério, com o modelo de ponderação AHP (Analytic Hierarchy Process) e técnicas de SIG. Para isso utilizou-se os dados locais de altitude, inclinação, exposição das vertentes e uso e cobertura da terra.

4.2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Galheiro, Unidade de Conservação (UC) de uso sustentável, é de propriedade da Cemig Geração e Transmissão SA, e está localizada no município de Perdizes, Minas Gerais, a aproximadamente 414 km de Belo Horizonte (Figura 24). Esta UC possui uma área de 2.718, 53 ha e foi inicialmente reconhecida como Estação Ecológica pela Portaria n° 73, de 6 de setembro de 1995, como um dos requisitos para o licenciamento ambiental da usina hidrelétrica de Nova Ponte. Apenas no ano 2015, esta reserva teve o seu plano de manejo aprovado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, sendo reconhecida desta maneira como RPPN.

O bioma predominante da RPPN Galheiro é o Cerrado, com vegetação diversificada ao longo de sua extensão, apresentando fisionomias campestres, onde há predomínio do componente herbáceo; fisionomias savânicas, onde predomina o componente arbustivo-arbóreo; e fisionomias florestais, nas quais predomina o componente arbóreo (SCOLFORO; MELO; OLIVEIRA, 2008). A altitude na reserva varia de 800 metros a 937 metros. Já em toda a área de estudo (Buffer de 8 km) esta variação é de 785 metros a 989 metros (ALOS PALSAR, 2011).

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se como área de estudo um *buffer* de 8 km com área aproximada de 458,808 km², no entorno da RPPN Galheiro. Os limites dos municípios de Perdizes e Patrocínio, bem como do estado de Minas Gerais foram extraídos da base de dados espaciais do IDE-SISEMA (SISEMA, 2021).

Conforme sugerido por Dolui (2023), utilizou-se as variáveis de influência regional altitude, inclinação, exposição das vertentes e uso e cobertura da terra, para mapear a susceptibilidade de ocorrência dos incêndios florestais dentro da área de estudo.

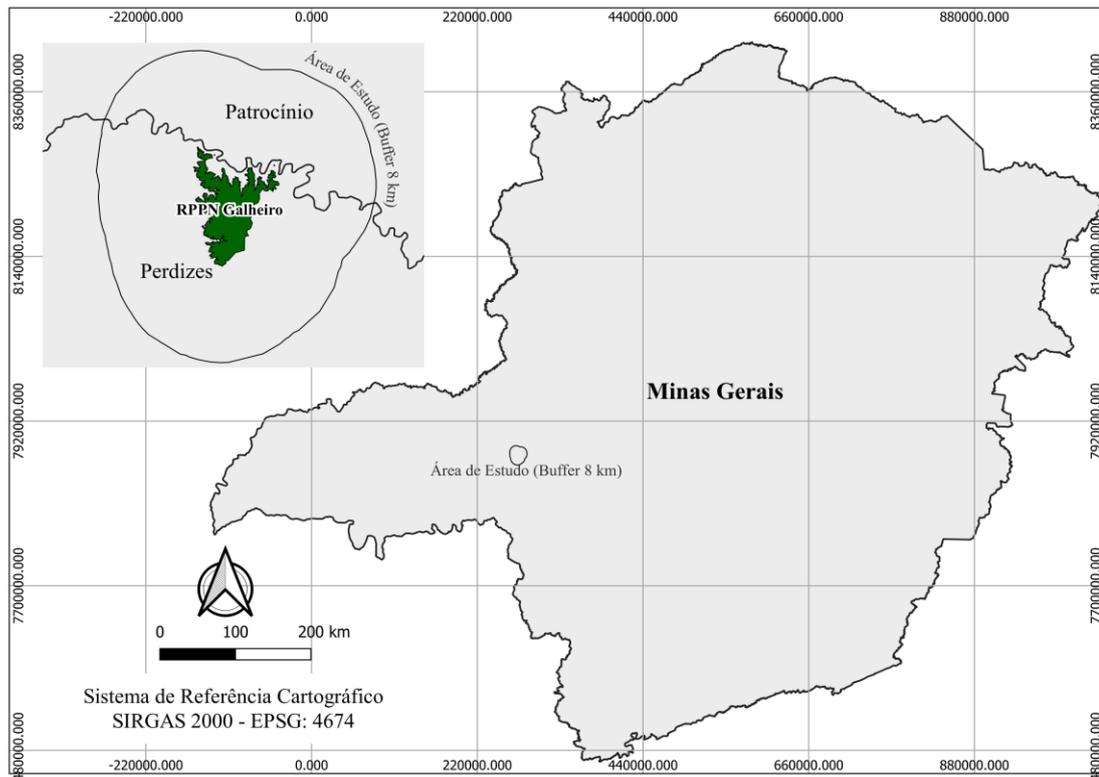


Figura 24 - Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Galheiro

Para a definição da variável altitude utilizou-se o Modelo Digital de Elevação - MDE extraído da plataforma *ALOS PALSAR* com tamanho do *pixel* de 12,5 metros. A partir deste MDE, utilizou-se um *software* de SIG para definição das variáveis inclinação e orientação das vertentes.

A imagem de uso e cobertura da terra para o ano de 2021, foi extraída e classificada de acordo com as classes definidas na coleção 7.0 do Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil - MapBiomias. Utilizou-se um *software* de SIG para vetorização e tabulação dos dados.

Os registros de focos de incêndios florestais dentro da área de estudo foram obtidos pelo sistema de monitoramento *BDQueimadas* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, para o período de 1998 a 2022.

As variáveis utilizadas nesta pesquisa foram classificadas e tiveram os seus pesos definidos conforme pode ser observado na Tabela 8. A maior relação de focos de incêndios

florestais por quilômetros quadrados (km²), recebeu peso 10 e as demais seguiu regra três simples.

Tabela 8 - Classificação e definição dos pesos das variáveis utilizadas na pesquisa

Variáveis	Classes	Tamanho da área (km ²)	Focos	Focos / km ²	Peso (nota)	Classe de Susceptibilidade
Altitude	785 - 828	127,585	38	0,30	1	Baixíssima
	828 - 871	153,774	254	1,65	5	Média
	871 914	139,101	349	2,51	7	Alta
	914 - 957	36,689	46	1,25	3	Baixa
	957 - 1000	1,659	6	3,62	10	Altíssima
Inclinação	0 - 9	356,819	577	1,62	5	Média
	9 - 18	94,079	106	1,13	3	Baixa
	18 - 27	6,424	7	1,09	3	Baixa
	27 - 36	0,291	1	3,44	10	Altíssima
	> 36	1,195	2	1,67	5	Média
Exposição das Vertentes	S / SE / SW	144,638	236	1,63	10	Altíssima
	E	54,697	92	1,68	10	Altíssima
	NE	51,670	63	1,22	7	Alta
	NW / W	113,716	191	1,68	10	Altíssima
	N	94,087	111	1,18	7	Alta
Uso e Cobertura da Terra	Floresta	63,959	97	1,52	7	Alta
	Cerrado	35,781	38	1,06	5	Média
	Silvicultura	1,247	2	1,60	7	Alta
	Áreas alagadas	3,994	1	0,25	1	Baixíssima
	Campos	195,925	279	1,42	7	Alta
	Agricultura	132,743	276	2,08	10	Altíssima
	Infraestruturas	0,559	0	0,00	0	Sem Susceptibilidade
Corpos hídricos	24,600	0	0,00	0	Sem Susceptibilidade	

Para realizar a ponderação de cada variável definiu-se através de pesos, o quanto cada uma delas influencia na ocorrência de incêndios florestais, tendo como base a revisão bibliográfica e o conhecimento técnico do gestor da Unidade de Conservação. Este processo de avaliação de importâncias e pesos, tanto das classes quanto das variáveis em análise, seguiu o modelo de escala de prioridades proposto por Saaty (1980), conforme pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 - Escala de importância mútua entre as variáveis

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários que são usados para chegar a um acordo entre dois julgamentos

Fonte: Saaty (1980).

A partir desta escala construiu-se a matriz de comparação, demonstrando o grau de importância mútua de duas em duas variáveis, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 - Matriz de comparação pareada

FATORES	Altitude	Inclinação	Exposição das Vertentes	Uso e Cobertura da Terra
Altitude	1	1/3	1/5	1/7
Inclinação	3	1	1/3	1/5
Exposição das Vertentes	5	3	1	1/3
Uso e Cobertura da Terra	7	5	3	1

Para definição dos pesos de cada variável utilizou-se o sistema online *AHP Online System – AHO-OS* (GOEPEL, 2018), que possui uma plataforma online para gerar os pesos e a Razão de Consistência (RC). Este último parâmetro (RC), pôde ser confirmado aplicando a fórmula abaixo (Eq.1), que relaciona o Índice de Consistência (IC) pelo Índice Randômico (IR) médio do método AHP, proposto por Saaty (1980), que especificamente para este estudo é 0,90 (4 variáveis). Para que a aplicação do método seja aceitável, a Razão de Consistência não pode superar 0,1.

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

Eq. 1

Na etapa seguinte utilizou-se a calculadora raster do *software* de SIG e aplicou-se a fórmula abaixo (Eq.2), para geração do mapa final da susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo.

$$\text{SUSCEPTIBILIDADE} = (P_{Al} \times \text{Altitude}) + (P_{In} \times \text{Inclinação}) + (P_{Or} \times \text{Orientação das Vertentes}) + (P_{Uc} \times \text{Uso e Cobertura da Terra}) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde,

P_{Al} = Peso atribuído à variável altitude

P_{In} = Peso atribuído à variável inclinação

P_{Or} = Peso atribuído à variável orientação das vertentes

P_{Uc} = Peso atribuído à variável uso e cobertura da terra

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Análise das variáveis de influência

A Figura 25 apresenta a susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais no entorno (Buffer de 8 km) da RPPN Galheiro, para as variáveis aplicadas nesta pesquisa. Considerando a variável altitude, os resultados apontam que 33,52 % da área de estudo apresenta susceptibilidade média a ocorrência de incêndios florestais. Os outros 66,48% se dividem entre susceptibilidade baixíssima (27,81%), baixa (7,99 %) alta (30,32%) e altíssima (0,36%).

Para Dhar, Bhatta e Aravindan (2023), e Ledislau et al. (2021), a variação da altitude representa uma variável ambiental que influencia na susceptibilidade dos incêndios devido a sua relação com a umidade relativa do ar. Dependendo da elevação, esta variável poderá ser um elemento geomorfológico crucial que influencia a capacidade dos incêndios florestais, afetando o teor de umidade do combustível, precipitação, níveis de radiação solar, temperatura, estrutura da vegetação, desempenhando desta forma um papel crucial na propagação do fogo (DOLUI, 2023). No entanto, considerando a baixa variação altimétrica da área de estudo (785 m – 989 m), esta variável não influenciará no teor de umidade relativa do ar, que permanecerá homogênea dentro de toda a área.

Já a susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais, considerando a variável inclinação, variou entre média (78,03 % da área de estudo), baixa (21,91 % da área de estudo)

e altíssima (0,06% da área de estudo). Para Camargo et al. (2019), a inclinação trata-se de uma variável topográfica que ocasiona elevada propagação das chamas e a direciona, facilitando a transferência de calor no sentido do active.

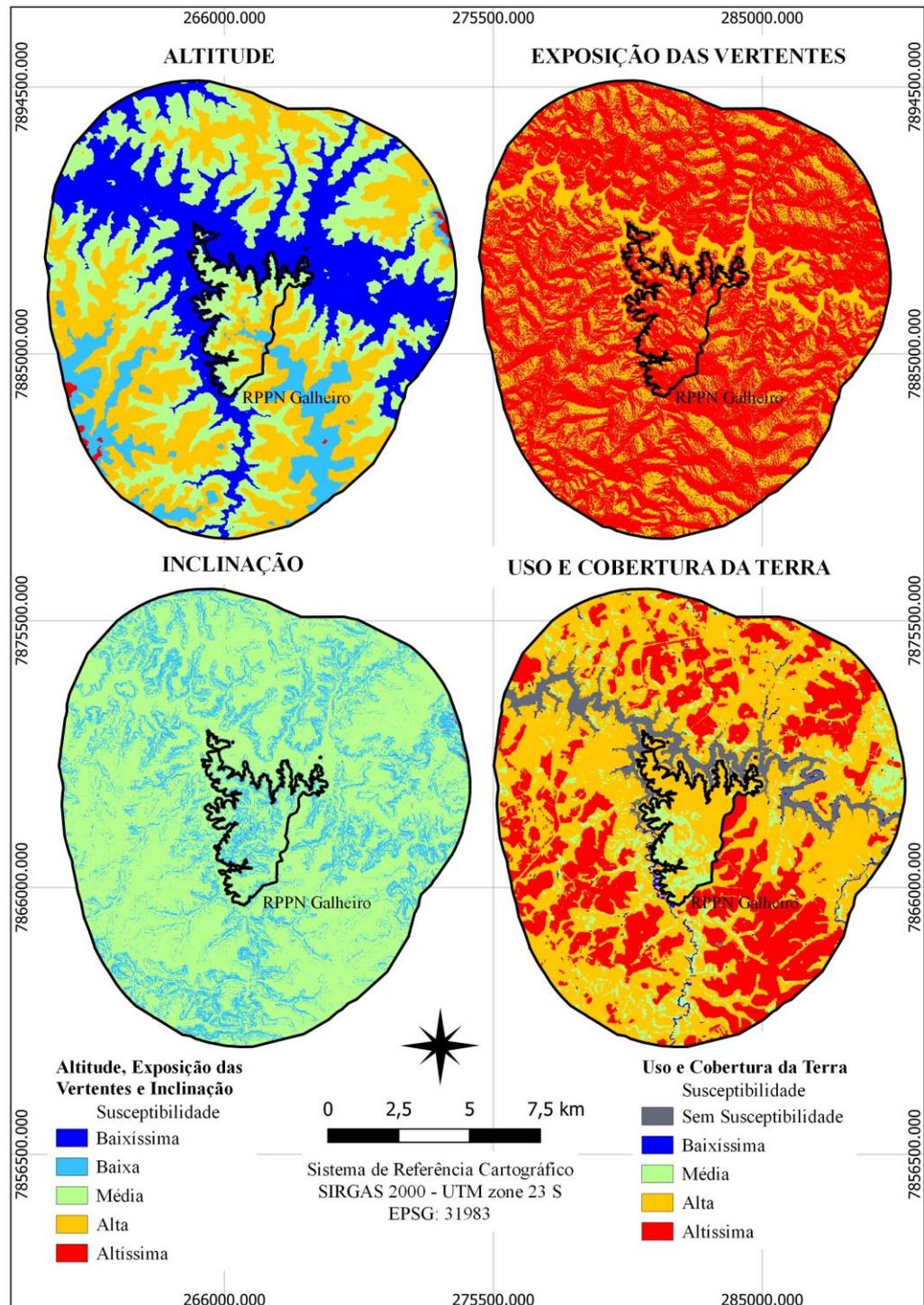


Figura 25 - Susceptibilidade às ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo considerando as variáveis altitude, exposição das vertentes, inclinação e uso e cobertura da terra

Para corroborar, um estudo realizado recentemente no distrito Perulia no oeste de Bengala na Índia (DHAR; BHATTA; ARAVINDAN, 2023), concluiu que nas encostas mais

íngremes a propagação do incêndio florestal foi facilitada, devido o material combustível ser mais inflamável na encosta superior do que a encosta inferior. No entanto, esta pesquisa apontou que na classe de 0° a 9° houve maiores registros de focos incêndios entre os anos de 1998 e 2022 (577 registros), fato explicado principalmente pela maior concentração de atividades antrópicas nesta região. Díaz Hormazábal e González (2016), explicam que o fator antrópico é apontado como a principal causa dos incêndios florestais ao redor mundo.

A variável exposição das vertentes se dividiu em duas classes de susceptibilidade a ocorrência de incêndio florestal: alta, que representa 31,77 % da área de estudo e altíssima, com 68,23 %. Para Soares e Batista (2007), a facilidade de ignição do material combustível é proporcional à incidência dos raios solares na superfície, pois quanto mais direta for a incidência, maior será a temperatura do ar e menor será a umidade relativa do ar. Haja vista o posicionamento do Brasil em relação à linha do equador (abaixo), é sabido que as faces voltadas para o norte recebem maior incidência solar do que as faces voltadas para o sul (WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, 2021).

No entanto, observou-se nesta pesquisa que as maiores ocorrências dos incêndios florestais registrados na área de estudo, para o período investigado, foram nas faces sul, sudeste e sudoeste (236 registros), seguidas pelas faces oeste e noroeste (191 registros). Resultados semelhantes foram encontrados em outras pesquisas (BEM et al., 2018; SANTANA; DELGADO; SCHIAVETTI, 2021; ARAGÃO et al., 2023). Para Bem et al. (2018), ainda que a área de estudo tenha diferentes orientações, se a mesma apresentar baixas inclinações (que é o caso da área selecionada nesta pesquisa), significa que a superfície do solo recebe a mesma quantidade de luz solar, não afetando desta forma a distribuição espacial dos incêndios que ocorrem na região.

A susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais quando considerada a variável uso e cobertura da terra se dividiu entre sem susceptibilidade (5,48%), ocupadas por rios, lagos e infraestruturas, baixíssima (0,87%) composta por áreas alagadas, média (7,80%) considerada áreas de Cerrado, alta (56,92%) representada por florestas, silviculturas e áreas de campos, como pastagem e de vegetação herbácea e altíssima (28,93%) representada por práticas agrícolas. Os maiores registros de focos de incêndios florestais na região, foram nas classes de práticas agrícolas (276 registros) e de campos, como pastagens e áreas de vegetação herbácea (279 registros).

Os resultados apontaram que a interferência antrópica na região tem diminuído a força do meio físico (cobertura da terra, exposição das vertentes e inclinação). Mesmo que na

literatura as faces voltadas para o Norte e Oeste são as que mais recebem incidência dos raios solares, o ponto de ignição é que tem definido a origem dos incêndios florestais. Para Marinho et al. (2021), o fogo é geralmente resultado de atividade antrópica e, se houver combustível para queimar e pessoas para causar a ignição, ocorrerão incêndios. Tal fato independe da exposição e inclinação do relevo.

Além disso, o maior percentual da área de estudo, quando considerada a variável uso e cobertura da terra, foi caracterizado como susceptibilidade alta (56,92%), representada por florestas, silviculturas e áreas de campos, como pastagem e de vegetação herbácea, sendo estas últimas caracterizadas pelo acúmulo de biomassa seca, o que leva a um elevado potencial de ignição (NICOLETE e ZIMBACK, 2013; ANDERSON et al., 2015; FRANKE et al., 2018). Para Cawson et al. (2017), características da vegetação juntamente com o uso da terra são os principais fatores que influenciam a propagação dos incêndios florestais.

Para se ter uma ideia, na Amazônia brasileira, grande maioria das fontes de ignição decorre do uso do fogo para renovar a vegetação de pastagens degradadas e limpar o excesso de biomassa após o desmatamento (ALENCAR et al., 2020). Com as crescentes e alarmantes taxas de desmatamento na região (ASSIS et al., 2022) e com o destino das áreas desmatadas sendo principalmente pastagens (TYUKAVINA et al., 2017), há um risco crescente de incêndios agrícolas e de desmatamento escapando para as florestas adjacentes e causando incêndios florestais.

Para Amigo (2020), a perda de florestas tropicais pelo desmatamento ou incêndios é influenciado por diversos fatores ambientais e antrópicos distribuídos de forma desigual em uma determinada área. Um estudo realizado na China entre os anos de 2015 e 2014, Zhang et al. (2019) afirmaram que o aumento da taxa de urbanização e da densidade populacional urbana faz com que se prolongue consideravelmente o aumento do risco de incêndios florestais.

4.3.2. Aplicação do método AHP

A Tabela 11 demonstra os resultados dos parâmetros calculados para aplicação do método AHP. Observa que o valor do autovetor (λ_{max}) foi superior ao número de variáveis (4,1185) e a Razão de Consistência (RC) inferior a 0,1 (0,044), atestando desta maneira que os pesos calculados para cada variável são confiáveis e aceitáveis e sugerindo a continuidade da aplicação do método AHP. Eugenio et al. (2016), utilizou as mesmas variáveis para determinar o risco de incêndio florestal no estado do Espírito Santo e obteve resultado similar.

Tabela 11 - Resultados dos parâmetros necessários para aplicação do método AHP

Parâmetros	Resultados
n	4 (número de variáveis)
λ_{\max}	4,1185 ($\geq n$)
IC	0,0395
IR	0,9 (Tabelado)
RC	0,044 ($< 0,1$)

A Figura 26, demonstra a ponderação de cada variável em pesos, que foram obtidos considerando a influência de cada uma delas em relação às ocorrências de incêndios florestais, e levando em consideração a revisão bibliográfica relacionada ao tema. Nesta ponderação é possível observar que a variável uso e cobertura da terra é a que apresentou maior importância na susceptibilidade de ocorrência dos incêndios florestais (55,79%), em relação às demais variáveis. Para Tagliarini et al. (2020), o tipo de uso e ocupação da terra possui influência no comportamento do fogo de várias maneiras, sendo esse fator de grande importância na determinação da susceptibilidade de ocorrência de incêndios florestais.

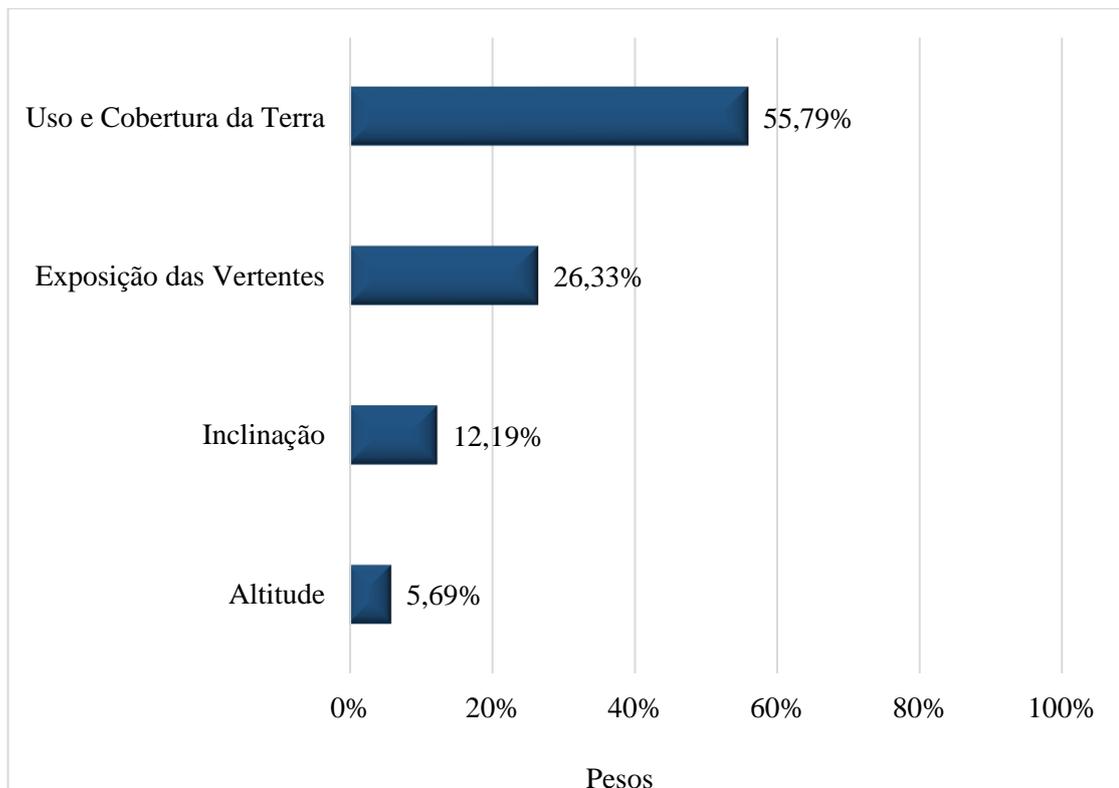


Figura 26 - Peso de Importância mútua de cada variável quanto à susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo

4.3.3. Mapa final de susceptibilidade

A ponderação das variáveis atrelada ao método de decisão AHP gerou o mapa de susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais dentro da área de estudo (Figura 27). As diferentes variáveis que contribuem com a ocorrência dos incêndios florestais na área de estudo foram sobrepostas, e a susceptibilidade foi categorizada em seis classes: sem susceptibilidade, baixíssima, baixa, média, alta e altíssima.

O mapa de susceptibilidade demonstrou ainda uma alta acurácia quando comparado com os registros de focos de incêndios florestais obtidos pelo sistema de monitoramento *BDQueimadas* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, para o período de 1998 a 2022 (Figura 27). White e Ribeiro (2021), também destacaram em sua pesquisa a eficiência no uso do método AHP no mapeamento de áreas susceptíveis a tais ocorrências.

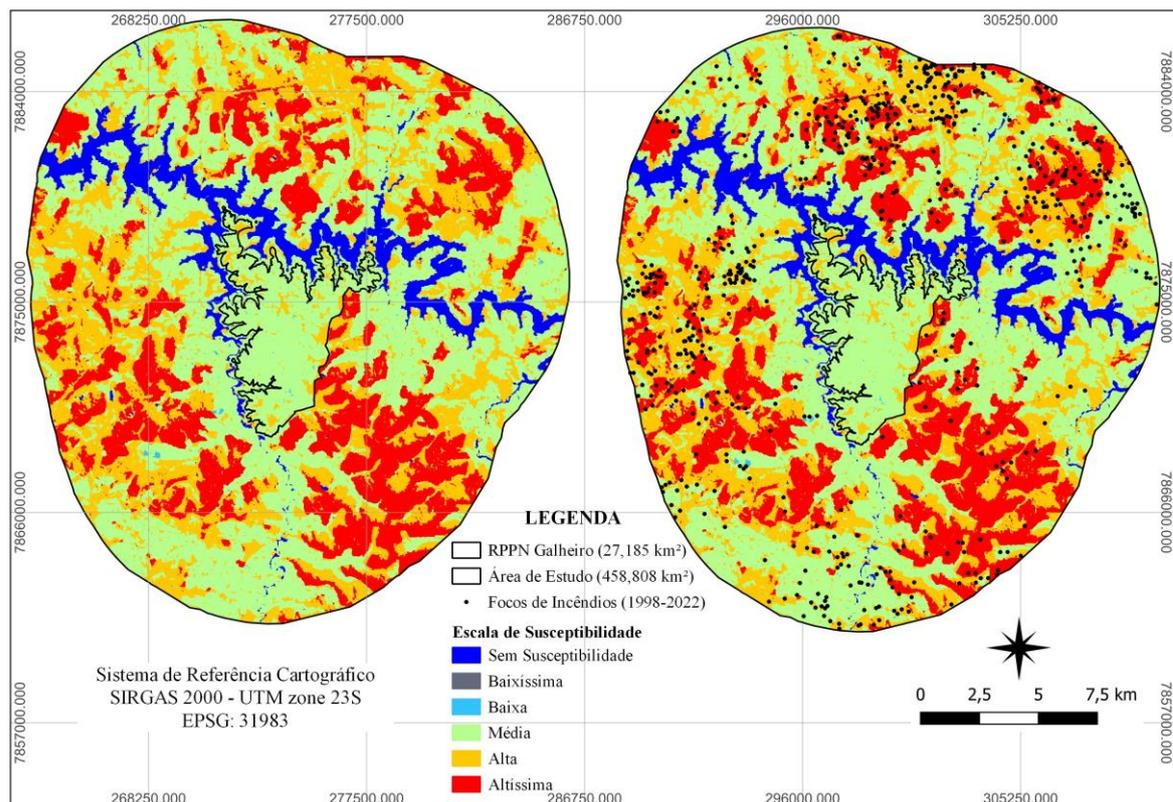


Figura 27 - Mapa final de susceptibilidade às ocorrências dos incêndios florestais dentro da área de estudo (à esquerda) e sobreposição dos registros de focos de incêndios florestais no período (à direita)

A Tabela 12 apresenta a distribuição das classes de susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo. A classe altíssima representa cerca de 19,47% da área de estudo total, com 202 registros de focos de incêndios florestais entre os anos 1998 e

2022, o equivalente a 2,26 focos por quilômetros quadrados. Já as classes alta e média, equivalem 36,83% e 36,40%, com relação de focos, por quilômetros quadrados, de 1,67 e 1,23, respectivamente. Somadas as classes sem susceptibilidade, baixa e baixíssima, totalizaram 7,30% da área de estudo, com relação de focos por quilômetros quadrados variando entre 0 e 0,66. Um ponto observado é que a classe média quanto a susceptibilidade a ocorrências de incêndios florestais dentro da RPPN Galheiro ocupa 67,38% da Unidade de Conservação. Sendo que os outros 32,62% se dividem entre as classes sem susceptibilidade, baixa, alta e altíssima.

Tabela 12 - Zoneamento da susceptibilidade de ocorrências de incêndios florestais dentro da área de estudo

Classes de susceptibilidade à ocorrência de incêndio florestal	Áreas das classes (km²)	Registros de focos por classe	Relação FOCOS / CLASSE
Altíssima	89,328	202	2,26
Alta	168,997	282	1,67
Média	167,017	206	1,23
Baixa	3,044	2	0,66
Baixíssima	28,923	1	0,03
Sem Susceptibilidade	1,499	0	0,00

4.4. CONCLUSÕES

A aplicação do método AHP nesta pesquisa, demonstrou ser eficiente, com ponderações consistentes das variáveis regionais que possuem impacto significativo na propagação dos incêndios florestais. Esse método combinado com as técnicas de SIG, deu origem ao mapa de susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais, possibilitando a identificação das áreas mais propensas a essas ocorrências, e servindo de importante ferramenta para auxiliar na gestão territorial da região.

Um ponto relevante observado na pesquisa é que a interferência antrópica tem diminuído a força do meio físico (cobertura da terra, exposição das vertentes e inclinação) dentro da área de estudo. Diferentemente do que preconiza a literatura, as maiores ocorrências de incêndios florestais na região foram nas faces sul, sudeste e sudoeste, seguidas pelas faces oeste e noroeste. Ou seja, os registros de focos de incêndios na região, independem da exposição e inclinação do relevo e estão relacionados com a quantidade disponível de combustível e da predisposição das pessoas para causar a ignição.

O produto gerado nesta pesquisa poderá ser utilizado para subsidiar projetos e ações dos programas de proteção e educação ambiental, que estão previstos no plano de manejo da RPPN Galheiro. Além disso auxiliará o gestor desta Unidade de Conservação na tomada de decisão e na aplicação de técnicas de prevenção e combate de incêndios florestais.

Outro fato relevante é que os resultados possibilitaram mapear não apenas o interior da RPPN Galheiro, mas também todo o seu entorno (até 8 km considerando os seus limites). Assim, ações de conscientização com as comunidades e usuários de entorno poderão ser definidas, e ter como foco aquelas áreas mais propensas a ocorrências dos incêndios florestais (com maiores susceptibilidades), a fim de reforçar a importância de evitar os incêndios florestais e conservar os recursos naturais da região.

Recomenda-se que outras variáveis de influência a ocorrência dos incêndios florestais, tais como regime de precipitação, umidade relativa do ar, temperatura máxima mensal, proximidade com as estradas, dentre outras, sejam incluídas na metodologia aplicada nesta pesquisa e que novas metodologias de análise multicritério sejam utilizadas, para comparar qual método é mais eficaz e condizente com a realidade da região.

4.5. REFERÊNCIAS

ALENCAR, A.; MOUTINHO, P.; ARRUDA, V.; E SILVÉRIO, D., 2020. **Amazônia em chamas - O fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020**: nota técnica n° 3. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em:<<https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2020/04/NT3-Fogo-em-2019.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2023.

AMIGO, I. The Amazon's Fragile future. **Journal Staff**, [s.l.], v.578, p. 505-507, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00508-4>. Disponível em:<<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00508-4>>. Acesso em: 21 set. 2021.

ANDERSON, L. O. et al. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, [s.l.], v. 29, n. 10, p. 1739-1753, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GB005008>. Disponível em:< <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014GB005008>>. Acesso em: 21 set. 2021.

ARAGÃO, M. A. et al. Risk of forest fires occurrence on a transition island Amazon-Cerrado: Where to act?. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 536, n.120858, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120858>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723000919?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 jan. 2023.

ASSIS, L. F. F. G. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s.l.], v.8, 513 p., 2019. DOI: DOI: 10.3390/ijgi8110513. Disponível em:<<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/alerts/legal/amazon/aggregated/>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BAE, M.S. et al. Assessment of forest fire impacts on carbonaceous aerosols using complementary molecular marker receptor models at two urban locations in California's San Joaquin Valley . **Environmental Pollution**, [S. l.], v. 246, p.274-283, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.013>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118310200?via%3Dihub>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BEM, P. P. et al. Predicting wildfire vulnerability using logistic regression and artificial neural networks: a case study in Brazil's Federal District. **International Journal of Wildland Fire**, [s.l.], v.28, p.35-45, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF18018>. Disponível em:< <https://www.publish.csiro.au/wf/WF18018>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BERA, B. et al. Forest fire susceptibility prediction using machine learning models with resampling algorithms, Northern part of Eastern Ghat Mountain range (India). **Geocarto International**, [S. l.], v. 37, p.11756-11781, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2060323>. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10106049.2022.2060323>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

CAMARGO, L. S. et al. Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Incêndios Florestais do Município de Petrópolis-RJ. **Anuário IGEO**, [S. l.], v. 42, n.1, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_630_641. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13164#:~:text=O%20Mapa%20de%20Susceptibilidade%20a,territ%C3%B3rio%20classificado%20com%20alta%20susceptibilidade.>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CAWSON, J. G. et al. Fuel moisture in Mountain Ash forests with contrasting fire histories. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 400, p. 568-577, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.046>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717307910?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 set. 2021.

DATASET: **ALOS PALSAR L1.0 2011**. Accessed through ASF Data Search Vertex. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 02 jan. 2021.

DHAR, T.; BHATTA, B.; ARAVINDAN, S. Forest fire occurrence, distribution and risk mapping using geoinformation technology: A case study in the sub-tropical forest of the Meghalaya, India. **Remote Sensing Applications**, [S. l.], v. 29, n.100883, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100883>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938522001914>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

DIAS-HORMAZÁBAL, I.; GONZÁLES, M.E. Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. **Bosque**, [s.l.], v. 37, n.1, p. 147-158, 2016. DOI: [10.4067/S0717-92002016000100014](https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000100014). Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002016000100014>. Acesso em: 16 jan. 2023.

DOLUI, S. **Forest fire susceptibility mapping and risk assessment using integrated AHP and DEMATEL method for Purulia District, West Bengal (India)**. In: CHATTERJEE, Uday; PRADHAN, Biswajeet; KUMAR, Suresh; SAHA, Sourav; ZAKWAN, Mohammad (Org.). *Water, Land, and Forest Susceptibility and Sustainability*. 1 ed. Elsevier, 2023. p. 401-452.

EUGENIO, F. C. et al. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 173, 2016. p. 65-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300627>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

FAO and UNEP. **The State of the World's Forests: Forests, Biodiversity and People, 2020**. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/state-worlds-forests-forests-biodiversity-and-people>). Acesso em: 11 fev. 2023.

FRANKE, J. et al. Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 217, p. 221-232, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718303936?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 set. 2021.

GHESHLAGHI, H. A.; FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. **Journal of Environmental Planning and Management**, [S. l.], v. 63, p. 481-499, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09640568.2019.1594726>>. Acesso em: 9 jan. 2023.

GOEPEL, K. D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, [S. l.], v. 10, n. 3, 2018, p. 469-487. DOI: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>. Disponível em: <https://bpmmsg.com/ahp/>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Portaria nº 73, de 6 de setembro de 1995**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=98511>>. Acesso em: 9 jan. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de Dados de Queimadas: BD Queimadas**. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>>. Acesso em: 9 jan. 2023.

KANER, L. M. et al. Mapeamento de risco de incêndios florestais: uma aplicação para a região da Operação Fumaça Zero no estado do Rio de Janeiro. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente, 19, 2022, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas, MG: Planeta Terra, Água e Ar – Consciência, Conservação e Educação, v.14, n.1, 2022. ISSN: 2317-9686

LEDISLAU, F. F. et al. Análise Multicritério aplicada ao mapeamento de risco de incêndio na APA Sul RMBH. **Caderno de Geografia**, [S. l.], v. 31, n.66, p.667-681, 2021. DOI: [10.5752/p.2318-2962.2021v31n.66p.667](https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2021v31n.66p.667). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354669789_Analise_Multicriterio_aplicada_ao_mapeamento_de_risco_de_incendio_na_APA_Sul_RMBH >. Acesso em: 21 fev. 2023.

LUCAS, F. M. F. et al. Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 529, n.120739, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120739>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722007332?via%3Dihub>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

NICOLETE, D. A. P.; ZIMBACK, C. R. L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia – Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, [s.l.], v.5, n. 3, p. 55-62, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v5n32013518>. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/518>>. Acesso em: 21 set. 2021.

Projeto MapBiomias – **Coleção 7.0 da Série Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>>. Acesso em: 1 out. 2022

QGIS Development TEAM, 2022. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.** <http://qgis.osgeo.org>.

SAATY, Thomas L. **The Analytic Hierarchic Process: Planning Setting Priorities, Resource Allocation.** New York: McGraw-Hill, 1980.

SANTANA, R. O.; DELGADO, R. C.; SCHIAVETTI, A. Modeling susceptibility to forest fires in the Central Corridor of the Atlantic Forest using the frequency ratio method. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113343>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721014055>>. Acesso em: 21 set. 2021.

SCOLFORO, J. R.; MELO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado – Florística, estrutura, similaridade, distribuição diamétrica e de altura volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal.** 1. ed. Lavras: UFLA, 2008. 816 p. ISBN 9788587692573.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 22 dez. 2021.

SIVRIKAYA, F.; KÜÇÜK, O. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. **Ecological Informatics**, [S. l.], v. 68, n. 101537, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954121003289?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios florestais controle, efeitos e uso do fogo.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 264 p., 2007. ISBN: 8590435326, 9788590435327

TAGLIARINE, F. S. N. et al. Zoneamento do risco de incêndios florestais em bacia. **Brasilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-356>. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10253>>. Acesso em: 18 fev. 2023.

TYUKAVINA, A. et al. Types and rates of forest disturbance in Brazilian legal Amazon, 2000–2013. **Science Advances**, [s.l.], v. 3, n.4, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1601047. Disponível em:< <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1601047>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

UNFCCC. **A Review of Sustained Climate Action through.** United States 7th National Communication, 3rd and 4th Biennial Report, 2020. Disponível em:<<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/United%20States%207th%20NC%203rd%204th%20BR%20final.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2023.

VENKATESH, K.; PREENTHI, K.; RAMESH, H. Evaluating the effects of forest fire on water balance using fire susceptibility maps. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 110, n.105856, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105856>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19308507?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 jan. 2023.

VIEIRA, R. R. S.; PRESSEY, R. L.; LOYOLA, R. The residual nature of protected areas in Brazil. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 233, p. 152-161, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.010>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320718304531?via%3Dihub>>. Acesso em: 6 jan. 2023.

WHITE, L. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Modelagem espacial do risco de incêndio florestal para o Município de Inhambupe, BA. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 36, n.85, p. 41-49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>. Disponível em: < <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/850>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ZHANG, Y. et al. How fire safety management attended during the urbanization process in China? **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 236, n. 117686, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117686>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619325363?via%3Dihub>>. Acesso em: 21 set. 2022.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Para proteger uma determinada Unidade de Conservação contra os incêndios florestais, além de conhecer as variáveis de influência, torna-se necessária a aplicação de técnicas que subsidiarão os gestores desta área protegida diante das ocorrências desses eventos. Assim, conhecer o potencial das variáveis climáticas, bem como das práticas de uso e ocupação da terra dentro e no entorno desta área de uso restrito, permitirá mapear e definir as áreas com maiores potenciais de susceptibilidade a tais ocorrências.

Os capítulos apresentados possibilitarão a identificação e a classificação das variáveis com maiores susceptibilidades às ocorrências dos incêndios florestais nas três Unidades de Conservação. Considerando o período seco no entorno da RPPN Usina Coronel Domiciano, os meses com maiores estimativas das temperaturas máximas são abril e setembro. Esta informação possibilitará que o gestor desta Unidade de Conservação defina com maior precisão as melhores estratégias de proteção neste período.

Quando relacionadas as ocorrências dos incêndios florestais com as práticas de uso e cobertura da terra na RPPN Fartura e seus entornos constatou uma forte relação. Na região, tanto o fogo tem alterado a cobertura da terra, como o uso da terra tem causado e intensificado as ocorrências de incêndios florestais. Além disso, os resultados apontaram que as principais alterações no uso e cobertura da terra na região para o período investigado foram as transformações das áreas de formações florestais nativas em áreas sem vegetação arbórea, e posteriormente em áreas de práticas agrícolas. Estes resultados permitirão definir ações mais efetivas dentro dos programas de proteção e educação ambiental, previstos no plano de manejo desta UC.

Já a aplicação do método AHP na RPPN Galheiro e seus entornos, demonstrou alta eficiência, com ponderações consistentes das variáveis regionais que possuem impacto significativo na propagação dos incêndios florestais na região. Esse método, quando combinado com as técnicas de SIG, deu origem ao mapa de susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais.

Assim, esta pesquisa possibilitou o fornecimento de informações para a definição de estratégias de proteção contra os incêndios florestais nas Unidades de Conservação e seus entornos. No entanto, vale ressaltar que para proteger estas áreas contra os efeitos do fogo é necessário a implementação de técnicas de prevenção, que deverão ser trabalhadas dentro dos programas previstos no plano de manejo destas áreas protegidas.

6. REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm >. Acesso em: 5 set. 2023.
- BRITO, D. O. et al. Short-Term Effects of Wildfire Ash on Water Quality Parameters: A Laboratory Approach. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, [S. l.], v. 107, n. 3, p. 500-505 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03220-9>. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-021-03220-9#citeas> >. Acesso em: 5 set. 2023.
- BUTT, E. W. et al. Large Air Quality and Public Health Impacts due to Amazonian Deforestation Fires in 2019. *GeoHealth*, [S. l.], v. 5, n. 7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021GH000429>. Disponível em: < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021GH000429> >. Acesso em: 5 set. 2023.
- Canadian Interagency Forest Fire Centre - CIFFC, 2017. Canadian Wildland Fire Management Glossary. Disponível em: https://www.ciffc.ca/sites/default/files/2019-03/CIFFC_Canadian_Wildland_Fire_Mgmt_Glossary_2017_10_24.pdf. Acesso em: 5 set. 2023.
- CARVALHO, I. S. et al. How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado?. *Journal for Nature Conservation*, [S. l.], v. 71, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126318>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1617138122001911> >. Acesso em: 20 nov. 2023.
- FARINHA, M. J. U. S. et al. Opportunity cost of a private reserve of natural heritage, Cerrado biome – Brazil. *Land Use Policy*, [S. l.], v. 81, p. 49-57 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.028>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837718307543> >. Acesso em: 5 set. 2023.
- FONSECA, C. R.; VENTICINQUE, E. M. Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning. *Perspectives in Ecology and Conservation*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 61-67 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.03.001>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064417301487> >. Acesso em: 5 set. 2023.
- GARCIA, L. C. et al. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 293, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112870>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721009324> >. Acesso em: 5 set. 2023.

LUCAS, F. M. F. et al. Perspective: Scientific gaps on forest fires in Brazilian protected areas. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 529, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120739>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722007332>>. Acesso em: 5 set. 2023.

OLIVEIRA, A. S. et al. Costs and effectiveness of public and private fire management programs in the Brazilian Amazon and Cerrado. **Forest Policy and Economics**, [S. l.], v. 127, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102447>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934121000538>>. Acesso em: 5 set. 2023.

OLIVEIRA, U. et al. Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 7, n. 9141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08707-2>. Disponível em: < <https://www.nature.com/articles/s41598-017-08707-2>>. Acesso em: 5 set. 2023.

REN, J. et al. Projecting Future Fire Regimes in a Semiarid Watershed of the Inland Northwestern United States: Interactions Among Climate Change, Vegetation Productivity, and Fuel Dynamics. **Earth's Future**, [S. l.], v. 10, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021EF002518>. Disponível em: < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2021EF002518>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SOUZA, J. L.; VIEIRA, C. L.; SILVA, D. C. B. **Roteiro metodológico para elaboração de Plano de Manejo para Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBio, 2015. 86 p.

TORRES, T. P. T. et al. Perfil dos incêndios florestais em Unidades de Conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 531-542 2023. DOI: 0.5380/rf.v46i3.44199. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/44199>>. Acesso em: 5 set. 2023.

VIEIRA, R. R. S.; PRESSEY, R. L.; LOYOLA, R. The residual nature of protected areas in Brazil. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 233, p.152-161, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.010>. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320718304531>>. Acesso em: 5 set. 2023.

WADE, C. M. et al. What Is Threatening Forests in Protected Areas? A Global Assessment of Deforestation in Protected Areas, 2001–2018. *forest*, [S. l.], v. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11050539>. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/5/539>>. Acesso em: 5 set. 2023.